MÉTODO PARA LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE MINI AEROGENERADORES EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

STEFHANI VANESSA FAJARDO MIDEROS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA SAN JUAN DE PASTO 2016

MÉTODO PARA LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE MINI AEROGENERADORES EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

STEFHANI VANESSA FAJARDO MIDEROS

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director: PhD. ANDRÉS DARÍO PANTOJA BUCHELI

UNIVERSIDAD DE NARIÑO FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA SAN JUAN DE PASTO 2016

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:
Firma del Presidente del Jurado
Firma del Jurado
Firma del Jurado

DEDICATORIA

A Dios, por cuidar de mí en cada paso.

A Nicolás mi hijo, por ser el motor de mi vida y por impulsarme cada día a ser mejor.

A mi hermosa madre, por levantarme en cada caída y colocarme en las manos de Dios.

A mi padre, por enseñarme que con esfuerzo y dedicación se sube cada escalón. Aura Marina mi segunda madre, quien siempre ha cuidado de mí.

AGRADECIMIENTOS

De todo corazón agradezco a Ph.D. Andrés Darío Pantoja Bucheli, por la oportunidad brindada de hacer parte del proyecto ALTERNAR, por su orientación y confianza.

A Víctor Manuel Rosero Angulo, por su apoyo incondicional en cada proceso. Al grupo de trabajo ALTERNAR, por facilitarme información y orientación cuando fue necesario.

A los habitantes de las poblaciones de Bocagrande, El Rompido, Vaquería la Gran Colombia y Cocal Payanes, por abrirme la puerta de su comunidad. A mis amigos Claudia, Diana y Danilo, por el bonito grupo de trabajo que formamos para alcanzar las metas propuestas.

A mis profesores y compañeros de carrera, por estar presentes en estos años de formación.

CONTENIDO

pág.

INTRO	DUCCIÓN	. 15
1.	METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES	
	EÓLICAS EN ZNI	. 19
1.1	VARIABLES A EVALUAR PARA LA INSTALACION DE	
	SOLUCIONES AISLADAS EN ZNI	. 19
1.2	PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
	TRADICIONAL EN ZONAS NO INTERCONECTADAS	. 19
1.3	RESTRICCIONES DE TIPO TÉCNICO	. 21
1.3.1	Demanda energética	. 21
1.3.2	Infraestructura y vías de acceso	. 22
1.3.3	Disponibilidad de equipos en el mercado	. 22
1.3.4	Estudios de suelo	. 22
1.4	DISPONIBILIDAD DEL RECURSO ENERGÉTICO	. 23
1.5	RESTRICCIONES DE TIPO SOCIAL	. 24
1.6	RESTRICCIONES DE TIPO AMBIENTAL	. 24
1.7	DISPOSICIÓN DE GENERADORES EÓLICOS EN	
	EMPLAZAMIENTOs	. 25
1.7.1	Obstáculos	. 25
1.7.2	Distancia entre generadores eólicos	. 25
1.7.3	Distribución de generadores eólicos según el terreno	. 26
1.7.4	Uso de métodos de optimización	. 28
1.8	TRABAJO DE CAMPO SOCIAL Y TÉCNICO	. 28
1.8.1	Trabajo con la comunidad	. 28
1.8.2	Trabajo técnico	
2.	APLICACIÓN DE METODOLOGÍA A DOS CASOS DE ESTUDIO	. 30
2.1	LOCALIDADES OF IETO DE ESTUDIO	30

2.2	VARIABLES DE TIPO TÉCNICO EN LOS CASOS DE ESTUDIO	. 31	
2.2.1	Demanda energética31		
2.2.1.1	Resultado curvas de demanda aplicando los métodos 1, 2 y 3	. 32	
2.2.1.2	Escenarios de consumo localidades objeto de estudio	. 34	
2.2.2	Infraestructura y vías de acceso	. 36	
2.2.3	Disponibilidad de equipos.	. 37	
2.2.4	Estudios de suelos	. 37	
2.3	DISPONIBILIDAD DE RECURSO ENERGÉTICO	. 37	
2.3.1	Análisis de velocidad de viento	. 38	
2.3.1.1	Explorador Eólico ALTERNAR (EEA).	. 38	
2.3.1.2	Plataforma GEOAlternar.	. 39	
2.3.1.3	Plataforma Global Wind Atlas (GWA	. 39	
2.3.2	Análisis de las plataformas explorador eólico alternar, Geoalternar y		
	global WIND Atlas.	40	
2.3.2.1	Análisis potencial eólico en el corregimiento de Cocal Payanes		
	municipio de Mosquera:	40	
2.3.2.2	Análisis potencial eólico del sector Bocagrande del municipio de		
	Tumaco:	42	
2.3.3	Análisis de velocidad promedio con las plataformas GWA,		
	GEOAlternar y EEA para el departamento de Nariño	. 44	
2.4	VARIABLE TIPO SOCIAL	48	
2.5	VARIABLE TIPO AMBIENTAL	48	
2.6	TRABAJO DE CAMPO SOCIAL Y ENERGÉTICO	48	
2.6.1	Estudio socioeconómico.	48	
2.6.2	Aplicación de la encuesta Socioeconómica y Energética – SOOEN	49	
2.6.3	Análisis energético y socioeconómico de la subregión de Sanquianga		
	y los concejos comunitarios de Tumaco	49	
2.6.3.1	Caracterización Socioeconómica de las viviendas	50	
2.6.3.2	Características del consumo Energético por Fuente y Uso	53	

3.	OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO PARA LA SELECCIÓN DE UNA SOLUCIÓN ENERGÉTICA ÓPTIMA PARA EL CORREGIMIENTO	
	COCAL PAYANES Y EL SECTOR BOCAGRANDE	56
3.1	SIMULACIÓN DE SISTEMAS	56
3.2	SOLUCION ENERGÉTICA CORREGIMIENTO COCAL PAYANES	57
3.2.1	Sistema 8 Cocal Payanes.	58
3.2.1.1	Sistema eólico –diésel más sistema fotovoltaico	30
3.2.1.2	Escenarios de consumo Cocal Payanes	32
3.2.1.3	Simulación con mejores condiciones de velocidades de viento	
	aplicadas a Cocal Payanes	33
3.3	SOLUCIONES ENERGETICAS SECTOR BOCAGRANDE	35
3.3.1	Sistema 1 sector Bocagrande	36
3.3.1.1	Sistema eólico -diésel más generador fotovoltaico sector Bocagrande 6	37
3.3.1.2	Escenarios de consumo Sector Bocagrande	39
3.3.1.3	Simulación con mejores condiciones de velocidad de viento aplicada	
	al sector Bocagrande.	70
4.	CONCLUSIONES	72
BIBLIO	GRAFÍA	74

Tabla 1.	Descripción del corregimiento de Cocal Payanes y el sector Bocagrande	30
Tabla 2.	Velocidad promedio en dos municipios de cada subregión del	30
Tabla 2.	departamento de Nariño	45
Tabla 3.	Estadística de velocidad promedio	
Tabla 4.	Encuestas validas Cocal payanes y Sector Bocagrande	
Tabla 5.	Resultados encuesta SOOEN en ZNI de la Subregión de	70
rabia o.	Sanquianga y los Concejos Comunitarios de Tumaco	51
Tabla 6.	Resultados encuetas SOOEN en ZNI de la Subregión de	•
	Sanquianga y los Concejos Comunitarios de Tumaco	52
Tabla 7.	Resultados encuetas SOOEN en ZNI de la Subregión de	-
	Sanquianga y los Concejos Comunitarios de Tumaco	54
Tabla 8.	Resultados de los sistemas simulados integrando altura de la torre	
	y capacidad del generador eólico para la población de Cocal	
	Payanes	58
Tabla 9.	Clasificación del factor de capacidad en instalaciones eólicas	58
Tabla 10.	Resultado de optimización del sistema 8 Cocal Payanes	
Tabla 11.	Configuración eléctrica de optimización del sistema 8 Cocal	
Payanes	59	
Tabla 12.	Emisiones emitidas por el sistema 8 renovable y sistema	
	tradicional diésel	60
Tabla 13.	Resultado de optimización del sistema 8 mas sistema fotovoltaico	
	Cocal Payanes	61
Tabla 14.	Configuración eléctrica de optimización del sistema 8 más sistema	
	fotovoltaico Cocal Payanes	61
Tabla 15.	Factor de capacidad generadores eólico, diesel y fotovoltaico	
T 11 40	Cocal Payanes	61
Tabla 16.	Emisiones emitidas por el sistema 8 más el generador fotovoltaico	00
Table 47	Cocal Payanes	
Tabla 17.	Resultados escenarios de consumo Cocal Payanes	63
Tabla 18.	Resultados de los sistemas simulados integrando altura de la torre	
	y capacidad del generador eólico con mejores condiciones de	64
Tabla 19.	velocidades de viento aplicadas a Cocal Payanes	04
Tabla 19.	Emisiones emitidas por el sistema 8 velocidades de Buesaco aplicada a Cocal Payanes	65
Tabla 20.	Resultados de los sistemas simulados integrando altura de la torre	05
ו מטומ בט.	y capacidad del generador eólico para la población de	
	, ,	66
Tabla 21.	Resultado de optimización del sistema 1 Bocagrande	

Tabla 22.	Factor de capacidad generadores eólico y diesel Bocagrande	67
Tabla 23.	Emisiones emitidas por el sistema 1 y sistema tradicional diésel	
	Bocagrande	67
Tabla 24.	Resultado de optimización del sistema 1 mas sistema fotovoltaico	
	Sector Bocagrande	68
Tabla 25.	Configuración eléctrica de optimización del sistema 1 más sistema	
	fotovoltaico Sector Bocagrande	68
Tabla 26.	Emisiones emitidas por el sistema 1 renovable Sector Bocagrande.	
Tabla 27.	Resultados escenarios de consumo Sector Bocagrande	69
Tabla 28.	Resultados de los sistemas simulados integrando altura de la torre	
	y capacidad del generador eólico con velocidades de viento de	
	Buesaco aplicadas al Sector Bocagrande	70
Tabla 29.	Configuración eléctrica de optimización sistema 5 velocidades de	
	Buesaco aplicada al Sector Bocagrande	70
Tabla 30.	Emisiones emitidas por el sistema 5 velocidades de Buesaco y	
	sistema tradicional diésel Sector Bocagrande	71

LISTA DE ILUSTRACIONES

pág.

Ilustración 1.	Índice de Griggs – Putman	. 23
Ilustración 2.	Obstáculos presentes en el emplazamiento eólico	
Ilustración 3.	Efecto estela en parque eólico	. 26
Ilustración 4.	Distancia entre turbinas en parques eólicos	
Ilustración 5.	Distribución de turbinas en parques eólicos en terrenos planos	
Ilustración 6.	Disposición de turbinas en parques eólicos cerca de la	
	carretera y caminos transitados	. 27
Ilustración 7.	Disposición de turbinas en parques eólicos con terrenos	
	accidentados o con pendientes	. 28
Ilustración 8.	Curvas de carga de demanda promedio al día del mes de	
	Octubre en Cocal Payanes	
Ilustración 9.	Curvas de carga de demanda promedio al día del mes de	
	Octubre en el sector Bocagrande	
Ilustración 10.	Curva de demanda de escenarios de consumo Cocal	
	payanes	. 35
Ilustración 11.		
	Bocagrande	. 35
Ilustración 12.	1	
Ilustración 13.	Distribución Weibull corregimiento Cocal Payanes	. 41
Ilustración 14.	.	
Ilustración 15.	Velocidad promedio sector Bocagrande	. 42
Ilustración 16.	Distribución Weibull sector Bocagrande	
Ilustración 17.	Rosa de los vientos sector Bocagrande	
Ilustración 18.	Propiedad de la vivienda en el sector residencial en la	
	subregión de Sanquianga y los concejos comunitarios de	
	Tumaco	
Ilustración 19.	1 0 1	
	concejos comunitarios de Tumaco	
Ilustración 20.		
	el municipio de Tumaco	. 52
Ilustración 21.	Nivel de ingresos en la subregión de Sanquianga y los	
	concejos comunitarios de Tumaco	. 53
Ilustración 22.	1	
	Sanquianga y el municipio de Tumaco	
Ilustración 23.		. 57
ilustración 24.	Sistema hibrido sistema 8 más generador fotovoltaico Cocal	-
	Payanes	
Illigtración 25	RECUISO VIENTO CON MEIOTES CONDICIONES	64

RESUMEN

En esta investigación se presenta una metodología, que busca integrar aspectos sociales, económicos, geográficos, técnicos y fiscos, para la implementación de soluciones aisladas con base en sistemas eólicos de baja potencia en Zonas No Interconectadas (ZNI) del litoral Pacífico Nariñense. Para este propósito, el Proyecto Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño – ALTERNAR – brindó las herramientas necesarias como bases de datos, disponibilidad de recurso humano y equipos de trabajo de campo entre otros.

En el diseño de la metodología de trabajo para las ZNI se hace la descripción de las variables a ser analizadas para obtener un criterio sobre las poblaciones en las cuales la instalación de soluciones energéticas aisladas hibridas (eólica –diésel) es factible. En este trabajó también se explica la aplicación de la metodología a dos localidades de estudio, las cuales fueron escogidas por los investigadores del grupo de trabajo ALTERNAR. Estas poblaciones son: el Sector Bocagrande (Tumaco), que está constituido por las veredas de El Rompido y Bocagrande, y Cocal Payanes, corregimiento que se encuentra en la subregión de Sanquianga y pertenece al municipio de Mosquera. Por último, se obtiene una solución energética renovable hibrida eólica – diésel óptima para las localidades objeto de estudio. El diseño de la solución de energía eléctrica óptima se obtuvo con el software HOMER.

ABSTRACT

This research presents a methodology that seeks to integrate social, economic, geographic, technical and fiscal aspects, for the implementation of isolated solutions based on low power wind systems in Non - Interconnected Zones (ZNI) of the Nariñense Pacific coast. For this purpose, the Project of Analysis of Energy Opportunities with Alternative Sources in the Department of Nariño - ALTERNAR - provided the necessary tools such as databases, availability of human resources and fieldwork teams among others.

In the design of the work methodology for the ZNI the description of the variables to be analyzed is obtained to obtain a criterion on the populations in which the installation of isolated hybrid energy solutions (wind-diesel) is feasible. This work also explains the application of the methodology to two localities of study, which were chosen by the researchers of the ALTERNAR working group. These towns are: Sector Bocagrande (Tumaco), which is constituted by the roads of El Rompido and Bocagrande, and Cocal Payanes, corregimiento that is in the subregion of Sanquianga and belongs to the municipality of Mosquera. Lastly, an optimum wind - diesel hybrid renewable energy solution is obtained for the localities under study. The design of the optimal electric power solution was obtained with the HOMER software.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es un tema del cual se viene hablando hace varios años [17], un problema que se genera entre otras causas, por la liberación de CO₂ a la atmósfera que en su mayoría provienen de la combustión de combustibles fósiles en vehículos, fábricas y producción de electricidad. La reducción en la producción de gases de efecto invernadero repercute positivamente sobre el medio ambiente, razón por la cual en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se creó el Protocolo de Kioto en 1997. Con este convenio se establecen una serie de acciones y medidas que favorecen la producción en menores cantidades de este tipo de gases; responsabilidad que tienen los países que apoyan el proceso. Una forma indirecta en que los países participantes pueden cumplir con el Protocolo es con las Emisiones Transables [12], que es un modo con el que buscan alcanzar los objetivos trazados sin reducir la emisión de gases en su territorio financiando Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) [13] produciendo energías con fuentes que sus emisiones están por debajo de las máximas permitidas y con la diferencia, transan los excesos. Los MDL promueven la generación de energía con fuentes limpias y/o renovables como son energía solar, eólica, geotérmica, hídrica y biomasa; siendo la energía eólica, en Europa [17] por ejemplo, una de las que mayor éxito han tenido. En la Cumbre del Clima en París realizada a finales de 2015, 195 países adquirieron el compromiso de limitar el calentamiento global por debajo de los 2 °C con un horizonte a 2030. 189 países presentaron sus propuestas de Contribuciones Previas y Determinadas a Nivel Nacional (INDCs), donde 147 países mencionaron las energías renovables como una fuente para llevar a cabo el propósito de disminuir al calentamiento global. Estos compromisos también fueron acordados por el sector privado [30]. El panorama mundial muestra que a 2015 se tenía un aumento significativo en las energías renovables, en donde la energía solar encabeza la lista con un 56% de la capacidad instalada respecto del total de renovables, mientras que la segunda fuente de generación en aumento es la eólica con un 38% [31]. Por su parte, la energía eólica a nivel mundial tenía un aproximado de 433 GW de capacidad instalada hasta el año 2015, convirtiendo esta fuente en una de las de mayor proyección en Europa y Estados Unidos y la segunda para China. Actualmente, en constante crecimiento, se destacan los casos de Alemania que cuenta con el 60% de producción eólica en cuatro estados y Dinamarca con el 42% [30]. En consecuencia, el uso de aerogeneradores ha logrado que múltiples compañías sientan interés, ya que ha demostrado ser una fuente de energía confiable y de bajo costo [30].

A nivel regional, Latinoamérica ha incursionado en la generación eólica y hoy en día, uno de los países más destacados es Uruguay con una capacidad instalada de 580 MW [32], equivalente al 15,5% del total de la capacidad instalada en este país [30]. En orden le sigue Panamá con 260 MW [30], Perú con 239 MW [30] y Chile con 57,84 MW [30].

Por su parte, Colombia es potencia en recursos hídricos, hecho que le ha permitido construir su canasta energética primordialmente con el uso de caudales que abastecen las centrales hidroeléctricas [15]. A pesar de que a nivel local Colombia es fuerte en la generación hidroeléctrica, los cambios climáticos, como el fenómeno del niño y los periodos naturales de seguía [33], han representado problemas complejos que han obligado a las autoridades en materia de planeamiento energético a buscar nuevas formas de generación que sean complementarias y permitan la diversificación de la matriz. Una opción entre las fuentes renovables es la eólica, conociendo que en Colombia se encuentran varios departamentos con alto potencial. En especial, la Costa Norte es la que presenta mayor potencial [33] con la experiencia en generación eólica ubicada en la alta Guajira, el Parque Jepirachi, que cuenta con una capacidad nominal instalada de 19,5 MW, representando el 0.15% del potencial instalado a nivel nacional[16]. El departamento de Nariño es una región llena de riguezas naturales, que posee grandes extensiones en su geografía con características similares como la Llanura del Pacifico con una representación del 52% del departamento. Por el centro, de norte a sur se encuentra la Región Andina con el 40% y al sur oriente del Departamento se encuentra la Vertiente Amazónica con el 8% del territorio [18]. Así, Nariño se convierte en una zona amplia para el desarrollo de exploraciones de diversos recursos energéticos, pues la variada morfología permite tener ríos caudalosos, corrientes de aire que se forman por la diferencia de presiones entre

montañas y llanuras, y corrientes de aire continentales como los vientos alisios

que están presentes en el litoral y afluentes amazónicas.

En cuanto a infraestructura eléctrica, Nariño tiene grandes deficiencias debidas principalmente a sus grandes extensiones en las que alejados del Sistema de Interconexión Nacional –SIN-, contando con poblaciones de mucho potencial en la producción agrícola y agroindustrial. Sin embargo, el hecho de estar alejados y por fuera de la interconexión, no permite que a estos lugares se llegue con un servicio de energía de 24 horas; hecho que acarrea problemas que afectan directamente aspectos de la salud, la educación y el saneamiento básico. Un indicador común en este tipo de poblaciones es la carencia de servicio básico de acueducto y alcantarillado que repercute directamente sobre la calidad de vida de sus habitantes. En Colombia, el ente encargado de dar soluciones de energía eléctrica a este tipo de zonas es el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas –IPSE, que aunque en los últimos años está diversificando la manera de llevar energía a las ZNI con uso de fuentes renovables en sistemas híbridos, la gran mayoría de las veces lo hace por medio de generadores diésel, dando un servicio a tiempo parcial. Si se pensara en llevar una solución al servicio de energía eléctrica a estas zonas por medio de la interconexión, resultaría muy costoso y con dificultades en el componente técnico por terrenos altamente inestables, con zonas protegidas de manglares y presencia de esteros sometidos a mareas y alto grado de salinidad, como en la costa pacífica, esto tendría un alto impacto ambiental. La situación anterior, obliga a pensar en otra forma de llevar el servicio como la generación en el sitio, aprovechando los recursos que hava en la zona como por ejemplo la energía del sol, el viento, la biomasa, entre otros. La generación de energía con fuentes alternativas y renovables está sujeta a la disponibilidad del recurso energético, para lo que se debe estudiar la fuente a fin de poder dimensionar los sistemas y/o plantas.

Los estudios del recurso eólico en Nariño y especialmente en la Costa Pacífica, son escasos, y por tanto no se tiene un referente al respecto. Aunque existen mapas de vientos realizados por el IDEAM y otras fuentes internacionales, estos carecen de resolución y la información presentada no es adecuada para diseños a nivel de ingeniería de detalle.

En respuesta a la necesidad identificada en Nariño, se ejecutó el Plan de Energización Rural Sostenible –PERS, en donde investigadores de la Universidad de Nariño por medio de una metodología fundamentada en recolección de información primaria y análisis estadísticos, obtuvieron una caracterización de la oferta y la demanda de recursos energéticos a nivel de subgrupos geográficos dentro del departamento. Como parte de la investigación, por medio de trabajo de campo detallado y haciendo usos de herramientas y métodos básicos, se pudo determinar que existen sitios potencialmente aptos para la generación de energía eólica. La conclusión preliminar del PERS fue que estos lugares debían estudiarse y determinar la viabilidad técnica para la generación eléctrica, ya que de encontrar vientos con velocidades adecuadas, esta podría ser una forma de llevar una solución de energía a localidades cercanas sin servicio.

Ante esta perspectiva, el proyecto denominado Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño -ALTERNAR propone la caracterización de recursos de biomasa, solar, hidráulica y generación eólica, con el fin de brindar soluciones sostenibles para las comunidades de las Zonas No Interconectadas del Departamento de Nariño (ZNI). Uno de los principales objetivo del proyecto ALTERNAR consiste en identificar fuentes energéticas alternativas incluyendo aspectos geográficos, mediciones directas y proyecciones estadísticas de las fuentes de energía más importantes. Con esta caracterización se propone el diseño de una posible solución replicable en una zona apartada que incluya conceptos de redes inteligentes y generación distribuida con fuentes renovables.

En este sentido, este trabajo aporta en estos objetivos, entregando un análisis de los potenciales eólicos encontrados en varios municipios del departamento, tomando plataformas desarrolladas en ALTERNAR como GEOAlternar y Explorador Eólico Alternar y su comparación con la plataforma internacional denominada Global Wind Atlas, propuesta por la agencia IRENA. Dentro de la investigación se creó una metodología multicriterio con variables técnicas, físicas, ambientales y sociales para el emplazamiento de generadores eólicos de baja potencia, realizando un estudio socioeconómico en las regiones objeto de estudio del proyecto ALTERNAR e invitando a la comunidad a integrarse en este proceso.

La parte final del trabajo está enfocada en el trabajo de campo, en donde se escogieron dos casos de estudio y se aplicó la metodología planteada.

La investigación aporta al desarrollo de la generación eólica de baja potencia en el departamento de Nariño, entregando la ubicación de posibles potenciales eólicos. El planteamiento de la metodología es una guía para la ejecución de proyectos replicables de energización enfocados en las zonas rurales o de difícil acceso, en donde se puede llevar una solución de energía con fuente renovable.

El análisis del potencial eólico es de vital importancia para el diseño de una solución energética basada en la fuente. En este documento se describe y analiza variables como: velocidad (m/s), dirección con porcentajes de ocurrencia y distribución Weibull que son fundamentales para establecer lugares de generación eólica. Para desarrollar la metodología se hizo uso del software HOMER para el diseño de las soluciones energéticas sostenibles en las zonas de estudio. Los casos de estudio se enfocaron en soluciones energéticas hibridas eólicas-diesel, que brindan un servicio 24 horas 7 días. Con el diseño de estos sistemas se realizan comparaciones de emisiones con respecto a un sistema tradicional completamente diésel. Como ejercicio para proyectar parte de la demanda, se plantea escenarios de consumo y la integración de un sistema fotovoltaico a la solución energética y se describe un análisis del comportamiento del sistema manteniendo la demanda de las poblaciones de estudio y se varía la velocidad del viento.

1. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES EÓLICAS EN ZNI

En este capítulo se describen las variables a tener en cuenta para un buen emplazamiento de generación eólica en las ZNI, construyendo una metodología que tiene en cuenta aspectos físicos, socioeconómicos y técnicos. Al tener los componentes esenciales del desarrollo de aplicaciones energéticas en cualquier localidad, se espera que el método pueda ser replicado en cualquier vereda ZNI

1.1 VARIABLES A EVALUAR PARA LA INSTALACION DE SOLUCIONES AISLADAS EN ZNI

La búsqueda de una solución a una problemática empieza por el análisis mismo del problema, entender en qué consiste y cuáles son las variables que lo generan. En este primer paso se sistematizan los componentes para dimensionar la situación de tal forma que se observe como un todo, permitiendo proponer soluciones que ataquen la verdadera causa que genera la situación que se tiene. En esta sección se realiza una revisión de las principales problemáticas y situaciones alrededor de un servicio de energía deficiente en poblaciones de Costa Pacífica de Nariño, destacando de manera muy evidente el método actual de generación por medio de grupos de combustión a base de diésel. La información consignada en este apartado apunta a conocer las debilidades y fortalezas que existen en la zona de estudio para la implementación de una solución energética renovable confiable haciendo énfasis en aprovechar el recurso eólico por medio de mini aerogeneradores.

Aunque el análisis de las variables se presenta de manera general, podrían servir para cualquier tipo de proyecto que busque solucionar el problema del mal servicio de energía por medio de cualquier fuente alternativa.

Alrededor de la problemática del servicio deficiente de energía existen varios factores que influyen o podrían influir al momento de emprender acciones en pro de mejorar la situación actual. Por ejemplo, se deben tener en cuenta factores técnicos, ambientales, y culturales. A continuación se presenta la problemática de abastecimiento de energía eléctrica, las poblaciones de estudio y el resultado de las variables evaluadas para la instalación de soluciones energéticas renovables.

1.2 PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA TRADICIONAL EN ZONAS NO INTERCONECTADAS

En Colombia la cobertura de energía eléctrica solo abarca el 48% del territorio Nacional acoplado al Sistema Interconectado Nacional (SIN), infraestructura que

se encarga de llevar la energía hasta las principales ciudades del país. El 52%[22] restante se localiza en las regiones de difícil acceso o apartadas; regiones denominadas Zonas No Interconectadas (ZNI). En estas zonas se encuentran recursos locales como riquezas hídricas y mineras, su actividad económica gira entorno a la producción agrícola, pecuaria y/o pesquera. En estas regiones se encuentra gran biodiversidad y algunas de ellas están dentro de las zonas protegidas habitadas por resguardos indígenas y comunidades negras. Por lo general, en las ZNI el servicio de energía se brinda por medio del accionamiento de grupos electrógenos a base de diésel por algunas horas, encontrándose también casos en que la generación aislada se logra por medio de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas —PCH. Todos los procesos de energización de ZNI en Colombia, se gestionan por medio del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), organismo adscrito al Ministerio de Minas y Energía —MME.

A pesar de los esfuerzos del IPSE, en las ZNI existen deficiencias marcadas en cuanto a la calidad y cantidad del servicio de energía. Es así como por ejemplo en la Costa Pacífica nariñense, la Universidad de Nariño por medio de trabajos de campo en la ejecución del Plan de Energización Rural Sostenible –PERS, ha identificado varios problemas que afectan este servicio.

Según información recopilada en los corregimientos y veredas de la costa, en promedio se brinda 5 horas de servicio de energía diariamente, por lo general entre 6 y 11 de la noche. Estas pocas horas diarias del servicio son insuficientes y solo se aprovechan para iluminación y ver televisión. Al poco tiempo que se tiene el servicio se suman otros problemas, como por ejemplo que las plantas generadoras diésel presentan un alto índice de fallas y su tiempo de reparación puede llegar a tomar varios meses. Otro problema de la baja disponibilidad del servicio es provocado por el esquema de la entrega del combustible que en algunos periodos no llega a tiempo o la cantidad suministrada es insuficiente. Según las mediciones de variables eléctricas realizadas por el PERS, se ha comprobado que la calidad de la energía no es la mejor, llegándose a encontrar voltajes por debajo de 80 voltios y en ocasiones por encima de 130; factor que afecta gravemente el funcionamiento de electrodomésticos.

Ahora bien, en la Costa Pacífica de Nariño, actualmente se está terminando el proyecto de interconexión que abarca a 10 cabeceras municipales, llevando un servicio 24/7 a estas poblaciones que actualmente y desde hace menos de dos años poseen energía permanente con generación diésel. Si bien este proyecto va a mejorar notablemente las condiciones de las cabeceras municipales, permitiendo una mejor calidad de vida de sus habitantes, lo cierto es que corregimientos y veredas apartados seguirán con los mismos problemas de la energía y el horizonte no es nada bueno ya que si se interconectan será a largo plazo.

El proyecto de interconexión Guapi – Francisco Pizarro ha enfrentado toda clase de problemas como la dificultad para el acceso y transporte de materiales en adición a los inconvenientes de tipo social y ambiental. También hay que tener en cuenta que el bosque de mangle presenta unas condiciones muy agrestes y un nivel de pluviosidad elevada que hace que los suelos presenten erosión e inestabilidad del terreno. Estos aspectos demandan mucha más técnica y materiales en la instalación de cimientos para ubicar las estructuras. Por otra parte, las redes eléctricas en media y baja tensión estarán expuestas a este tipo de ambiente salobre y tendrán un altísimo nivel de riesgo de ser afectadas en su estabilidad, provocando un nivel de fallas elevado, y por las rutas de difícil acceso, un tiempo de reparación de días e incluso semanas.

Por todo lo anterior, se debe tener en cuenta que la infraestructura física de la expansión de redes de distribución estará en constante amenaza y con respecto a las poblaciones rurales fuera de las cabeceras municipales, se podría pensar en una alternativa diferente que brinde una solución que sea viable y sostenible en todos los aspectos. A continuación se presentan las principales restricciones y variables a tener en cuenta para el diseño de una solución aislada que pueda abastecer energéticamente a veredas ZNI.

1.3 RESTRICCIONES DE TIPO TÉCNICO

1.3.1 Demanda energética. El dimensionamiento de un sistema de generación de energía eléctrica es uno de los primeros pasos en el diseño de una solución. Esta demanda se pude obtener por medio del análisis de las curvas de carga que den idea del comportamiento del consumo de energía a lo largo de un periodo dado en días, semanas, meses o años, diferenciando fines de semana y días de la semana y teniendo en cuenta meses como diciembre, que por lo general demandan mayor potencia y energía.

En los avances que el PERS ha logrado en la costa Pacífica, se han podido determinar promedios en el consumo de algunos energéticos que podrían ser muy útiles ya que dan el punto de partida y una referencia que necesita ser afinada en casos particulares. La estimación de la demanda debe tener en cuenta que al diseñar una solución del servicio de energía con disponibilidad 24/7, los usos de la matriz de energéticos puede cambiar, ya que actualmente solo se tiene 5 horas de servicio. Entonces por ejemplo, se debe hacer un análisis de cómo va a disminuir o aumentar la demanda energética al aplicar buenas prácticas de consumo de energía eléctrica, es decir, las variaciones que se tendrían al cambiar electrodomésticos convencionales por eficientes, como son: refrigeradores, iluminación, cocción entre otros . De esta manera se realizan cruces de variables a fin de obtener una buena estimación de la demanda que habrá una vez sea implantado un sistema de generación completa. Otro aspecto en la estimación de

la demanda es el proceso de migración que pueda ocurrir hacia la población objetivo, donde los habitantes de poblaciones cercanas se verán atraídos hacia el lugar donde hay mejores condiciones y puedan mejorar su nivel de vida. De igual manera se debe realizar el cálculo de la demanda de procesos productivos.

1.3.2 Infraestructura y vías de acceso. Al iniciar la investigación en pro de la estructuración de un proyecto energético, se debe hacer una revisión exhaustiva de las condiciones reales del sector en el que se pretende implantar la maquinaria. Lo más importante en este aspecto son las vías de acceso y la infraestructura de la cual el proyecto pueda hacer uso y aminorar los costos.

En la Costa Pacífica nariñense, las vías de acceso son casi en su totalidad por vía fluvial y marítima, donde el medio de transporte son las lanchas, canoas y pequeños buques. Las lanchas que son impulsadas por motores fuera de borda a dos tiempos incrementan el costo del transporte por el consumo de combustibles líquidos. Esta variable es fundamental tener en cuenta ya que en la inversión del proyecto, una parte significativa será para el transporte y equipos; así que hay que calcular muy bien los costos, las distancias y los tiempos.

Por otra parte, el otro aspecto de la infraestructura física está representado por las redes eléctricas existentes, por lo que se debe revisar su estado y determinar si se pueden usar o por el contrario hay que instalar redes nuevas.

- **1.3.3 Disponibilidad de equipos en el mercado**. Con los estudios y diseños se puede obtener especificaciones que deben cumplir los equipos que se van a instalar, por lo tanto es necesario realizar una revisión de los equipos ofrecidos en el mercado nacional o por medio de importación y las condiciones de su entrega. Las conclusiones a las que se debe llegar es si es posible obtener los equipos y materiales que el proyecto requiere o en caso contrario el proyecto no es viable técnicamente.
- **1.3.4 Estudios de suelo.** Por las condiciones inestables del terreno, la influencia de las mareas y condiciones medioambientales agrestes, es de alta importancia estudiar muy bien los suelos en los que se va a instalar los equipos de la planta generadora. El estudio se hace más exhaustivo a medida que el tamaño de la planta y equipos eléctricos aumentan pues el peso influirá notoriamente en la estabilidad del suelo y en la inversión de cimentación.

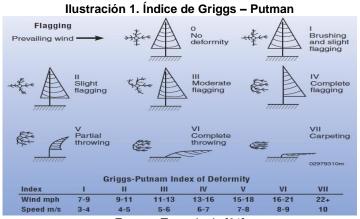
La instalación de postes y torres puede requerir la construcción de sistemas de pilotaje y bases profundas en hormigón. Además, en ocasiones será necesario construir muros de contención, canalización de afluentes o cimentación de áreas para darles solidez. Todo esto puede incrementar hasta en un 100% los costos del

proyecto dependiendo la cantidad de obras de adecuación o el tamaño de las mismas.

1.4 DISPONIBILIDAD DEL RECURSO ENERGÉTICO

El estudio de los recursos energéticos encaminados a producir energía eléctrica es uno de los más importantes que se deben desarrollar. Pensar en generar energía de forma aislada, requiere en primera instancia de un análisis de las fuentes energéticas locales para luego decidir cuál es la mejor alternativa. A esta conclusión se puede llegar luego de tener en cuenta una serie de consideraciones de tipo técnico, ambiental, de mercado y cultural, proceso en el que la comunidad beneficiada debe participar de forma activa con el equipo de investigadores y personal técnico.

Para el estudio particular del recurso eólico se puede partir de la información preliminar subjetiva, recolectada a través de los habitantes de la localidad en estudio. Adicional a esto, en visitas previas se visualiza el entorno de la comunidad, destacando la influencia ejercida del viento sobre el follaje de la vegetación, siendo este un índice para considerar si en la zona se presentan buenos vientos y además intuir cual es la dirección de donde provienen. Una herramienta para determinar este factor se verifica con el índice de Grigss – Putman como se muestra en la Ilustración 1.



Fuente: Tomada de [21]

El paso a seguir es la instalación de estaciones meteorológicas para la mediciones de velocidad y dirección del viento, las cuales tienen una duración de 3 a 5 años para proyectos de gran envergadura. Para proyectos pequeños, las mediciones deben ser de un periodo mínimo de un año [2], y tener un argumento sólido para la implantación de generadores eólicos. De esta forma, a través del procesamiento y

análisis de los datos de las estaciones meteorológicas se verifica los potenciales eólicos de una zona determinada.

1.5 RESTRICCIONES DE TIPO SOCIAL

Por lo general, los proyectos de energización son de inversión pública y participa más de un ente, siendo la comunidad un actor que a su vez es el beneficiario, pero puede ocurrir que los habitantes no estén de acuerdo con algún tipo de solución que se quiera implementar en su población. De llegarse a dar la anterior situación, el proyecto se hará inviable socialmente y no podrá seguir; es por eso que la comunidad debe participar de forma activa, tomando decisiones conjuntamente con el equipo estructurador.

La comunidad se puede oponer a que en su región se implemente algún tipo de solución por varias razones, principalmente porque va en contra de su cultura y de llevarse a cabo tal alternativa, verían afectada su autonomía cultural y sus costumbres.

1.6 RESTRICCIONES DE TIPO AMBIENTAL

Las intervenciones que se hagan sobre el medio ambiente, esencialmente en lo que tiene que ver con construcciones de obras civiles o implantación de maquinaria, es un hecho que requiere de un estudio sobre el impacto ambiental que estos pudieran causar al medio, analizando tanto la afectación directa así como los efectos secundarios sobre la fauna, flora y los factores abióticos.

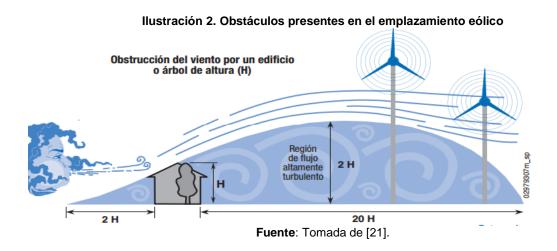
En la construcción de parques eólicos de tamaños considerables, los estudios ambientales se centran en la afectación que produce la deforestación que se deba hacer, el ruido que producen las aspas de los molinos y la sombras intermitentes que pueden causar trastornos en las personas que están expuestas de manera directa. Si bien estos estudios son de carácter obligatorio en parques con molinos gigantes, en implantaciones de mediana y pequeña escala pierden importancia por su impacto casi nulo y por el costo económico que elevaría el presupuesto de forma significativa [1].

En la implantación de generadores eólicos de pequeña escala se debe tener en cuenta aspectos como las áreas de reproducción de especies nativas y migratorias y las zonas de alimentación, igualmente un estudio de impacto aviar en la zona.

En la costa pacífica nariñense es importante tener en cuenta las limitaciones de Parque Natural Sanquianga.

1.7 DISPOSICIÓN DE GENERADORES EÓLICOS EN EMPLAZAMIENTOS

1.7.1 Obstáculos. En la instalación de generadores eólicos se presentan varios problemas entre los que se encuentran los obstáculos en la ruta directa del viento. Los edificios o las formaciones geológicas como son árboles, montañas, casa, cultivos entre otros, provocan una disminución en la velocidad del viento y generan un aumento en las turbulencias. Para tomar las medidas correctivas necesarias, se inspecciona la zona en busca del emplazamiento con menores obstáculos. La llustración 2 presenta el comportamiento del viento ante obstáculos.



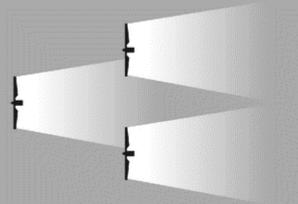
Los aerogeneradores en lo posible se disponen al frente de cualquier obstrucción. Si esto no es posible, se requiere que el generador este ubicado al menos a 9 metros por encima de cualquier obstáculo presente a 90 radialmente [3].

1.7.2 Distancia entre generadores eólicos. La instalación de generadores eólicos demanda una óptima ubicación para no tener problemas de turbulencia entre ellos. El efecto sombra (llustración 3) es un problema latente en el momento de la ubicación de las turbinas en los parque eólicos. El viento que llega a un generador crea una larga cola de viento con bastante turbulencia y el aire se vuelve lento detrás de la turbina. Para evitar este problema los generadores se deben colocar a una distancia mínima.

La disposición de las turbinas en los parque eólicos es de 5 a 9 veces el diámetro del rotor en la dirección de los vientos predominantes, y de 3 a 5 veces el diámetro del rotor en dirección perpendicular a los vientos dominantes ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. la llustración 4 muestra la forma correcta de colocar los generadores eólicos. Si las turbinas se disponen en otra dirección,

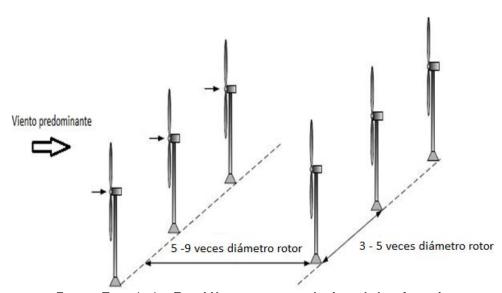
la distancia mínima entre ellos será la suma vectorial de la dirección predominante y la dirección perpendicular [35].

Ilustración 3. Efecto estela en parque eólico



Fuente: Tomada de [20]

Ilustración 4. Distancia entre turbinas en parques eólicos

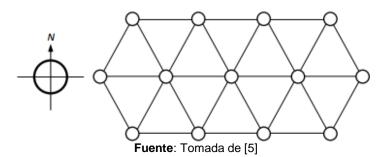


Fuente: Tomada de ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

1.7.3 Distribución de generadores eólicos según el terreno. Al igual que la distancia mínima que debe existir entre cada generador eólico para evitar el efecto sombra, la disposición de cada generador es de vital importancia para minimizar una baja producción de potencia de cada generador.

A. Terrenos planos: Para esta clase de terrenos la mejor distribución es una estructura rectangular a base de triángulos equiláteros [5] como se mira en la llustración 5.

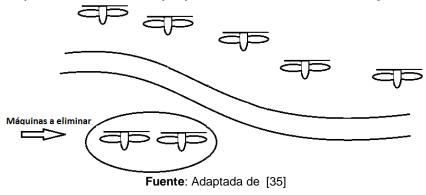
Ilustración 5. Distribución de turbinas en parques eólicos en terrenos planos



Carreteras y caminos transitados: En este caso la disposición de los generadores eólicos se procura generadores eólicos se procura ubícalos en un solo lado de la vía, dando como resultado una sola resultado una sola alineación, esto se da verificando la compatibilidad topográfica del terreno [35] en topográfica del terreno [35] en la

B. Ilustración 6 se encuentra un ejemplo la disposición de las turbinas eólicas.

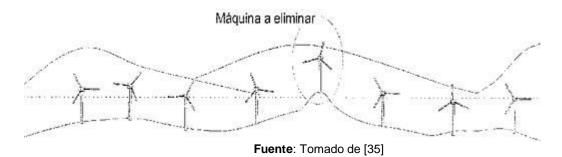
Ilustración 6. Disposición de turbinas en parques eólicos cerca de la carretera y caminos transitados



Terrenos accidentados o con pendientes: Para esta variedad de terreno se sigue las crestas principales y homogéneas, es decir, los generadores se ubican ubican en crestas que no sean muy altas o muy bajas, deben ser crestas similares en altura como esta en la

C. Ilustración 7.

Ilustración 7. Disposición de turbinas en parques eólicos con terrenos accidentados o con pendientes



1.7.4 Uso de métodos de optimización. Los ítems anteriormente mencionados son básicos para la ubicación de generadores eólicos y se puede partir de ellos para la implantación de parques eólicos. Sin embargo se puede hacer uso de herramientas de optimización como las empleadas de [6], en donde se realiza un caso de estudio teniendo en cuenta las restricciones distancia entre turbina, área del parque eólico y el efecto sombra. Otra forma es la utilizada por [5], donde se busca hallar el emplazamiento para cada turbina eólica que maximice los beneficios de la inversión dando como resultado la eficiencia de producción de la potencial total generada en el parque. Para llevar a cabo este fin hace una revisión de casos de prueba.

1.8 TRABAJO DE CAMPO SOCIAL Y TÉCNICO

Para la ejecución de un proyecto para brindar un beneficio a un territorio, y que para este fin requiere del apoyo y la inclusión de la comunidad, se debe realizar una socialización junto con el levantamiento de información de la localidad en donde se realiza el estudio. Para esto se debe llevar a cabo una cartografía social y la corroboración de la información con el trabajo de campo técnico. Para el desarrollo del trabajo de campo se debe tener en cuenta la legislación de consulta previa y relacionada, este es un derecho fundamental que los pueblos indígenas y étnicos tienen en la toma de decisiones al realizar proyectos en sus territorios [34].

1.8.1 Trabajo con la comunidad. Para el trabajo con la comunidad se requiere de la planeación de un trabajo colectivo comunidad-investigadores aplicando el mapeo social.

La cartografía social es uno de los métodos usados para recolectar información de territorios y poblaciones de las cuales se tiene poco conocimiento. Es una estrategia que integra la investigación -acción participativa teniendo a la comunidad como el participante fundamental. Con este método se logra la integración de una comunidad para obtener conocimiento de su territorio.

El mapeo social incentiva, a través de actividades participativas llevadas a cabo por medio de talleres, tertulias y encuestas, el descubrir su territorio. De igual manera es una herramienta que integra la información a través de un medio visual, en donde se puede observar cómo está conformada la comunidad, cómo se integran ante problemas de conflicto y cómo actúan ante nuevas ideas. Pasos para desarrollar la cartografía social:

- A. Etapa de sensibilización: En esta etapa, se da a conocer cuál fue la problemática que se identificó en la localidad y se socializa cual sería la posible solución, enfatizando los alcances que se tiene planeados en la ejecución, y cómo la comunidad puede aportar en el desarrollo y gestión de soluciones.
- **B. Etapa técnica:** Se instruye a la comunidad en qué consisten los diferentes tipos de energías renovables. Se da a conocer los estudios que se han realizado sobre el potencial energético encontrado en la localidad.
 - Se puede hacer uso de maquetas y plotters como materiales de apoyo visual, para lograr que la comunidad pueda dimensionar cual podría ser el tamaño de la solución energética.
- C. Etapa de construcción colectiva: En esta etapa se construye el mapeo social teniendo como principal partícipe a la comunidad, siendo ellos los que tienen el conocimiento de su territorio. En esta etapa es importante la participación de jóvenes, adultos mayores, trabajadores y madres de familia para tener una memoria colectiva del territorio. El objetivo de la cartografía social es identificar y ubicar número y tipos de usuarios, clasificar actividades productivas actuales y futuras, y por último, ubicación de los posibles emplazamientos de la solución energética y plantear lazos de gestión entre la comunidad y el proyecto.
- **1.8.2 Trabajo técnico.** Después de trabajar con la comunidad y organizar la información recolectada se pasa a la etapa de confirmar estos datos a través de la organización de grupos de trabajos que tendrán como tarea:
 - Georreferenciar a los usuarios y clasificarlos (residencial, comercial, residencial/comercial e institución)
 - Georeferenciar red de distribución y acometidas
 - Georeferenciar emplazamientos

Con la información técnica recolectada en trabajo de campo se procede a generar mapas, y de este modo depurar la información obtenida con la comunidad.

2. APLICACIÓN DE METODOLOGÍA A DOS CASOS DE ESTUDIO

2.1 LOCALIDADES OBJETO DE ESTUDIO

Dentro del proyecto ALTERNAR se han seleccionado inicialmente dos zonas de estudio en el Litoral Pacífico del departamento de Nariño; Cocal Payanes, en el municipio de Mosquera, y el sector Bocagrande, el cual está compuesto por las veredas de Bocagrande y El Rompido, todas pertenecientes al municipio de Tumaco.

En esta sección se recopila la información que se ha obtenido de fuentes secundarias y primarias, especialmente del trabajo de campo realizado en esta investigación y de experiencias de investigadores de la Universidad de Nariño que conocen los lugares y han realizado trabajos en estas zonas. Una de las partes importantes es conocer aspectos como la ubicación geográfica, economía, población, aspectos físicos, vías, servicios públicos y aspectos sociales para caracterizar la zona objeto de estudio. A continuación se presenta la Tabla 1 con estos aspectos, mientras que en el Anexo A se tiene la información detallada de cada población.

Tabla 1. Descripción del corregimiento de Cocal Payanes y el sector Bocagrande

	Cocal Payanes	Sector Bocagrande
Ubicación geográfica	Pertenece al municipio de Mosquera, sus coordenadas son: Latitud 2.52408, Longitud - 78.34394	Pertenece al municipio de Tumaco, sus coordenadas son: Latitud 1.819055, Longitud -78.829257
Población	En la salida de campo realizada en septiembre de 2015 se realiza el conteo de casas dando un total de 115 casas.	En trabajo de campo se recolectó información del número de casas, así: para Bocagrande son 17 casas y para El Rompido 16, para un total de 33 casas.
Economía	La única actividad económica es la pesca, en su mayoría artesanal. Los empleos formales están en la Institución educativa del corregimiento.	La actividad económica gira en torno al sector turístico y la pesca de concha y cangrejo.
Físico	Su temperatura está entre los 18°C y 36°C. La vegetación predominante es el mangle. La humedad relativa es del 85% con precipitaciones anuales de 3500	Su temperatura esta entre los 22°C y 33°C. La humedad relativa es de 83.86% con precipitaciones anuales de 3500 mm.

	mm. Los ríos más importantes son: Guandipa y Patía.	
Vías	Aéreas: No existe una pista. Terrestres: No está conectado a la red vial. Marítima: El trasporte se hace por medio de buques de calado pequeño y embarcaciones menores.	Aéreas: No existe una pista. Terrestres: No está conectado a la red vial. Marítima: El trasporte se hace por medio de embarcaciones menores.
Social	Pertenece al núcleo número 4 del Consejo Comunitario ODEMAP Mosquera Norte. Cuenta con la Institución Educativa Agropecuaria Cocal de los Payanes, con grados desde transición hasta décimo. Solo cuentan con la infraestructura del puesto de salud.	Pertenece al concejo comunitario Bajo Mira y Frontera. En las veredas de Bocagrande y El Rompido cuentan con escuela con grados desde transición hasta quinto. No cuentan con puesto de salud.
Servicios públicos	El PORVENIR hace presencia en esta localidad con los servicios de administración de la planta diésel y suministro de combustible para la generación de energía. Cuentan con 5 horas de servicio que van de 6 a 11 p. m.	ELECTROZORT hace presencia en esta localidad con los servicios de administración de la planta diésel y suministro de combustible para la generación de energía. Cuentan con 5 horas de servicio que van de 6 a 11 p. m.

Fuente: Esta investigación

2.2 VARIABLES DE TIPO TÉCNICO EN LOS CASOS DE ESTUDIO

2.2.1 Demanda energética. Para la evaluación de proyectos de energización rural es necesario realizar una caracterización de la demanda, dependiendo de las necesidades energéticas de la localidad. Esto con el fin de dimensionar la capacidad adecuada de la solución energética, sin sobredimensionamientos o carencias.

En este estudio se aplican diferentes métodos de análisis de demanda basándose en el consumo energético de poblaciones cercanas a los lugares objetivo que cuentan con un servicio de energía eléctrica de 24 horas e información recopilada por medio de encuestas socioeconómicas en la localidad de estudio. La caracterización de la demanda se realizará en dos localidades del departamento de Nariño; Cocal Payanes y Bocagrande, las cuales no hacen parte del —SIN- dada la dificultad de prestación del servicio de energía eléctrica por su ubicación geográfica.

Para obtener la demanda energética se tomó mediciones de consumo energético a poblaciones cercanas y con características similares a las zonas de estudio. El trabajo se llevó a cabo mediante visita de campo a la cabecera municipal del municipio de Mosquera y la vereda de Bajito Vaquería (Tumaco), en el mes de septiembre de 2015. La información se obtuvo por medio de dataloggers, analizadores de redes y el diligenciamiento de encuestas.

La instalación de los datalogger se realizó en el sector residencial dentro de la red de distribución del transformador en el que se ubicó el analizador de red. Las encuestas se aplicaron en las casas en las que se tomaron los datos de consumo energético. En el Anexo B se explica con detalle el trabajo de campo realizado para obtener estos datos. La caracterización detallada de la demanda se explica en el Anexo C.

❖ Método1

Para este método se utilizan las mediciones tomadas con el analizador de red en una población cercana y con características sociales, culturales y económicas similares a la localidad de estudio. Con estos datos se calculan los valores promedio y máximos de demanda depurando datos atípicos que afectan el normal comportamiento de la curva. Luego se analiza el tipo y la cantidad de usuarios que pertenecen al circuito del transformador donde se ubicó el analizador de red con el fin de determinar una curva tipo por usuario residencial y comercial que posteriormente se relacionará con el total de usuarios de la población de estudio.

❖ Método 2

Para este método se utilizan mediciones tomadas con *datalogger* instalados en viviendas de una población cercana y con características sociales, culturales y económicas similares a la localidad de estudio. Al igual que en el método 1, se calculan los valores promedio y máximos de demanda depurando datos atípicos que afectan el normal comportamiento de la curva, y posteriormente se aplican tasas de crecimiento y se relaciona con el total de viviendas residenciales y usuarios comerciales.

❖ Método 3

La curva de carga en este método se construye a partir de información recopilada en encuestas realizadas a las localidades de estudio. El comportamiento de consumo de energía eléctrica depende de los electrodomésticos y las horas de uso de éstos.

2.2.1.1 Resultado curvas de demanda aplicando los métodos 1, 2 y 3. En la llustración 8 se observa las curvas de demanda de Cocal Payanes. El comportamiento de la curva responde a patrones de consumo típicos del sector más influente que para el caso de Cocal Payanes es el sector residencial. Existe un consumo significativo durante la noche y la madrugada debido a la iluminación, alrededor de las 6 a.m. se presenta incremento de consumo antes de la jornada

laboral, posteriormente existe una elevación en el consumo durante el mediodía, debido al uso de: refrigerador, ventilador, TV, equipo de sonido, licuadora, entre otros electrodomésticos utilizados durante la preparación de alimentos para el almuerzo. El consumo de energía en la tarde se ve influenciado por uso de computadores, TV, DVD entre otros equipos usados para educación y ocio, por último el pico máximo se presenta entre las 7 y 9 p.m.

El comportamiento de la curva de demanda promedio del método 1 de Cocal Payanes Ilustración 8, presenta un pico máximo de consumo alrededor de las 7 p. m. que supera los 60 kWh, debido al consumo por iluminación pública que se mantiene durante la noche y la madrugada con consumos entre 30 y 40 kWh, con este método el consumo de energía es de 1,15 MW/día. La curva de demanda que se logra con este método es típica de localidades con más de 150 usuarios En el método 2 se incluyen los usuarios residenciales y comerciales de la localidad de Cocal Payanes Ilustración 8, línea verde. En este método se presenta el pico máximo a las 9 p. m. con un consumo entre los 50 y 60 kWh, se tiene un consumo de energía de 0,72 MW/día.

La línea azul de la llustración 8 presenta la curva de demanda del método 3. Para esta curva se incluyen tres sectores de consumo (residencial, comercial e institucional), el pico de consumo máximo esta entre 50 y 60 kWh y se presenta de 7 a 9 p. m., en horas de la madrugada el consumo decrece. Se inician actividades a las 6 a. m. y el consumo empieza a subir hasta establecerse en un promedio de 35 kWh y se mantiene hasta las 12 p. m, se tiene un consumo de 0,74 MW/día.

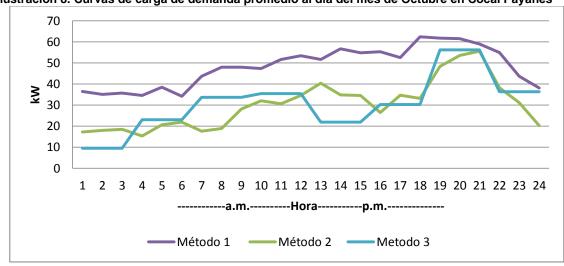


Ilustración 8. Curvas de carga de demanda promedio al día del mes de Octubre en Cocal Payanes

Fuente: Esta investigación

El método 1 aplicado al sector Bocagrande se observa en la Ilustración 9 línea roja, el consumo de este sector es bajo, el pico máximo de consumo se presenta a las 7 p. m. con un consumo de 12,7 kWh, en la madrugada se tiene un consumo de 4 a 6 kWh generado por el alumbrado público, alrededor de las 6 a. m. el consumo empieza a subir y se establece en un promedio de 7 kWh hasta las 11 a.m. con este método se obtiene un consumo de energía de 0,16 MW/día. En el método 2 llustración 9 línea azul se incluyen los usuarios residenciales y comerciales del sector Bocagrande. El pico máximo se presenta a las 9 p. m. con un consumo aproximado de 12 kWh, el consumo en la madrugada es bajo y aumenta a las 6 a.m. y se establece a las 7 con un consumo promedio de 10 kWh este consumo se mantiene hasta las 10 a.m. y decae hasta medio día. Con este método se tiene un consumo de energía de 0,2 MW/día.

Para el método 3 línea morada en la curva de demanda se incluyen tres sectores (residencial, comercial e institucional) presentes en el sector Bocagrande. Al igual que en los métodos anteriores, se observa el típico consumo máximo entre las 7 y 9 p. m. con un promedio de 11,3 kWh, en la madrugada decrece el consumo y aumenta con el inicio de actividades a las 6 a. m. hasta las 7 a. m. donde se establece en un promedio de 7,4 kWh hasta las 12 p. m. se tiene un consumo total de 0,18 MW/día.

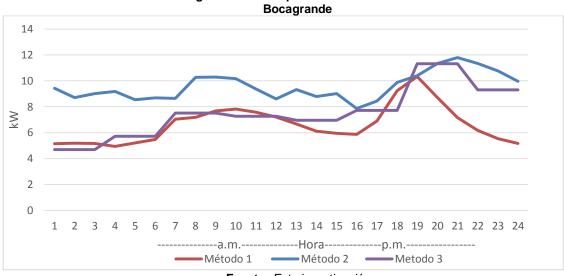
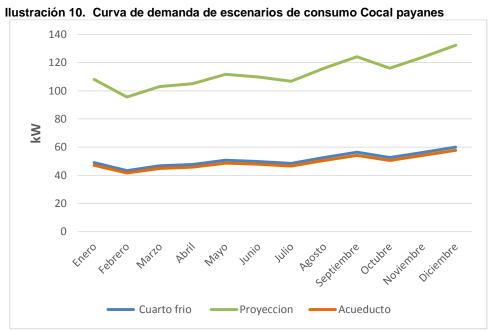


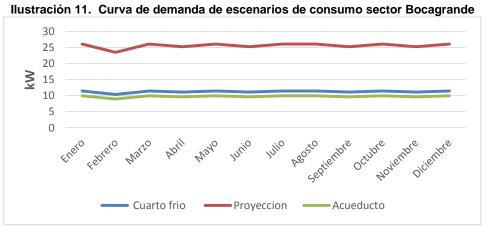
Ilustración 9. Curvas de carga de demanda promedio al día del mes de Octubre en el sector

Fuente: Esta investigación

2.2.1.2 Escenarios de consumo localidades objeto de estudio. Para los escenarios de consumo aumentado se calcula su demanda de acuerdo con los pronósticos de crecimiento y cargas adicionales y se la integra a la demanda base. Esta propuesta se realiza analizando la información recolectada en campo y dando prioridad a las necesidades básicas que requieren del servicio de energía 24/7. Los escenarios que se incluyen son: acueducto veredal, cuarto frío y aumento de la población llustración 10 llustración 11 .



Fuente: Esta investigación



Fuente: Esta investigación

Escenario 1 acueducto veredal

Para la vereda de Cocal Payanes el sistema de acueducto se asume que está compuesto por una electrobomba de succión de 1,5 kW, una de elevación de 3,7 kW y finalmente una planta de potabilización de 600 W, la demanda de

este escenario para Cocal Payanes está en la Ilustración 8 línea naranja. De igual manera, para el sector Bocagrande el sistema está compuesto por una electrobomba de succión de 0,372 kW y una de potabilización de 500 W, en la Ilustración 11 línea verde se encuentra la demanda del acueducto veredal para esta población. Los sistemas se calculan de acuerdo con la cantidad de usuarios y asumiendo que se requiere bombear agua desde un pozo hasta un tanque elevado luego de la potabilización con una planta de capacidad apropiada.

Escenario 2 cuarto frio

Para el escenario 2 se calcula la demanda de un cuarto frio de15 toneladas para la refrigeración de pescado. El cuarto frio está diseñado para almacenar 300 kg de pesca al día con una eficiencia del 70%. Con estas características, este cuarto tiene una potencia de 44.4 kW. El diseño es igual para las dos poblaciones de estudio Ilustración 10 Ilustración 11.

Escenario 3 Proyección de la población

El escenario 3 incluye en la demanda base el crecimiento de la población, tomando los datos del DANE, que presenta una tasa de crecimiento anual de 2,4% [23] para Tumaco y Mosquera tiene una tasa de crecimiento de 4,6% [24]. En las localidades objeto de estudio se hace la proyección a 15 años llustración 10 llustración 11.

2.2.2 Infraestructura y vías de acceso. En la costa pacífica nariñense, las vías de acceso son fluviales y marítimas, donde el medio de transporte son las lanchas, canoas y pequeños buques. Por este motivo se efectuó la cotización del costo de transporte para llevar los equipos necesarios hasta las localidades de estudio, teniendo en cuenta que los equipos provienen del extranjero a través de procesos de importación. Los principales equipos son: turbinas eólicas, baterías, inversores entre otros, que se asumen con embalaje en el puerto de Buenaventura. El costo por tonelada Buenaventura — Cocal Payanes es de \$200.000 COP y Buenaventura — Sector Bocagrande es de \$300.000 COP en un barco comercial de capacidad de 200 toneladas.

En el trabajo de campo se realizó la inspección de la red eléctrica y el levantamiento de la misma en cada localidad. Se encontró que en Cocal Payanes la red eléctrica es nueva, trenzada y ubicada en postes de fibra de vidrio. Para el sector Bocagrande se visitó las veredas y se encontró que en Bocagrande la red eléctrica está en buen estado y se procedió a realizar el levantamiento. La vereda El Rompido no cuenta con red eléctrica. En el Anexo B se puede observar el levantamiento de la red eléctrica.

2.2.3 Disponibilidad de equipos. Se realizó comparación de varios generadores eólicos en busca de obtener un sistema que se adapte a las condiciones climáticas de las regiones de estudio, analizando que su velocidad de arranque sea baja para un mejor aprovechamiento del recurso del viento. Los generadores AEOLOS de potencia nominal de 3, 5 y 10 kW presentan una velocidad de arranque de 3 m/s con una eficiencia de generación del 95%, los costos varían según su potencia; El costo de un generador de 3 kW es de \$ 5.880 USD, el generador eólico de 5 kW tiene un costo de \$ 10.335 USD y el costo de la turbina eólica de 10 kW es de \$ 16.425 USD. Los costos de la torre también varían según la altura, el costo de una torre de 18 m es de \$ 10.680 USD, la torre de 24 m tiene un valor de \$ 18.675 USD y una torre de 30 m tiene un costo de \$ 26.715 USD. Todos los costos que se presentan tienen incluido el 50% del costo de importación con puerto en Buenaventura. Para el sistema de almacenamiento [25], se realizó una comparación de diferentes tecnologías y marcas de baterías.

La tecnología de iones de litio presenta excelentes características técnicas, pero el costo de esta en el mercado es elevado, por esta razón se escogieron baterías de plomo – acido - calcio de la marca Hoppecke, la cual tiene un costo de entre el 11 al 24 % del total del costo una batería de iones de litio. Que presentan buenas características técnicas y el costo es asequible. Para Cocal Payanes se escogió una batería de 2 V con una capacidad de 4.017 Ah y una eficiencia del 86%. Para el Sector Bocagrande se tomó una batería de 2 V con una capacidad de 1.718 Ah y una eficiencia de 86%. El sistema de adecuación, constituido por el conversor e inversor, se escogió de forma que concordaran con las especificaciones de la turbina seleccionada. Las cotizaciones y fichas técnicas se encuentran en el Anexo E.

2.2.4 Estudios de suelos. Es indispensable examinar las condiciones en que se encuentra el terreno donde se implementará la solución energética. Para Cocal Payanes, por información de los habitantes y por visualización de la zona, se sabe que el terreno se está erosionando y tiene un nivel freático alto. Esta información se puede corroborar en [8], por lo que para tener mayor detalle de esta situación, se recomienda realizar un estudio de suelos.

Para el Sector Bocagrande por información de los pobladores y por observación se sabe que el terreno es firme y la marea alta no alcanza a entrar a la vereda. De igual manera se sugiere realizar estudio de suelos para tener un mejor detalle.

2.3 DISPONIBILIDAD DE RECURSO ENERGÉTICO

Las características del viento, velocidad y dirección, varían continuamente. Por lo tanto, determinar promedios y tendencias es un factor determinante en el estudio de emplazamientos de instalación de soluciones energéticas eólicas, ya sea para

la instalación de parques eólicos o de soluciones aisladas para poblaciones ZNI. Para determinar si un lugar es adecuado para la instalación de un generador eólico se toma como referencia la velocidad promedio del viento.

La velocidad promedio solo es un indicador de si un lugar tiene una alta incidencia de producción eólica, ya que si en un lugar determinado los vientos que se presentan son irregulares (altos y bajos), pueden tener el mismo promedio de velocidad que en otro lugar con velocidades promedio constantes durante todo el año [7]. , De esta manera, si no se realizan estudios previos que indiquen una proporción de generación estable durante todo el año, se tendrán condiciones que reducen el factor de planta de los aerogeneradores, y se obtendrá que en meses de fuerte viento se tiene una sobreproducción de energía y en meses de bajo viento la producción será baja y no será capaz de satisfacer la demanda.

Para la evaluación del potencial eólico se estudian determinados parámetros para definir las características del comportamiento del viento en las zonas de estudio. Con este fin, se evalúan diferentes fuentes secundarias provenientes de mapas locales y a nivel internacional, realizando comparaciones para analizar la correlación entre datos en las zonas de estudio y en comparación con otras regiones con buen potencial en el departamento. En el Anexo A se presenta el documento "Herramientas de análisis de datos de velocidad y dirección de viento" donde se detalla las variables a estudiar.

2.3.1 Análisis de velocidad de viento. El proyecto ALTERNAR ha desarrollado dos plataformas de investigación de recursos eólicos. La primera es GEOAlternar, una plataforma en línea que posee una grilla de 450 por 450 metros, en la que se encuentra información de biomasa, radiación solar, potencial hídrico y viento. La segunda el Explorador Eólico Alternar, aplicación desarrollada en Matlab® que analiza datos de viento. Los dos programas hacen uso de la base de datos de 3TIER, con series de tiempo de 480 puntos distribuidos en el departamento de Nariño a 50 y 120 metros de altura. El detalle realizado con las dos plataformas tomando dos municipios de cada subregión de Nariño se encuentra en el Anexo F.

Para observar la veracidad de las plataformas desarrolladas por el proyecto Alternar se realiza una comparación con la plataforma en línea Global Wind Atlas [26] de la agencia internacional IRENA, en la que se visualiza estudios de viento en el globo terrestre. Como punto de comparación se toma el municipio de Potosí, y las dos localidades de estudio del proyecto: Cocal Payanes en el municipio de Mosquera y Bocagrande en el municipio de Tumaco. La comparación completa se la encuentra en el Anexo G.

2.3.1.1 Explorador Eólico ALTERNAR (EEA). Mediante el software Matlab® se realiza la programación de una interfaz gráfica para el procesamiento y análisis del

recurso eólico del departamento de Nariño. Para acceder al análisis el usuario debe elegir en la interfaz uno de los puntos que muestra el mapa georreferenciado de Nariño. Los puntos contienen archivos precargados con las series de tiempo históricas propias para cada uno provistos por la base de datos 3TIER – VAISALA [9].

Una herramienta importante de la plataforma es el análisis estadístico de la información, donde se observa la distribución de frecuencias y la distribución Weibull de los datos, además de la velocidad promedio, velocidad máxima, velocidad mínima y densidad de potencia media. Finalmente, se presenta un cálculo de Mini-Aerogeneradores donde se obtiene el factor de potencia de dos máquinas predeterminadas.

2.3.1.2 Plataforma GEOAlternar. La plataforma GEOAlternar tienes varios componentes energéticos como lo es biomasa, irradiación solar y viento, además de una capa con datos de IDEAM.

En la plataforma existen mapas de potencial eólico, por meses, años y uno general a alturas de 20, 50 y 120 metros los cuales fueron construidos por medio de la base de datos de 3TIER en formato MERRA (Moder-Era Retrodpective Analysis for Research and Applications), los cuales tienen reporte cada hora.

Para la creación de los mapas se realizó una agregación por meses, años y uno general y se aplicó interpolación utilizando kriging con una malla de 450 x 450 metros, además de realizar la gráfica de la rosa de los vientos con la interpolación de la dirección y velocidad del viento de forma diaria.

La plataforma permite analizar las gráficas de velocidades promedio mensual, promedio hora, promedio anual de velocidad de viento de igual manera se tiene la rosa de los vientos y la distribución Weibull.

2.3.1.3 Plataforma Global Wind Atlas (GWA). La plataforma Global Wind Atlas proporciona un conjunto de datos globales que utiliza modelado a micro escala para la captura de variaciones pequeñas de velocidad del viento. De igual manera hace uso del sistema Frogfoot, sistema de programas y servidores interconectados que permiten el cálculo de geografías amplias con datos de alta resolución que incluyen cambios eólicos de gran escala y con efectos de flujo de microescala.

Global Wind Atlas (GWA) ofrece un análisis con herramientas como distribución Weibull, rosa de los vientos, velocidad promedio, densidad de potencia a tres diferentes alturas (50, 100 y 200 metros) con diferentes efectos de rugosidad.

GWA entrega información del recurso eólico en el mundo, datos que pueden servir para realizar comparaciones, pero no se puede basar en esta plataforma para realizar emplazamientos de parques eólicos [10].

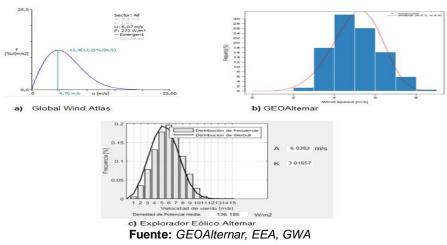
2.3.2 Análisis de las plataformas explorador eólico alternar, Geoalternar y global WIND Atlas. El análisis del recurso eólico se lo realiza a 50 metros con rugosidad cero para las tres plataformas.

2.3.2.1 Análisis potencial eólico en el corregimiento de Cocal Payanes municipio de Mosquera:



En la Ilustración 12 se observa la velocidad promedio a 50 metros de la vereda de Cocal Payanes para la plataforma Global Wind Atlas, que presenta una velocidad promedio de 6.07 m/s, mientras que GEOAlternar y el Explorador Eólico Alternar muestra una velocidad menor. Esta diferencia se atribuye a la forma de cómo se dividen los datos, ya que GWA realiza una cuadricula de 7.342 baldosas para cubrir el globo terrestre, mientras que GEOAlternar realiza una malla de 450 x 450 metros para el departamento de Nariño y el EEA contiene una serie de datos de 480 puntos distribuidos en el departamento de Nariño.

Ilustración 13. Distribución Weibull corregimiento Cocal Payanes



En la

Ilustración 13 se muestra la distribución Weibull con una velocidad predominante de 6.8 m/s y una densidad de potencia de 273 W/m² según la plataforma GWA. El análisis realizado por GEOAlternar presenta un factor escala de 5.5 m/s y el EEA exhibe una velocidad de 6.03 m/s y una densidad de potencia de 136.185 W/m². La distribución Weibull que se presenta en las plataformas tiene cierta diferencia marcada por el factor k y el porcentaje de frecuencia, GWA toma una k = 1.92. Esto quiere decir que se toma un factor de forma para lugares de grandes llanuras o colinas, mientras que GEOAlternar y EEA toman una k = 4.9 y 3.01 respectivamente, los cuales son acordes para islas y zonas costeras, relaciones más acordes con la ubicación de la vereda de Cocal Payanes.

a) GWA

b) GEOAlternar

Fuente: GEOAlternar, EEA, GWA

La Ilustración 14 muestra la dirección del viento en el sentido Barlovento (entrando). Se observa en las figuras a, b y c que tienen como dirección predominante los vientos que llegan del Oeste con un rango de velocidad de 4 a 8 m/s para las plataformas GEOAlternar y EEA. GWA no especifica la velocidad predominante, pero los porcentajes de ocurrencia son diferentes para las tres plataformas.

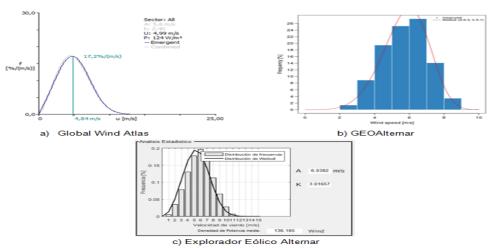
2.3.2.2 Análisis potencial eólico del sector Bocagrande del municipio de Tumaco:

Ilustración 15. Velocidad promedio sector Bocagrande



En la Ilustración 15 se observa la velocidad promedio a 50 metros en el sector Bocagrande, al cual pertenecen las veredas de El Rompido y Bocagrande. Global Wind Atlas presenta una velocidad de 4,99 m/s mientras que GEOAlternar y el EEA muestra una velocidad leve por encima de esta con una diferencia de 0.63 m/s y 0.4 m/s respectivamente.

Ilustración 16. Distribución Weibull sector Bocagrande



Fuente: GEOAlternar, EEA, GWA

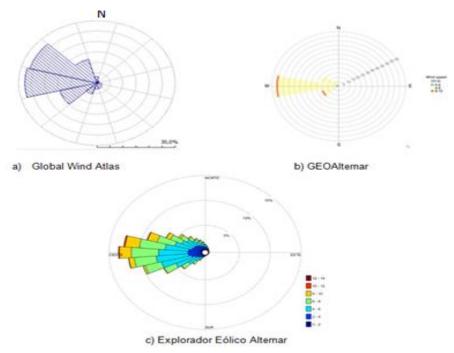
En la

Ilustración 16 el factor de escala es similar para GEOAlternar y EEA con una mínima diferencia de 0.2 m/s y con una frecuencia de 26% y 19% respectivamente. En contraposición, GWA presenta un factor de escala de 5.6 m/s con un porcentaje de ocurrencia de 17.2%, valor que está por debajo de los factores de las dos plataformas realizadas por ALTERNAR. Con respecto al factor de forma k se exhibe una diferencia entre GWA y las plataformas GEOAlternar y EEA. En la

Ilustración 17a. tiene un factor de forma k = 2.4 que hace referencia a grandes llanuras y colinas, mientras que para las

Ilustración 17 b. y c. se toma un valor de forma k = 5.1 y k = 3.01, acordes para islas y zonas costeras como el sector de Bocagrande.

Ilustración 17. Rosa de los vientos sector Bocagrande



Fuente: GEOAlternar, EEA, GWA

La

Ilustración 17 muestra la dirección del viento. Se observa en las figuras a, b y c que tienen como dirección predominante los vientos que llegan del Oeste con un rango de velocidad de 4 a 8 m/s para las plataformas GEOAlternar y EEA. GWA no especifica la velocidad predominante y los porcentajes de ocurrencia son diferentes para las tres plataformas.

2.3.3 Análisis de velocidad promedio con las plataformas GWA, GEOAlternar y EEA para el departamento de Nariño. Para analizar el potencial de zonas representativas del departamento de Nariño, se escogen dos municipios de cada subregión con el fin de realizar una comparación con las plataformas diseñadas por ALTERNAR y Global Wind Atlas. La Tabla 2 muestra la velocidad promedio para la cabecera municipal de cada zona a 50 metros.

Tabla 2. Velocidad promedio en dos municipios de cada subregión del departamento de Nariño

SUBREGIÓN	MUNICIPIO	-	nedio de viento (m	
		GEOALTERNAR	EXPLORADOR EÓLICO ALTERNAR	GLOBAL WIND ATLAS
Guambuyaco	Tambo	4,23	3,63	7,26
	Los Andes Sotomayor	2,93	2,99	7,26
Rio Mayo	El Tablón de Gómez	10,76	11,25	6,4
	San Bernardo	4,98	3,63	7,26
Juanambú	La Unión	4,7	4,08	7,26
	Buesaco	8,68	7,7	7,26
Centro	Pasto	8,37	8,34	7,56
	Chachaguí	7,56	5,98	7,26
La Cordillera	Policarpa	4,13	4,14	7,26
	El Rosario	3,14	3,75	9,06
Occidente	Consacá	7,14	8,3	7,56

	Linares	3,5	N.A	7,26
Los Abades	Samaniego	3,65	3,99	7,26
	Santa Cruz	6,86	6,59	8,49
La Sabana	Imués	5,9	6,16	7,56
	Sapuyes	7,27	N.A	7,56
Ex Provincia de Obando	Guachucal	6	N.A	8,49
	Puerres	6,32	9,27	7,56
	Potosí	6,04	7,73	7,56
Pie de Monte Costero	Mallama	4,6	3,71	8,49
Telembí	Barbacoas	4,4	4,37	8,5
	Roberto Payán	4,71	4,5	8,5
Sanquianga	Mosquera (Cocal Payanes)	5	5,39	6,07
	Olaya	5	4,59	4,5

	Herrera			
Pacífico Sur	Tumaco (Bocagrande)	5,62	5,08	4,99
	Francisco Pizarro	5,43	5,39	4,99

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de GEOAlternar, EEA, GWA

Para el análisis de la velocidad promedio en el departamento de Nariño con las plataformas GWA, GEOAlternar y EEA, se realizan cálculos estadísticos para analizar el diferencial entre ellas. En el Anexo G se encuentra el proceso completo.

A continuación se presentan los resultados estadísticos.

Tabla 3. Estadística de velocidad promedio

	\overline{x}	δ^2	S	$SE_{\overline{x}}$
GWA – GEOAlternar	6.4634	2.917	1.7079	0.2368
GWA – EEA	6.5253	3.3844	1.8396	0.2628

Fuente: Esta investigación

La comparación de las plataformas de ALTERNAR con GWA tiene como fin conocer la forma de análisis de datos, de qué tamaño es su base de dados y mirar el porcentaje de diferencia que existe entre ellas.

Para el análisis de GWA con GEOAlternar se encuentra una desviación estándar de 1.7 m/s como se observa en la Tabla 3 con una media de 6,46 m/s, es decir, que el 57.69% de los datos se encuentran en este margen de semejanza, se presenta un error estándar bajo, este es de 0.23 m/s. El GWA con EEA también tiene un error estándar bajo de 0.26 m/s, la media es de 6.52 m/s y una desviación estándar de 1.8 m/s para este caso el diferencial disminuye con respecto a GWA - GEOAlternar, la similitud de las datos es del 61.53%.

La semejanza de las plataformas de ALTERNAR con GWA no es muy buena por la base de datos que maneja GWA, con una grilla de 7.342 cuadros para todo el mundo, para cubrir el departamento de Nariño hace uso de cuatro partes de los 7.342 cuadros, mientras que la plataforma GEOAlternar tiene 180.000 puntos y el EEA 480 puntos distribuidos en todo el departamento.

2.4 VARIABLE TIPO SOCIAL

En la costa pacífica Nariñense los pobladores están conformados por consejos comunitarios y tienen total autonomía sobre el territorio y asuntos administrativos de las comunidades negras. Por este motivo en primera instancia se debe informar a los líderes de las comunidades del proyecto a llevarse a cabo, y una vez se tenga su autorización, se socializa el proyecto con la comunidad para concientizarlos que ellos son parte fundamental del proyecto. Los entes proponentes del proyecto deben dar a conocer a la población los diseños, la infraestructura y la logística, para que la comunidad proponga realizar su aporte en la implementación de los sistemas a la vez que velarán por el buen funcionamiento de la solución energética. De igual manera, se debe incentivar la apropiación de la tecnología, tal como lo sugirió el señor Byron Chiliquinga Consultor de Estudios y Proyectos de la Organización Latinoamericana de Desarrollo Energético – OLADE, en el Primer Seminario de Energización con Fuentes Alternativas.

2.5 VARIABLE TIPO AMBIENTAL

Las soluciones energéticas de Cocal Payanes y el Sector de Bocagrande son de mediana y pequeña escala y el área de emplazamiento de los equipos no abarca un área considerable. Por lo tanto la deforestación que se puede presente no será de mayor impacto, pero la decisión debe ser apoyada por la comunidad con la autoridad del Consejo Comunitario respectivo.

2.6 TRABAJO DE CAMPO SOCIAL Y ENERGÉTICO

2.6.1 Estudio socioeconómico. Para realizar el análisis socioeconómico en el sector residencial de estas zonas es conveniente recolectar la información primaria por medio de encuestas haciendo uso de métodos estadísticos, que contribuyen a observar el comportamiento de una población de manera eficaz. La muestra se diseñó de tal manera que la cantidad de encuestas aplicadas sea suficiente para emplear pruebas estadísticas que den valides a los resultados. De acuerdo a la homogeneidad de la población se determina el tamaño de la muestra mediante una variable como es la de consumo de energía eléctrica mensual tomando como base los datos suministrados por Sistema Único de Información de servicios públicos –SUI– y se trabaja con un diseño muestral similar al de PERS – Nariño.

El tamaño total de la muestra es de 59 encuestas, valor equivalente a un tamaño de muestras distribuidas entre la subregión de Sanquianga con el 95% de confianza y un error relativo de 5% aproximadamente. Para los concejos comunitarios de Tumaco, con un tamaño muestral de 16 encuestas (tomados

como el resto que representa la ZNI, excluyendo la cabecera) se obtiene un 90% de confianza y un error relativo de 10%. En el Anexo H se tiene el análisis completo del diseño muestral.

2.6.2 Aplicación de la encuesta Socioeconómica y Energética – SOOEN. La aplicación de la encuesta SOOEN se llevó a cabo mediante visitas de campo durante el mes de diciembre de 2014. La información primaria se obtuvo por medio del diligenciamiento de encuestas, mismas que fueron el producto de la modificación del formulario que utilizo PERS Nariño. En el Anexo H se encuentra la plantilla de la encuesta aplicada.

El formulario se digitalizó mediante una aplicación en plataforma Android para facilitar el diligenciamiento y la posterior tabulación de la información.

En Mosquera se visitó las veredas de Cocal Payanes, Garcero, Chapila, Campo Alegre, El Naranjo y el Cantil para tramitar encuestas y georreferenciar estos lugares. Por otra parte en Tumaco se trabajó en las veredas de Vaquería la Gran Colombia, El Rompido y Bocagrande, realizando el mismo trabajo que en Mosquera. En la Tabla 4 se encuentra el número de encuestas realizadas en cada vereda. En el Anexo E se muestran las rutas por las que se movilizó y los puntos en que se hizo las encuestas.

Tabla 4. Encuestas validas Cocal payanes y Sector Bocagrande

Municipio	Localidad	Número de muestras
Mosquera	Cocal Payanes	40
Mosquera	Garcero	7
Mosquera	Campo Alegre	5
Mosquera	Chapila	4
Mosquera	El Naranjo	5
Tumaco	Vaquería la Gran Colombia	8
Tumaco	El Rompido	5
Tumaco	Bocagrande	5
	TOTAL MUESTRAS	79

Fuente: Esta investigación

En total se realizaron 79 encuetas. En el Anexo I se presenta la información de las encuestas aplicadas y depuradas.

2.6.3 Análisis energético y socioeconómico de la subregión de Sanquianga y los concejos comunitarios de Tumaco. El análisis de la información se divide en

dos: la primera, la caracterización socioeconómica, y la segunda, la caracterización del consumo energético. Esto se realiza con el fin de visualizar las condiciones en que se encuentran las zonas de estudio y diagnosticar la situación energética de las mismas.

2.6.3.1 Caracterización Socioeconómica de las viviendas. Mediante el proceso de investigación se realizó la caracterización de las viviendas en términos de acceso a servicios públicos, ubicación, condiciones de la vivienda, entre otros factores. Se obtuvo un 23% de las viviendas ubicadas en veredas y un 77% de viviendas ubicadas en corregimientos; teniendo en cuenta que el análisis se realizó para el sector residencial rural de las ZNI.

Ilustración 18. Propiedad de la vivienda en el sector residencial en la subregión de Sanquianga y los concejos comunitarios de Tumaco



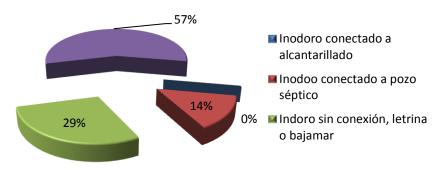
A través de la encuesta SOOEN aplicada a estas localidades se obtiene que el 90% de las viviendas 90% de las viviendas son propias como lo muestra la

Ilustración 18. Los materiales que predominan en su construcción son la madera burda y la madera pulida, y en pisos con un 90% el material que prevalece es el la madera burda (

Tabla 5). Es preocupante analizar cómo el 57% (

Ilustración 19) de las viviendas no cuentan con servicio sanitario, problema que va de la mano con la falta de alcantarillado de las ZNI rurales.

Ilustración 19. Tipo de sanitario en la subregión de Sanquianga y el los concejos comunitarios de Tumaco



Fuente: Esta investigación

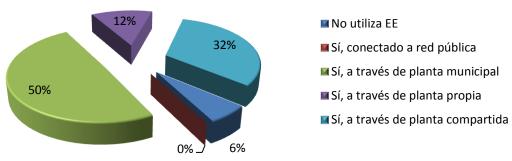
Tabla 5. Resultados encuesta SOOEN en ZNI de la Subregión de Sanquianga y los Concejos Comunitarios de Tumaco

Caracterizació	n de la poblacione	ZNI Sub. Sanquianga%	ZNI C.C. de Tumaco%	Total ZNI Sanquianga y Tumaco %	
	Material	Material prefabricado	1,6	0	1
Condición de las	predominante paredes	Madera burda	40,9	38,8	40,2
viviendas	,	Madera pulida, ladrillo	57,3	61,2	58,76
	Material predominante pisos	Madera burda	100	98,4	99
	Consumo de	Agua Iluvia	80,3	44,4	67
	agua	Poso sin bomba	11,5	55,6	27,8
Acceso a	Alcantarillado	No	100	100	100
servicios	Recolección de	Entierro	6,6	38,9	18,6
	basura	Queman	21,3	50	32
		Tiran rio, mar	62,3	11	43,3
	Comunicación	Telefonía celular	88,5	77,8	86

Fuente: Esta investigación

En la subregión de Sanquianga y los concejos comunitarios de Tumaco en las localidades rurales se presenta un servicio de energía a través un una planta municipal o veredal llustración 20 con una representación del 50%, y un 32% con planta compartida. Se debe aclarar que en estas zonas se presta 5 horas al día el servicio de energía eléctrica y las plantas no cuentan con un buen funcionamiento.

Ilustración 20. Servicio de energía eléctrica en la subregión de Sanquianga y el municipio de Tumaco



Fuente: Esta investigación

De acuerdo a las visitas realizadas por parte del PERS, ALTERNAR y a los resultados arrojados por la encuesta SOEEN se obtiene que la gran mayoría de las viviendas de estas zonas pueden ser usuarios potenciales para beneficiarse de las fuentes de energía alternativas y sostenibles con ayuda de la misma comunidad.

Tabla 6. Resultados encuetas SOOEN en ZNI de la Subregión de Sanquianga y los Concejos Comunitarios de Tumaco

	ión social de las es de estudio	ZNI Sub. Sanquianga%	ZNI C.C. de Tumaco%	Total ZNI Sanquianga y Tumaco %
Condición de	Adecuada	57,4	61,1	58,8
la vivienda	Inadecuada	42,6	38,9	41,2
Hacinamiento	Viviendas sin hacinamiento	67,2	77,8	71,1
Hacmannento	Viviendas con hacinamiento	32,8	22,2	28,9

Fuente: Esta investigación

Para las zonas de estudio se tiene un 41,2% de las viviendas son inadecuadas, un índice alto que refleja la situación social de estas poblaciones.

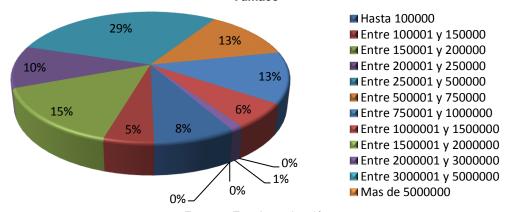
El componente para indicar si existe o no hacinamiento en una vivienda según el DANE, es si un hogar DANE, es si un hogar tiene tres personas o más habitando en un cuarto. En las zonas de estudio se zonas de estudio se encontró que el 71% de las viviendas no tienen hacinamiento y el 29% de las y el 29% de las viviendas tiene hacinamiento como lo indica la

Tabla 6.

El análisis de la información permite precisar que el 42% del total de la población se encuentra en se encuentra en condiciones de pobreza, ya que el 29% cuenta con un ingreso mensual entre \$250.000 mensual entre \$250.000 y \$500.000 y un 13% con ingresos mensual entre \$500.000 y \$750.000. Se \$500.000 y \$750.000. Se presentan hogares con ingresos promedio de \$100.000 pesos con una pesos con una representación del 8%, el 5% tiene ingresos entre \$100.000 y \$150.000, el 15% ingresos \$150.000, el 15% ingresos entre \$150.000 y \$200.000 y el 10% entre \$200.000 y \$250.000. En los \$250.000. En los últimos cuatro reportes se aprecia que el nivel de ingresos está por debajo de por debajo de \$343.708 pesos categorizados por el DANE como pobreza extrema. Solo el 20% del total Solo el 20% del total de la población tienen ingresos superiores a los \$750.000 como se observa en la como se observa en la

Ilustración 21.

Ilustración 21. Nivel de ingresos en la subregión de Sanquianga y los concejos comunitarios de Tumaco



Fuente: Esta investigación

2.6.3.2 Características del consumo Energético por Fuente y Uso. La caracterización energética se realiza con la información recolectada en las encuestas como adquisición de electrodomésticos en las viviendas, entre los que se encuentran neveras, ventiladores, electrodomésticos para la cocción de alimentos, entre otros. Además, se examinaron las fuentes de energía utilizadas en los diferentes procesos, como por ejemplo; cocción, refrigeración, adecuación

de ambiente e iluminación. Con la información recolectada se determinó los porcentajes de participación en cada proceso.

La Tabla 7 indica los aparatos eléctricos y electrónicos presentes en la subregión de Sanquianga y los concejos comunitarios de Tumaco.

Tabla 7. Resultados encuetas SOOEN en ZNI de la Subregión de Sanquianga y los Concejos Comunitarios de Tumaco

Comunicatios de Tuniaco									
Caracterización energética de las poblaciones de estudio		ZNI Sub. Sanquianga%	ZNI C.C. de Tumaco%	Total ZNI Sanquianga y Tumaco %					
lluminación	Lámparas	100	77,8	91,8					
	Velas	66,7	68,8	68					
Aparatos eléctricos	Televisor CRT	54	38,4	51,8					
	Licuadora	61	22,2	52,3					
	Equipo de sonido	18	33,3	32					
Refrigeración	Neveras	11	16	17					
	Congelador	13	0	8,2					
	Nevecon	2	0	1,3					
Ambiente	Ventilador	6,6	11,1	8					
Leña	Auto apropiada	13,1	50	21,5					
	Comprada	29,5	33,3	31,3					
Gas	Propano	55,7	5,5	44,3					
Carbón	Vegetal	0	11	2,5					
Energía Eléctrica	Estufa	0	2	2					

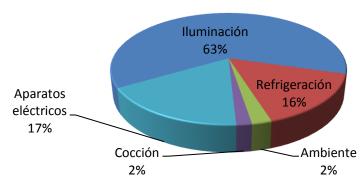
Fuente: Esta investigación

El consumo de energía eléctrica de la subregión de Sanquianga y los consejos comunitarios de Tumaco se distribuye de la siguiente manera (Ilustración 22): iluminación con un 63%, le sigue el uso de aparatos eléctricos con un 17%, la participación de refrigeración con un 16% y finalmente se tiene la cocción y adecuación de ambiente con un 2%.

Una de las actividades económicas que más se realiza en estas poblaciones es la pesca. Por tal motivo es necesario que estas poblaciones tengan un sistema de refrigeración para sus productos, pero, esto no es posible porque en estas zonas

no se cuenta con un servicio de energía continuo. , Por esta razón el consumo de energía de refrigeración es solo del 16% como se observa en la Tabla 7.

Ilustración 22. Participación consuma de energía eléctrica en la subregión de Sanquianga y el municipio de Tumaco



Fuente: Esta investigación

3. OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO PARA LA SELECCIÓN DE UNA SOLUCIÓN ENERGÉTICA ÓPTIMA PARA EL CORREGIMIENTO COCAL PAYANES Y EL SECTOR BOCAGRANDE

Para encontrar una solución eólica óptima de generación eléctrica, en el corregimiento de Cocal Payanes y en el sector de Bocagrande, se hace uso del software denominado HOMER, acrónimo de Hybrid Optimization Model for Electric Renewables. HOMER Es un software que integra soluciones energéticas con sistemas de generación tradicional y generación renovable, realiza un proceso de comparación de diferentes soluciones técnico-económicas y al final entrega una solución óptima y confiable. HOMER posee una variedad de elementos como son: generadores diésel (se puede escoger el combustible), paneles solares, turbinas eólicas, baterías, convertidor AC/DC, turbinas hidroeléctricas y gasificado de biomasa, entre otros. Este software es usado por la UPME [27], y se ha utilizado, por ejemplo, para brindar soluciones energéticas renovables a la Isla de San Andrés obteniendo un diseño óptimo técnico – económico. En [28] se desarrolla el diseño hibrido aislado con energías renovables para una comunidad isleña realizando simulaciones en HOMER.

Para encontrar la mejor solución se realizan simulaciones de un sistema hibrido diésel-eólico, con diferentes capacidades de potencia de turbinas y altura de la torre. Se analiza la integración de procesos productivos a la demanda, y así se obtienen diferentes escenarios de consumo.

Con el fin de comparar soluciones en emplazamientos aislados con mayores velocidades en el departamento de Nariño, se observa el comportamiento de los sistemas obtenidos en la costa pacífica con localidades en el municipio de Buesaco (con mayores velocidades promedio de acuerdo con los mapas energéticos consultados).

Las simulaciones que realiza Homer integran soluciones energéticas con sistemas de generación tradicional y generación renovable, realiza un proceso de comparación de diferentes soluciones técnico-económicas y al final entrega una solución óptima y confiable.

3.1 SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Los sistemas simulados son híbridos eólicos – diésel – baterías Ilustración 23, donde los costos de los equipos como: generador eólico y baterías a utilizar se obtiene de cotizaciones de proveedores internacionales. Por este motivo se suma a cada equipo un incremento de 50% del total de su valor para incluir el costo de importación, junto con los aranceles de entrada (sin suponer exenciones previstas para energías renovables de la ley 1715 de 2014). Los costos de mantenimiento y

operación para el generador eólico se calcula con 2% del total del costo, para las baterías del 0,9% y para el generador diésel de 0,003% tomando datos típicos obtenidos en el software HOMER. En el proceso de optimización, los gastos de transporte e instalación en la zona a implementar no se tienen en cuenta, puesto que estos valores son fijos y no afecta el resultado de optimización.

Una de las principales restricciones del diseño propuesto es que debe cubrir la demanda de las poblaciones de estudio. Para buscar la mejor solución, se realizaron diferentes simulaciones en las que se integran altura de la torre y capacidad de potencia de generadores eólicos (kW), con base en la estimación de recursos eólicos en cada una de las localidades objeto de estudio. Adicionalmente, se presentan simulaciones con velocidades de viento promedio de 8,56 m/s presentes a mayor altura de la torre del generador eólico, estas velocidades son aplicadas a la población de Bocagrande y Cocal Payanes. Finalmente, y para realizar comparaciones, se realizan simulaciones híbridas eólicas – diésel – fotovoltaicas para observar el comportamiento del sistema al integrar una nueva fuente renovable. El análisis detallado de las soluciones energéticas para las localidades de estudio se las encuentra en el Anexo J.

CA CD
Perkins Carga eléctrica #1 Aeolos

1126,12 kWhyd
93,71 kW psak
BDI 3P VRL 3500

Ilustración 23. Sistema hibrido eólico - diésel

Fuente: Esta investigación

3.2 SOLUCION ENERGÉTICA CORREGIMIENTO COCAL PAYANES

Los datos de carga, recurso renovable, conversor AC/DC y generador diésel son iguales para todas las simulaciones. Con respecto a la capacidad del generador eólico se tienen tres opciones de potencias diferentes de 3, 5 y 10 kW, con torres de alturas de 18, 24 y 30 metros. Las baterías a usar son de la marca hoppecke, referencia VRL3500, de 2 V con capacidad de 4.017 Ah y una eficiencia de 86%. La integración de estas variables da como resultado diferentes sistemas que son evaluados en el software para seleccionar la de mejor desempeño.

Tabla 8. Resultados de los sistemas simulados integrando altura de la torre y capacidad del generador eólico para la población de Cocal Payanes

	Ge	nerador Eoli	0		Ge	nerador Diés	el				Inverision		Exceso de	
Capacidad kW	Altura de la torre	Cantidad	Produccion kWh/año	Factor de capacidad %	Capacidad kW	Produccion kWh/año	Factor de capacidad %	Batería (Can)	Conversor (kW)	Costo kW COP \$	inicial USD	Fraccion renovable %	alactricidad	Sistema
	18	16	107.793	25,64	56	319.621	65,2	48	80	1185	468.083	22	1,2	1
3	24	16	128.699	30,61	56	301.180	61,4	48	80	1197	596.003	27	1,4	2
	30	16	134.496	31,99	56	292.869	59,7	48	80	1245	724.643	29	1,2	3
	18	12	138.937	26,43	56	304.990	62,1	48	80	1134	455.303	26	4,5	4
5	24	12	160.129	30,47	56	285.708	62,2	48	80	1128	551.243	30	4,8	5
	30	10	145.882	33,31	56	292.893	59,6	48	80	1161	573.623	29	3,1	6
	18	6	126.743	24,11	56	312.682	63,7	48	80	1107	365.753	24	3,6	7
10	24	6	146.206	27,82	56	297.033	60,6	48	80	1089	413.723	28	4,1	8
	30	6	159.933	30,43	56	286.380	58,5	48	80	1086	461.963	30	4,6	9

Fuente: Esta investigación

De los anteriores resultados

Tabla 8 se toma la mejor solución para ser analizada, para la selección del sistema se tiene encuentra el menor costo kW, menor inversión inicial y mayor factor de capacidad del generador eólico. El factor de capacidad que se toma como referente son los datos de la Tabla 9. El factor de capacidad se lo multiplica por 100 para para obtener el factor de capacidad porcentual, la Tabla 9 presenta rangos entre los factores de capacidad y les asigna una clasificación, de este modo se logra tener una mejor perspectiva de la producción que el aerogenerador va a entregar. Siguiendo los anteriores parámetros el sistema 8 es el que mejores resultados entrega.

Tabla 9. Clasificación del factor de capacidad en instalaciones eólicas

Factor de capacidad (FC)	Calificación
Menos de 0,2	Inaceptable
0,2-0,25	Aceptable
0,25-0,30	Bueno
0,3-0,4	Muy bueno
0,4-0,5	Excelente
Mayor de 0,5	Extraordinario

Fuente: Tomada de [11]

3.2.1 Sistema 8 Cocal Payanes. El sistema 8 tiene seis turbinas eólicas de 10 kW cada una a una altura de 24 m, un generador diésel de 56 kW, 48 baterías con una autonomía de 5,6 horas y un conversor de 80 kW. En la

Tabla 10. Resultado de optimización del sistema 8 Cocal Payanes

Tabla 10 se observa la configuración del sistema 8. El costo kW de este sistema es de \$ 1.089 COP, su inversión inicial es de \$ 423.723 USD con una fracción renovable de 28%.

Tabla 10. Resultado de optimización del sistema 8 Cocal Payanes

	Arquitectura					Costo				Sistema				
1	+	<u></u>	=	~	Aeolos 10kW 🏹	Perkins V	VRL 3500 ▼	BDI 3P V	Despacho 🏹	CDE (\$)	CAN T	Costo de operación √ (\$)	Inversión inicial 🗸 (\$)	Fracc. Ren. $\sqrt{(\%)}$
	+	Ē	=	Z	6	56,0	48	80,0	CC			\$ 130.517	\$ 413.723	28
		Ē	=	Z		84,0	24	80,0	CC	\$ 0,478	\$ 4,36M	\$ 188.889	\$ 169.290	0,0
\triangle	+	<u></u>		Z	6	112		80,0	CC	\$ 0,528	\$ 4,82M	\$ 201.367	\$ 346.056	16

Fuente: Esta investigación

En la siguiente tabla se aprecia la producción de energía eléctrica, la cual es distribuida de la siguiente manera: generador diesel 297.033 kWh/año equivalente al 67 % del total de la producción, el generador eólico tiene una producción de 146.206 kWh/año.

Tabla 11. Configuración eléctrica de optimización del sistema 8 Cocal Payanes

Producción	kWh/año	%
MP-30 [28KW/35KVA]	297.033	67,01
Aeolos 10 kW	146.206	32,99
Total	443.239	100,00

Fuente: Esta investigación

El factor de capacidad de cada tecnología se lo observa en la

Tabla 8, que para el generador eólico es de 27,82% y 7.132 hrs/año de operación. El generador diésel posee un 60,6% de factor de capacidad y 5.836 hrs/año de operación.

En cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero, un sistema de generación tradicional (totalmente diésel) emite 376.921,5376 kg/año de CO_2 [29] para una producción de 411.002 kWh/año, el sistema 8 tiene una emisión de CO_2 de 242.076 Kg/año

Tabla 12 por lo tanto se evitan el 36% de emisiones de CO₂.

Tabla 12. Emisiones emitidas por el sistema 8 renovable y sistema tradicional diésel

EMISIÓNES SISTEMA RENOVABLE EMISIÓNES SISTEMA TRADICIONAL DIÉSEL

Cantidad	Valor	Unidades
Dióxido de carbono	242.076,00	kg/yr
Monóxido de carbono	597,53	kg/yr
Hidrocarburos incombustos	66,19	kg/yr
Material particulado	45,05	kg/yr
Dióxido de azufre	486,13	kg/yr
Óxidos de nitrógeno	5.331,80	kg/yr

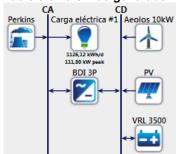
Total de emisiónes	
Total de emisiónes CO2:	376921.5376 KgCO2

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de HOMER y [29]

3.2.1.1 Sistema eólico –diésel más sistema fotovoltaico. Para este punto se toma el sistema 8 y se aumenta en el diseño un sistema fotovoltaico

Ilustración 24, donde su capacidad es una de las variables de decisión del proceso de optimización.

Ilustración 24. Sistema hibrido sistema 8 más generador fotovoltaico Cocal Payanes



Fuente: Esta investigación

Al incluir el sistema fotovoltaico en el diseño, se aumenta la inversión inicial en \$ 212.527 USD que corresponde a un aumento del 51% con respecto al sistema 8. Sin embargo, la producción renovable se incrementa en un 25% y el costo de la energía disminuye un 16%. En la

Tabla 13, en el primer renglón se observa los componentes del diseño aumentado, estos son: 81,8 kW en fotovoltaico, 6 generadores eólicos de 10 kW cada uno a 24 metros de altura, un generador diésel de 56 kW, 72 baterías con una autonomía de 8,4 horas y un conversor de 80 kW.

Tabla 13. Resultado de optimización del sistema 8 mas sistema fotovoltaico Cocal Payanes

					Arquitectura									Costo		Sistema
<u> </u>	win	╁		=	~	PV ▼	Aeolos 10kW $\sqrt{}$	Perkins V	VRL 3500 ▽	BDI 3P ▼	Despacho ∇	CDE √	CAN T	Costo de operación ∇ (\$)	Inversión inicial ∇ (\$)	Fracc. Ren. $$
	win	+		☎	~	81,8	6	56,0	72	80,0	CC	\$ 0,291	\$ 2,65M	\$ 91.265	\$ 626.250	52
	ui i			⇔	~	81,8		56,0	48	80,0	CC	\$ 0,347	\$ 3,16M	\$ 126.045	\$ 365.616	25
		+	£	齒	~		6	56,0	48	80,0	CC	\$ 0,348	\$ 3,18M	\$ 124.540	\$ 413.723	28

En la

Tabla 14 se aprecia la producción de energía eléctrica del sistema eólico –diésel – fotovoltaico, la cual tiene la siguiente distribución: generador fotovoltaico 116.371 kWh/año, generador diesel 196.593 kWh/año y el generador eólico tiene una producción de 146.206 kWh/año.

Tabla 14. Configuración eléctrica de optimización del sistema 8 más sistema fotovoltaico Cocal Payanes

Producción	kWh/año	%
Generic flat plate PV	116.371	25,34
MP-30 [28KW/35KVA]	196.593	42,81
Aeolos 10 kW	146.206	31,84
Total	459.171	100,00

Fuente: Esta investigación

El factor de capacidad de cada tecnología se lo observa en la Tabla 15, en donde para el generador eólico se tiene un factor de 27,82% con 7.132 hrs/año de operación, el generador diésel posee un 40,1% de factor de capacidad y 3.603 hrs/año de operación, y el sistema fotovoltaico tiene un factor de capacidad de 16,23% y 4.370 hrs/año de operación.

Tabla 15. Factor de capacidad generadores eólico, diesel y fotovoltaico Cocal Payanes
GENERADOR EÓLICO
GENERADOR DIÉSEL
GENERADOR DIÉSEL

							OLIVINANDON TO	OVILIAIO	•
Cantidad	Valor	Unidades	Cantidad	Valor	Unidades	•	Cantidad	Valor	Unidade
Capacidad evaluada total	60,00	kW	Horas de operación	3.603	hrs/yr		Capacidad evaluada	81,84	kW
Salida media	16,69	kW	Número de arranques	946	starts/yr		Salida media	13,28	kW
Factor de capacidad	27,82	%	Vida funcional	4,16	yr	=	Salida media	318,83	kWh/d
Producción total	146.206,00	kWh/yr	Factor de capacidad	40,1	%		Factor de capacidad	16,23	%
			Costo fijo de generación	4,62	\$/hr		Producción total	116.371,00	kWh/yr
			Costo marginal de generación	0,283	\$/kWh	*			

Fuente: Esta investigación

.

Un sistema de generación tradicional (totalmente diésel) emite 376.921,5376 kg/año de CO₂ [29] para una producción de 411.002 kWh/año, el sistema eólico – diesel –fotovoltaico tiene una emisión de CO₂ de 158.646 Kg/año (Tabla 16) por lo tanto se evitan el 36% de emisiones de CO₂.

Tabla 16. Emisiones emitidas por el sistema 8 más el generador fotovoltaico Cocal Payanes

EMISIÓNES SISTEN	A RENO	VABLE		S SISTEMA
Cantidad	Valor	Unidades	TRADICIO	NAL DIÉSEI
Dióxido de carbono	158.646,00	kg/yr	Total de	
Monóxido de carbono	391,60	kg/yr	emisiónes	
Hidrocarburos incombustos	43,38	kg/yr	Total de	376921 5376
Material particulado	29,52	kg/yr	emisiónes	KqCO2
Dióxido de azufre	318,59	kg/yr	CO2:	
Óxidos de nitrógeno	3.494,20	kg/yr		

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de HOMER y [29]

3.2.1.2 Escenarios de consumo Cocal Payanes. Para los escenarios de consumo se calcula su demanda y se la integra a la demanda base. Esta propuesta se realiza analizando la información recolectada en campo y dando prioridad a las necesidades básicas que requieren del servicio de energía 24/7, los escenarios que se incluyen son: acueducto veredal, cuarto frio y proyección de la población. En la simulación de los escenarios se toma el sistema 8 siendo este el óptimo.

La

Tabla 17 en la primera línea se presenta la solución energética a la demanda base más un acueducto veredal para la población de Cocal Payanes. Para esta demanda se tiene 8 generadores eólicos de 10 kW cada uno, un generador diésel de 56 kW, 72 baterías con una autonomía de 8 horas, el converso es de 80 kW, con una inversión inicial de \$ 533.956 USD. Si se compara la inversión inicial del sistema 8, se tiene un aumento del 29%, es decir, que si se desea implementar un acueducto el costo aumentaría en \$ 120.233 USD con respecto al sistema 8. A su vez, el costo kW disminuiría en el 2% y la fracción renovable aumentaría en un 5%.

Para el segundo escenario se tiene la inclusión de un cuarto frio. La mejor solución se encuentra en el segundo renglón de la

Tabla 17, la cual está compuesta por 9 generadores eólicos de 10 kW cada uno, un generador diésel de 56 kW, 72 con una autonomía de 7,7 horas, el conversor es de 80 kW. Se observa que se aumentan 3 generadores eólicos y 24 baterías más con respecto al sistema 8, con una inversión inicial de \$ 569.056 USD. Si se lo compara con el sistema básico, se tiene un aumento del 38% para implementar un cuarto frio, pero el costo kW disminuye en un 3%.

Tabla 17. Resultados escenarios de consumo Cocal Payanes

	G	enerador Eóli	со	Ge	enerador Dié	sel				Inverision		Exceso de
Escenario	Cantidad	Produccion kWh/año	Factor de capacidad %	Capacida kW	Produccion kWh/año	Factor de capacidad %	Batería (Can)	Conversor (kW)	Costo kW COP \$	inicial USD	Fraccion renovable %	electricidad
Escenario 1 acueducto	8	194.942	27,82	56	290.210	59,2	72	80	1068	533.956	33	7,4
Escenario 2 cuarto frio	9	219.309	27,82	56	292.249	59,6	72	80	1053	569.056	35	8,7
Escenario 3 proyeccion	22	536.089	27,82	140	641.831	52,3	96	200	1077	1.229.974	35	12,5
Escenario 4	10	243.677	27,82	84	297.416	40.4	120	100	1113	738.087	36	7,5

Para el escenario 3 la solución energética es con 22 generadores eólicos de 10 kW cada uno, un generador diesel de 140 kW, 96 baterías con una autonomía de 5 horas, el conversor es de 200 kW. Los costos iniciales de esta solución son de \$ 1.229.974 USD, es decir, al tener la proyección de la población en 15 años con un porcentaje de crecimiento del 4,6% la inversión inicial es del 197% con respecto al sistema base, y el costo kW disminuye en \$ 12 COP.

El escenario 4 integra un cuarto frio y el acueducto veredal, la solución se encuentra al final de la encuentra al final de la

Tabla 17. Este sistema está compuesto por 10 generadores eólicos de 10 kW, un generador diésel de 84 kW, 120 baterías con de autonomía de 12 horas, el conversor es de 100 kW.

Si se desea implementar un cuarto frio y un acueducto veredal la inversión inicial aumenta en \$ 324.364 USD, es decir, tiene un incremento del 78% con respecto al sistema 8, el costo kW es de \$1.113 COP aumenta en \$ 24 COP con respecto al sistema 8, la fracción renovable es de 36%.

3.2.1.3 Simulación con mejores condiciones de velocidades de viento aplicadas a Cocal Payanes. Se realiza una simulación con mejores velocidades de viento, para observar el comportamiento de la solución 8 óptima ante mejores condiciones

Ilustración 25.

Ilustración 25. Recurso viento con mejores condiciones

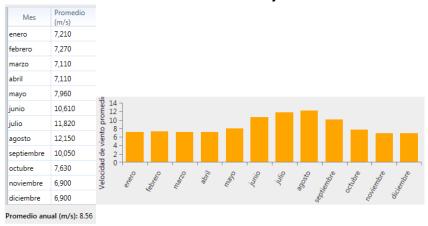


Tabla 18. Resultados de los sistemas simulados integrando altura de la torre y capacidad del generador eólico con mejores condiciones de velocidades de viento aplicadas a Cocal Payanes

	Ger	nerador Eoli	:0		Ge	nerador Dies	él				Inverision		Exceso de	
Capacidad kW	Altura de la torre	Cantidad	Produccion kWh/año	Factor de capacidad %	Capacida kW	Produccion kWh/año	Factor de capacidad %	Batería (Can)	Conversor (kW)	Costo kW COP \$	inicial USD \$	Fraccion renovable %	electricidad	Sistema
	18	16	194.669	46,3	56	244.112	49,8	48	80	972	468.083	41	2,1	10
3	24	16	209.130	49,74	56	230.595	47	48	80	1005	596.003	44	3	11
	30	16	210.869	50,15	56	226.710	46,2	48	80	1065	724.643	45	2,5	12
	18	10	217.456	49,65	56	231.228	47,1	48	80	927	413.273	43	3,6	13
5	24	10	228.652	52,2	56	219.268	44,7	48	80	939	493.223	47	4	14
	30	10	234.168	53,46	56	217.016	44,2	48	80	984	573.623	47	3,8	15
	18	6	237.982	45,28	56	227.882	31	48	80	954	381.953	45	5	16
10	24	5	208.287	47,55	56	234.834	47,9	48	80	915	378.623	43	2,4	17
	30	5	213.211	46,9	56	230.269	48,68	48	80	930	418.823	44	2,4	18

Fuente: Esta investigación

En la

Tabla 18 se observa el factor de capacidad de los sistemas. Para el sistema 13 se tiene un factor de capacidad de 49,65% y para el sistema 17 es de 47,55% el aumento de la velocidad hace que las turbinas eólicas tengan un mejor desempeño.

La solución energética del sistema 17 está compuesta por 5 generadores eólicos de 10 kW cada uno, un generador diésel de 56 kW, 48 baterías con una autonomía de 5,6 horas y conversor de 80 kW. La inversión inicial es de \$ 378.623 USD y el costo por kW es de \$ 915 COP. Si estos dos valores se los compara con el sistema 8 con las velocidades de Cocal Payanes se tiene una inversión inicial que disminuye un 8% y una reducción del kW del 16%, mientras que la fracción renovable aumenta en un 15%.

La producción eléctrica de este sistema está dividida de la siguiente manera el 53% lo produce el generador diésel y las turbinas eólicas producen el 47% que corresponde a 208.287 kWh/año. Este sistema produce un 42% más que el sistema 8 con velocidades originales.

Si se utiliza un sistema renovable con velocidades promedio de 8,56 m/s, se tienen emisiones de CO₂ de 189.424 Kg/año (

Tabla 19), reduciéndose en un 50% con respecto a un sistema tradicional diésel. Si se realiza la misma comparación pero con el sistema 8 con velocidades de Cocal Payanes se tiene que la reducción de CO₂ mejora en un 22%.

Tabla 19. Emisiones emitidas por el sistema 8 velocidades de Buesaco aplicada a Cocal Payanes

EMISIÓNES SISTEMA RENOVABLE

EMISIÓNES SISTEMA

Cantidad	Valor	Unidades
Dióxido de carbono	158.646,00	kg/yr
Monóxido de carbono	391,60	kg/yr
Hidrocarburos incombustos	43,38	kg/yr
Material particulado	29,52	kg/yr
Dióxido de azufre	318,59	kg/yr
Óxidos de nitrógeno	3.494,20	kg/yr

Total de emisiónes

Total de emisiónes (GCO2)

CO2:

TRADICIONAL DIÉSEL

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de HOMER y [29]

3.3 SOLUCIONES ENERGETICAS SECTOR BOCAGRANDE

Teniendo en cuenta la solución prevista para el sector de Bocagrande, los datos de carga, recurso renovable, conversor AC/DC, generador diésel y baterías son iguales para todas las simulaciones a excepción del generador eólico, que cambia en capacidad y altura. Las baterías a usar son de la marca hoppecke referencia VRL1500, de 2 V, con capacidad de 1.718 Ah y una eficiencia de 86%.

De los resultados de la

Tabla 20 se toma la mejor solución para ser analizada, para la selección del sistema se tiene encuentra el menor costo kW, menor inversión inicial y el factor de capacidad del generador eólico. El factor de capacidad que se toma como referente son los datos de la Tabla 9. Siguiendo los anteriores parámetros el sistema 1 es el que mejores resultados entrega.

Tabla 20. Resultados de los sistemas simulados integrando altura de la torre y capacidad del generador eólico para la población de Bocagrande

	Ge	nerador Eolico		Ge	enerador Dies	él			Costo	Inverision		Exceso de	
Capacidad kW	Altura de la torre	Cantidad	Factor de capacidad %	Capacidad kW	Produccion kWh/año	Factor de capacidad %	Batería (Can)	Conversor (kW)		inicial USD	Fraccion renovable %	electricidad	Sistema
	18	4	33,01	12	53.634	51	24	20	1239	118.638	35	1,2	1
3	24	4	38,32	12	48.309	46	24	20	1263	159.109	41	2,3	2
	30	4	42,28	12	45.091	42,9	24	20	1302	191.269	45	3,1	3
	18	3	34,12	12	47.315	45	48	20	3360	302.529	43	3,9	4
5	24	3	40,19	12	40.860	38,9	48	20	3060	326.514	50	5,3	5
	30	3	44,7	12	36.619	34,8	48	20	2859	350.634	56	7	6
	18	2	31,26	12	41.785	39,8	48	20	3030	293.694	49	8,1	7
10	24	3	36,91	12	25.631	24,4	48	20	2208	344.784	69	27,4	80
	30	3	41,1	12	21.771,000	20,7	48	20	1986	350.634	74	31,4	9

3.3.1 Sistema 1 sector Bocagrande. El sistema 1, tiene cuatro turbinas eólicas de 3 kW con una torre de 18 metros de altura. Esta solución es viable para esta localidad, porque las turbinas pueden ser ubicadas en costa y dentro de vereda no existen obstáculos muy altos.

Además del componente eólico, el sistema está complementado por un generador diésel de 12 kW, 24 diésel de 12 kW, 24 baterías con una autonomía de 5,4 horas y un conversor de 20 kW

20 kW

Tabla 21 La inversión inicial es de \$ 118.638 USD y el costo por kW es de \$ 1.239 COP con una fracción renovable de 35%.

Tabla 21. Resultado de optimización del sistema 1 Sector Bocagrande

					Arquitectura						Sistema		
Δ	+		~	Aeolos 3kW √	Perkins V	H1500 🏹	BDI 3P V	Despacho 🗸	CDE V	CAN T	Costo de operación √ (\$)	Inversión inicial V (\$)	Fracc. Ren. (%)
	+		~	4	12,0	24	20,0	СС	\$ 0,413	\$ 755.087	\$ 28.666	\$ 118.638	35
			~		12,0	24	10,0	cc	\$ 0,503	\$ 918,707	\$ 39.417	\$ 43.566	0,0
⚠	十		~	2	24,0		10,0	СС	\$ 0,687	\$ 1,26M	\$ 53.438	\$ 69.026	14
					24,0			CC	\$ 0,687	\$ 1,26M	\$ 55.336	\$ 27.074	0,0

Fuente: Esta investigación

La producción eléctrica está distribuida de la siguiente manera: el 60,72% lo produce el generador diésel y el 39,28% es producido por las turbinas eólicas, de un total de 39.28 kWh/año como se observa en la

Tabla 20.

El factor de capacidad del generador eólico corresponde al 33,01% (

Tabla 22), porcentaje clasificado como muy bueno en el desempeño de producción. El generador diésel tiene un factor de capacidad del 51%.

Tabla 22. Factor de capacidad generadores eólico y diesel Bocagrande

GENERADOR EÓLICO

GENERADOR DIÉSEL

Cantidad	Valor	Unidades
Capacidad evaluada total	12,00	kW
Salida media	3,96	kW
Factor de capacidad	33,01	%
Producción total	34.696,00	kWh/yr

Cantidad	Valor	Unidades	•
Horas de operación	4.518	hrs/yr	
Número de arranques	725	starts/yr	
Vida funcional	3,32	yr	=
Factor de capacidad	51,0	%	
Costo fijo de generación	1,84	\$/hr	
Costo marginal de generación	0,290	\$/kWh	*

Fuente: Esta investigación

En el tema de emisiones, si se implementa un sistema tradicional como el diesel para la cobertura total de la demanda se tiene una emisión de CO₂ de 88.811,97 [29] kg/año. Al remplazar este sistema con sistema híbrido diésel- eólico se reducen en un 48% Tabla 23.

Tabla 23. Emisiones emitidas por el sistema 1 y sistema tradicional diésel Sector Bocagrande

EMISIÓNES SISTEMA RENOVABLE

EMISIÓNES SISTEMA TRADICIONAL DIÉSEL

Cantidad	Valor	Unidades
Dióxido de carbono	44.283,00	kg/yr
Monóxido de carbono	109,31	kg/yr
Hidrocarburos incombustos	12,11	kg/yr
Material particulado	8,24	kg/yr
Dióxido de azufre	88,93	kg/yr
Óxidos de nitrógeno	975,35	kg/yr

Total de emisiónes	
Total de emisiónes CO2:	84811.9704 KgCO2

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de HOMER y [29]

3.3.1.1 Sistema eólico -diésel más generador fotovoltaico sector Bocagrande. Al optimizar este sistema híbrido adicionando un generador solar

Tabla 24, este sistema está compuesto por 45,9 kW en paneles fotovoltaicos, 4 generadores eólicos de 3 kW, un generador diesel de 12 kW, 48 baterías con una autonomía de 10,9 horas, y un conversor de 20 kW. Este sistema tiene un costo inicial de \$ 230.930 USD, puesto que la integración de paneles fotovoltaicos al sistema tiene un aumento del 95%, pero el costo kW disminuye en un 30%, es decir, el kW tendría un costo de \$ 867 COP, y la fracción renovable aumenta un 45%.

Tabla 24. Resultado de optimización del sistema 1 mas sistema fotovoltaico Sector Bocagrande

	Arquitectura								Sistema							
<u> </u>	W.	+		=	~_	PV (kW) ∇	Aeolos 3kW 🏹	Perkins V	H1500 ₹	BDI 3P V	Despacho 🏹	^{CDE} √	CAN T	Costo de operación √ (\$)	Inversión inicial ▼ (\$)	Fracc. Ren. $$
	W	╁	<u>a</u>		~	45,9	4	12,0	48	20,0	СС	\$ 0,289	\$ 527.326	\$ 13.350	\$ 230.930	80
	W		Ê	\rightleftharpoons	<u>~</u>	31,2		12,0	24	20,0	CC	\$ 0,392	\$ 716.351	\$ 27.115	\$ 114.346	35
		+		Ξ	Z		4	12,0	24	20,0	CC	\$ 0,413	\$ 755.177	\$ 28.670	\$ 118.638	35

En la

Tabla 25 se presenta la producción de energía eléctrica de los paneles fotovoltaicos es de 65.187 kWh/año que corresponde el 55,99% del total de la producción, mientras que el generador diésel produce el 14,21% y las turbinas eólicas el 29,79%. Con este sistema la producción de las turbinas es igual que en el sistema 1, pero los paneles fotovoltaicos cubren gran parte de la producción del diésel. Por esta razón la producción del generador diésel baja en un 69%.

Tabla 25. Configuración eléctrica de optimización del sistema 1 más sistema fotovoltaico Sector Bocagrande

Producción	kWh/año	%
Generic flat plate PV	65.187	55,98
MP-14 [12KW/15KVA]	16.567	14,23
Aeolos 3 kW	34.696	29,79
Total	116.450	100,00

Fuente: Esta investigación

El sistema renovable hibrido fotovoltaico – diésel – eólico reduce las emisiones de CO₂ en un 84% con respecto al sistema tradicional diésel como se observa en la Tabla 26. El sistema hibrido fotovoltaico – diésel – eólico presenta una mejor respuesta a la reducción de emisiones de CO₂ con respecto al sistema 1 eólico – diésel, con una reducción del 35%.

Tabla 26. Emisiones emitidas por el sistema 1 renovable Sector Bocagrande

EMISIÓNES SISTEMA RENOVABLE

Cantidad	Valor	Unidades
Dióxido de carbono	13.782,00	kg/yr
Monóxido de carbono	34,02	kg/yr
Hidrocarburos incombustos	3,77	kg/yr
Material particulado	2,56	kg/yr
Dióxido de azufre	27,68	kg/yr
Óxidos de nitrógeno	303,55	kg/yr

EMISIÓNES SISTEMA TRADICIONAL DIÉSEL

Total de emisiónes	
Total de emisiónes CO2:	84811.9704 KgCO2

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de HOMER y [29]

3.3.1.2 Escenarios de consumo Sector Bocagrande. Los escenarios de consumo incluidos en la demanda base son: acueducto veredal, cuarto frio y aumento de la población. Con el análisis de estos escenarios se busca brindar una solución energética completa que satisfaga las necesidades de la comunidad.

La solución energética para el escenario 1 se presenta en Tabla 27, contiene 7 generadores eólicos de 3 kW cada uno, un generador diésel de 12 kW, 48 baterías con una autonomía de 10,5 horas y un conversor de 20 kW, con una inversión inicial es de \$ 189.515 USD. Para implementar un servicio de acueducto al Sector Bocagrande se requiere de aumentar a la inversión inicial en un 60% con respecto a la inversión inicial del sistema 1, pero el costo kW disminuye en un 7%, con un valor de \$ 1.149 COP.

El escenario 2 Tabla 27 tiene como solución energética 6 generadores eólicos de 3 kW cada uno, un generador diésel de 12 kW, 24 baterías con una autonomía de 4, horas y un conversor de 20 kW. Su inversión inicial es de \$ 151.758 USD, que comparado con respecto al sistema 1 aumenta un 28%. El costo del kW es de \$ 1.155 COP disminuyendo en un 7% y la fracción renovable aumenta en un 8%.

Tabla 27. Resultados escenarios de consumo Sector Bocagrande

	Generador Eóli	Generador Diésel					Costo	Inverision		Exceso de	
Escenario	Cantidad	Factor de capacidad %	Capacidad kW	Produccion kWh/año	Factor de capacidad %	Batería (Can)	Conversor (kW)	Costo kW COP \$	inicial USD	Fraccion renovable %	alactricidad
Escenario 1 acueducto	7	33,01	12	39.341	37,6	48	20	1149	189.515	54	8,2
Escenario 2 cuarto frio	6	33,01	12	56.520	53,8	24	20	1155	151.758	43	4,8
Escenario 3 proyeccion	16	33,01	36	123.747	39,2	48	40	1200	383.293	45	8,8
Escenario 4	10	33,01	24	44.034	20,9	48	20	1203	252.732	57	14,9

Fuente: Esta investigación

Para el escenario 3 Tabla 27 se tiene como solución energética 16 generadores eólicos de 3 kW cada uno, un generador diésel de 36 kW, 48 baterías con una autonomía de 4 horas y conversor de 40 kW. La inversión inicial es de \$ 383.293 USD, casi triplicando el valor original con un 223% más costoso. El coste kW es de \$ 1.200 COP disminuye en \$ 39 COP.

Para implementar una solución energética que satisfaga la demanda residencial y residencial – comercial y además ingresar a esta demanda la instalación de un acueducto verdal y un cuarto frio se necesita una inversión inicial de \$ 252.732 USD, es decir, que se debe aumentar a la inversión inicial del sistema 1 en un 113%, y el costo kW sería de \$ 1203 COP 3 % menos que el sistema 1. El sistema estaría conformado por 10 turbinas eólicas de 3 kW cada una, un generador diésel de 24 kW, 48 baterías con una autonomía de 8,8 horas y un conversor de 20 kW

3.3.1.3 Simulación con mejores condiciones de velocidad de viento aplicada al sector Bocagrande. En esta sección se busca analizar el comportamiento del sistema seleccionado para el Sector Bocagrande con velocidades de viento mayores a las existentes en esta población y se las aplica a la demanda del Sector Bocagrande. En la

Tabla 28 se observan los resultados de los sistemas con velocidades de Buesaco.

Tabla 28. Resultados de los sistemas simulados integrando altura de la torre y capacidad del generador eólico con mejores condiciones de velocidades de viento aplicadas al Sector Bocagrande

	Ge	nerador Eolico		G	enerador Dies	iél			Costo	Inverision inicial USD \$	Fraccion renovable %	Exceso de electricidad %	Sistema
Capacidad kW	Altura de la torre	Cantidad	Factor de capacidad %	Capacida kW	Produccion kWh/año	Factor de capacidad %	Batería (Can)	Conversor (kW)	I				
	18	5	54,56	12	24.215	23	48	20	1956	305.226	71	7,4	1
3	24	5	58,88	12	19.958	19	48	20	1878	362.259	76	8,7	2
	30	4	61,46	12	26.375	25,1	48	20	2286	369.864	68	2,4	3
	18	3	57,95	12	23.770	22,6	48	20	1965	302.529	71	10,9	4
5	24	4	62,59	12	12.930	12,3	48	20	1452	355.524	84	27,3	5
	30	4	65,44	12	11.189	10,6	48	20	1440	387.684	86	29,2	6
	18	2	53,16	12	19.047	18,1	48	20	1659	293.694	77	20,6	7
10	24	2	57,35	12	15.291	14,5	48	20	1482	309.684	81	23	8
	30	2	59,91	12	12.688	12,1	48	20	1326	313.584	85	24,2	9

Fuente: Esta investigación

La solución energética con velocidades de viento que tiene como promedio 8,56 m/s da el sistema 5 como uno de los mejores. Este sistema está compuesto por 4 generadores eólicos de 5 kW cada uno, un generador diésel de 12 kW, 48 baterías con autonomía de 10,9 horas y un conversor de 20 kW, con una inversión inicial de \$ 355.524 USD. Aunque su inversión inicial aumenta un 9% con respecto al sistema 5 con las velocidades del Sector Bocagrande, su costo kW disminuye en un 52% con un costo de \$ 1.452 COP y su fracción renovable aumenta en un 34%.

La producción energética (

Tabla 29) de un 89,45% es producida por las turbinas eólicas que corresponde a 109,653 kWh/año y solo un 10,55% es producido por el generador diésel. Este resultado se obtiene porque el factor de capacidad aumento al tener mayor velocidades, generando un mejor aprovechamiento de las turbinas eólicas.

Tabla 29. Configuración eléctrica de optimización sistema 5 velocidades de Buesaco aplicada al Sector Bocagrande

Producción	kWh/año	%
MP-14 [12KW/15KVA]	12.930	10,55
Aeolos 5 kW	109.653	89,45
Total	122.582	100,00

Las emisiones de CO₂ de un sistema tradicional diésel son 84811 Kg/año (

Tabla 30) para una producción de energía eléctrica de 82.828 kWh/año, mientras que en este escenario, si se instala un sistema hibrido diésel – eólico las emisión se reducirían en un 87%.

Tabla 30. Emisiones emitidas por el sistema 5 velocidades de Buesaco y sistema tradicional diésel Sector Bocagrande

occioi bocagianac										
EMISIÓNES SSITEMA			ES SISTEMA NAL DIÉSEL							
Cantidad	Valor	Unidades		Total de						
Dióxido de carbono	10.731,00	kg/yr		emisiónes						
Monóxido de carbono	26,49	kg/yr								
Hidrocarburos incombustos	2,93	kg/yr	٧	Total de	84811.9704					
Material particulado	2,00	kg/yr	1	emisiónes	KgCO2					
Dióxido de azufre	21,55	kg/yr	1	CO2:						
Óxidos de nitrógeno	236,35	kg/yr	A							

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de HOMER y [29]

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta el diseño de una metodología para una ZNI, integrando aspectos físicos, socioeconómicos y técnicos, luego, se desarrolló la metodología planteada en dos casos de estudio; el primero en el corregimiento de Cocal Payanes, perteneciente al municipio de Mosquera y el segundo en el sector Bocagrande (integrado por las veredas El Rompido y Bocagrande) del municipio de Tumaco. Con los datos recolectados en la metodología se completa la información que requiere el software HOMER que hace uso de técnicas multiobjetivo, para diseñar una solución energética renovable eólica –diésel óptima.

El estudio de la velocidad de viento en el departamento de Nariño con la plataforma GEOAlternar creada por investigadores del proyecto ALTERNAR, tiene gran resolución en sus datos porque está plataforma tiene 180.000 puntos de consulta distribuidos en todo el departamento en una grilla de 450 por 450 metros. En comparación, plataformas como Global Wind Atlas hacen uso de una grilla de 7.342 cuadros para todo el mundo, es decir que el departamento de Nariño es cubierto con cuatro secciones. Es por esto que al analizar la comparación de los datos, se tiene un indicador de un 58%. Se obtuvo que en las zonas de estudio el potencial eólico explorado en las fuentes secundarias es medio. Por esta razón, las turbinas eólicas no tienen un factor de capacidad superior o de 40 a 50% de rendimiento, en cambio, se obtuvo un rendimiento de entre 25 a 30%, un factor de capacidad bueno la instalación de mini aerogeneradores.

La cartografía social desarrollada a través de encuestas, talleres y socialización con la comunidad brindó la información primaria para desarrollar escenarios de consumo como potabilización de agua y refrigeración. Estos escenarios corroboran las necesidades insatisfechas de estas comunidades. Con la metodología propuesta y el trabajo de campo se definió la demanda 24/7 para las poblaciones de estudio, de las cuales solo se tenían datos de 5 horas. De los tres métodos utilizados los probados con mejores resultados son el método 1 y 2 (basados en mediciones directas con analizadores y dataloggers) que se ajustan a la curva de demanda típica de una ZNI.

De acuerdo con los resultados de las simulaciones en Homer, la mejor solución que se encuentra es un hibrido eólico – diésel – fotovoltaico en el cual los generadores renovables producen el 57% del total de la producción, mientras el 43% restante es suplido por el generador diésel. Las solución hibrida eólico – diésel –fotovoltaico genera una reducción en el costo kW con respecto a una solución hibrida eólica –diésel, se tiene una disminución del 16% para Cocal Payanes y del 35% para el sector Bocagrande. Al analizar el comportamiento del sistema eólico – diésel con velocidades promedio de 8,65 m/s se obtiene un

aumento en el factor de capacidad en un 20%, es decir, pasa de 27,8% al 47,5%, que se lograría con alturas superiffores.

Cuando se realiza un aumento de costo en la generación con diésel, ya sea por operación y mantenimiento (M&O) y/o por costo del combustible, el sistema mantiene el diésel y toma energía del exceso y aumenta costo del kW.

Como trabajo futuro se plantea realizar el análisis de los datos de velocidades de viento de las estaciones meteorológicas insaturadas por ALTERNAR y cotejar estos resultados con las plataformas de GEOAlternar, Explorador Eólico Alternar y otro tipo de plataformas como IRENA o Global Wind Atlas. La metodología planteada en este trabajo está diseñada para ser aplicada a cualquier ZNI, aplicar esta metodología a una ZNI diferente a la costa pacífica y observar el comportamiento técnico (mediciones, curva de demanda, desempeño de generadores eólicos, entre otras) y social (trabajo con la comunidad, desarrollo de encuestas, actividades de socialización).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Rodríguez Martín, "Memoria del Trabajo Fin de Grado", Universidad de La Laguna, 2013 2014.Disponible: http://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/215/Las%20Energias%20Renova bles%20en%20Canarias.pdf?sequence=1
- [2] Instalaciones Micro-Eólica. Proyecto RES Y RUE Dissemination. Energías Limpias. Disponible en: http://cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/1%20eolic a.htm
- [3] Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad. Una guía para consumidores en Nuevo México. Departamento de Energía, EE.UU. Disponible en: http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/42070.pdf
- [4] Mírez Tarrillo J. L. "Distribución Optima de Torres en un Parque Eólico". Universidad national de Ingeniería. 2011. Disponible en: https://jmirez.wordpress.com/2011/07/18/j286-distribucion-optima-de-torres-en-un-parque-eolico/
- [5] J. Castro Mora. "Optimización Global de Parques Eólicos Mediante Algoritmos Evolutivos". Ph.D. dissertation, Dep. de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla. 22 de septiembre de 2008. Disponible en: http://catedraendesa.us.es/documentos/Tesis_Jose_Castro_Mora.pdf
- [6] Ramírez Ramírez, J. D., Arrieta Giraldo, J. S., & Garcés Ruiz, A. (2016). "Distribución óptima de turbinas en parques eólicos mediante PSO considerando el efecto sombra". Revista Tecnura, 20(47), 49-55. Disponible en: http://revistas.udistrital.edu.co/ois/index.php/Tecnura/article/view/10082/1140
 - http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/10082/1140 3
- [7] J. A. Avellaneda Cusaría. "Estudio del Potencial de Generación de Energía Eólica en la Zona del Páramo de Chontales, Municipio de Paipa y Sataquira". M.S. thesis, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre Bogotá D.C, 2012.Disponible en: http://www1.upme.gov.co/sgic/sites/default/files/AvellanedaCusariaJoseAlfon
 - http://www1.upme.gov.co/sgic/sites/default/files/AvellanedaCusariaJoseAlfonso2012.pdf
- [8] Informe Defensoría del Pueblo. Canal Naranjo Impactos y Situación Actual. Bogotá D.C., Septiembre 2009. Disponible en: file:///C:/Users/ACER/Downloads/Canal%20Naranjo%20impactos%20y%20sit uaci%C3%B3n%20actual%20(3).pdf
- [9] D. F. Fajardo Fajardo, S. M. Ramírez Caicedo, L.Rosero Narváez. "Análisis del Recurso Eólico en Regiones ZNI de Nariño". Tesis pregrado. Dep. de Electrónica. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia
- [10] IRENA, DUT, Multilateral Solar and Wind Working Group, CEM. Global wind Atlas. Disponible en: http://globalwindatlas.com/index.html
- [11] C. Moreno Figueredo. "¿Qué es el factor de capacidad?". Disponible en: http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia48/HTML/articulo03.htm

- [12] Educar Chile. "Protocolo de Kioto y clima global". Artículo, Educar Chile, 16 de Febrero 2005. Disponible en: www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=96810
- [13] El telégrafo. El segundo periodo del protocolo de Kioto entrara en vigencia desde enero del 2013, 13 de diciembre del 2013. Disponible en: http://www.telegrafo.com.ec/mundo/item/el-segundo-periodo-del-protocolode-kioto-entrara-en-vigencia-desde-enero-del-2013.html
- [14] Ministerio de Relaciones Exteriores y Movilidad Humana. Ecuador presenta propuesta de emisiones netas evitadas en la conferencia de Naciones Unidas sobre cambio climático en Varsovia –COP19, Noviembre de 2013.Disponible en: http://cancilleria.gob.ec/ecuador-presenta-propuesta-deemisiones-netas-evitadas-en-la-conferencia-de-naciones-unidas-sobrecambio-climatico-en-varsovia-cop19/
- [15] J. P. Ruiz Soto. "Soy ECOlombian", Articulo, El Espectador. Octubre, 2010. Disponible en: http://www.elespectador.com/opinion/soy-ecolombiano
- [16] Luis Miguel Palacios. Energía eólica ¿vale la pena para Colombia?, medio ambiente, Un Periódico impresión No. 132, 10 de abril del 2010. Disponible en: http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/energia-eolica-vale-la-pena-para-colombia-1.html
- [17] R. Romar. "Hace 100 Años Ya se Hablaba del Calentamiento Golbal". Cronica, La voz de Galicia.Galicia, España 2007. Disponible en: http://www.lavozdegalicia.es/hemeroteca/2007/02/01/5508928.shtml
- [18] Plan de Desarrollo Departamental 2012 1015 "Nariño Mejor". Disponible en: http://xn--nario-rta.gov.co/2012-2015/index.php/plandedesarrollo2012-2015
- [19] REN21. Renewables 2014 Global StatusReport. 2014. Disponible en: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_ Release_Spanish_website.pdf
- [20] C. Moreno Figueredo. "¿Qué es el factor de capacidad?". Disponible en: http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia41/HTML/Articulo03.htm
- [21] Departamento de Energías, EE.UU.Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad. Una guía para consumidores en Nuevo México.Septiembre 2007. Disponible en: http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/42070.pdf
- [22] IPSE. Boletín de prensa "Quiénes Somos". Bogotá 2013. Disponible en: http://www.ipse.gov.co/informacion-institucional
- [23] Documento complementario perfil productivo. Municipio San Andrés de Tumaco. Disponible en: http://www.redormet.org/wpcontent/uploads/2016/01/DOCUMENTO-COMPLEMENTARIO-SAN-ANDRES-DE-TUMACO.pdf
- [24] Planificadores Plan de Desarrollo 2012 2015. "Por Mosquera con Amor". Disponible en:
 - http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/mosquera%20nari%C3%B1o%20pd%202012%20-%202015.pdf

- [25] Torres, Yela, Chaves Acosta. Selección de Baterías. Documento, ALTERNAR. Universidad de Nariño. San Juan de de Pasto Nariño, Colombia 2016.
- [26] DTU Wind Energy. Global Wind Atlas. Disponible en: http://www.globalwindatlas.com/
- [27] UPME. Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia. Disponible en:
 - http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/IN TEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf
- [28] Rosa Echeverría. "Sistema d Generación y Suministro Eléctronico Basado Mayoritariamente en Energías Renovables Para una Comunidad Isleña" Trabajo de Grado. Universidad Pública de Navarra. España, 2015. Disponible en:
 - file:///C:/Users/ACER/Downloads/Rosas%20Echeverria,%20Jose%20Javier_ TFG.pdf
- [29] UPME. Calculadora de Emisiones. 2015. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/Calculadora_emisiones.asp
- [30] RIEN21. Energías Renovables 2016 Reporte de la Situación Mundial. Disponible en: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf
- [31] El Mundo Articulo . "2015, Récors de energías Renovables Madrid, España". Disponible en:
 - http://www.elmundo.es/ciencia/2016/06/05/5752f7cfca47416e768b45e8.html
- [32] Martins. Articulo BBC Mundo. "Cómo Uruguay Logro Ser el País con Mayor Porcentaje de Energía Eólica de América Latina". Marzo, 2016. Disponible en:
 - http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/03/160314_uruguay_energia_eolic a_am
- [33] UPME. Integracion de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia. Disponible en:
 - http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/IN TEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf
- [34] Diario oficial. Año CXXIX. N. 410113. 31, Agosto, 1993. Pag. 1. "Ley 70 de 1993". Disponible en:
 - http://direitosp.fgv.br/sites/direitosp.fgv.br/files/anexo16ppal.pdf
- [35] Decreto 42/2008, de 15 de mayo, por el que se aprueban definitivamente las Directrices Sectoriales de Ordenación del Territorio el aprovechamiento de la energía eólica. Disponible en:
 - http://noticias.juridicas.com/base_datos/CCAA/as-d42-2008.html