



**Estudio de factibilidad técnico
económica de un sistema de
generación de energía híbrida “eólica
y solar” interconectada a la red en la
finca Galilea del municipio de Suaza
-Huila**

Daniel Enrique Almario Ramos

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
Año 2021

Estudio de Factibilidad técnico económica de un sistema de generación de energía híbrida “eólica y solar” interconectada a la red en la finca Galilea del municipio de Suaza - Huila

Daniel Enrique Almario Ramos

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Karel Joel Arencibia Ávila. PhD.

Ingeniero Mecánico

Línea de Investigación:

Energía

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

2020

(Dedicatoria o lema)

*Cualquier persona que deja de aprender es
viejo, ya tenga veinte u ochenta años.
Cualquier persona que sigue aprendiendo se
mantiene joven.*

Henry Ford

Agradecimientos

Quiero agradecer primero que todo a Dios, ya que éste ha sido quien me acompaña en todo momento para avanzar y poner firme cada paso que he dado a lo largo de mi vida, a mis padres que me han dado su apoyo en las decisiones que he tomado y siempre me han guiado por el camino del bien que con su ejemplo me han enseñado el valor de la responsabilidad y honradez, a mis profesores de secundaria y de la universidad que han compartido una parte de su conocimiento para formar un profesional que seguirá esforzándose por aprender cada día y seguir transmitiendo conocimiento a quien lo requiera.

A todas y cada una de las personas que directa o indirectamente han aportado ese granito de arena que fue sumando a lo largo de mi vida para forjar mi carácter y personalidad, infinitas gracias porque yo solo muy seguramente no hubiese podido lograr lo que he alcanzado hasta el momento.

Resumen

La finca Galilea ubicada en el municipio de Suaza – Huila destina un presupuesto mensual 570 pesos el kW/h para garantizar sus necesidades de energía eléctrica, equivalentes a un consumo de 555 kW/h mes. La proyección de instalación de un sistema de bombeo incrementaría el mismo hasta los 3.239 kW/h mes.

En presente trabajo muestra los resultados del estudio factibilidad técnico económica partiendo de la propuesta de un sistema de generación de energía híbrida que aporte como mínimo 2.000 kW/h mes, con tecnologías eólica y solar. Este estudio se realiza por el método inductivo-deductivo donde se recopilan datos de radiación solar y viento de la base de datos del IDEAM. Los cálculos correspondientes se realizan utilizando el software de simulación ofrecido por fabricantes de turbinas eólicas ENAIR.

Se determina que aunque el sistema híbrido es factible con un retorno de inversión a largo plazo y una baja rentabilidad, cercana al 12% y un interés de retorno de 1,07. La tecnología adecuada a utilizar es la proveniente de paneles solares correspondiendo a un 42% del total necesario. En este caso, el restante debe ser aportado por el Sistema Nacional, pues el sistema basado en energía eólica no aporta resultado técnico económico adecuado.

Palabras clave: (Energía, Viento, Solar, Autogeneración).

Abstract

The Galilea farm located in the municipality of Suaza - Huila allocates a monthly budget of 570 pesos per kW / h to guarantee its electricity needs, equivalent to a consumption of 555 kW / h per month. The projection of installing a pumping system would increase it to 3,239 kW / h per month.

This paper shows the results of the technical economic feasibility study based on the proposal of a hybrid energy generation system that provides at least 2,000 kW / h per month, with wind and solar technologies. This study is carried out by the inductive-deductive method where data on solar radiation and wind are collected from the IDEAM database. The corresponding calculations are carried out using simulation software offered by manufacturers of the respective technologies.

The text also shows a brief description of the operation of this type of system and some already installed in different areas of the country.

It is determined that although the hybrid system is feasible with a long-term return on investment and low profitability, the appropriate technology to use is that from solar panels corresponding to 42% of the total necessary. In this case, the remainder must be provided by the National System, since the system based on wind energy does not provide adequate technical and economic results.

Keywords: (Energy, Wind, Solar, Self-generation).

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de símbolos	XV
Introducción	1
1. Capítulo 1 Estado del arte	5
1.1 Información técnica y reseña histórica de sistemas solar y eólico a nivel nacional e internacional.	5
1.1.1 Plantas solares	5
1.1.2 Utilización de la energía solar fotovoltaica en Colombia	8
1.1.3 Beneficios de la utilización	9
1.1.4 Componentes de un sistema fotovoltaico	10
1.2 Energía eólica	15
1.2.1 Ventajas	15
1.2.2 Desventajas	15
1.2.3 Tipos de aerogeneradores	16
1.2.4 Proyectos eólicos en Colombia	18
1.3 Sistemas híbridos	20
1.3.1 Sistema híbrido autónomo	21
1.3.2 Sistema híbrido conectado a la red eléctrica	23
2. Capítulo 2. Estudio técnico	25
2.1 Demanda energética de la finca Galilea	25
2.2 Condiciones ambientales finca Galilea	27
2.3 Condiciones iniciales para el diseño del sistema	30
2.4 Cálculo del sistema de generación solar fotovoltaico.	31
2.4.1 Selección del inversor DC/AC sistema solar	32
2.4.2 Selección del panel solar	33
2.5 Cálculo del sistema eólico	37
2.5.1 Recolección de datos de la velocidad del viento	37
2.5.2 Caracterización del potencial energético del viento - Ley de Weibull	41
2.5.3 Parámetros para los cálculos energéticos	42
2.5.4 Análisis del potencial eólico disponible	44
2.5.5 Rosa de los vientos finca Galilea	47
2.5.6 Selección del aerogenerador	48
2.5.7 Selección de inversor para aerogenerador DC/AC	51
2.6 Conexión de inversor a la red	52

2.7	Resumen de capítulo	55
3.	Capítulo 3 Análisis del proyecto	57
3.1	Análisis técnico	57
3.1.1	Esquemas de configuración de sistema híbrido	58
3.2	Cotización aerogenerador	60
3.3	Cotización del sistema solar	61
3.4	Análisis financiero del proyecto	63
3.4.1	Costos del sistema híbrido, su instalación y mantenimiento.	63
4.	Conclusiones y recomendaciones	71
4.1	Conclusiones	71
4.2	Recomendaciones	72
	Bibliografía	73
	Anexo A: Ficha técnica de panel solar	75
	Anexo B: Ficha técnica inversor de 15 kW fronius.....	77
	Anexo C: Ficha técnica aerogenerador ENAIR E70PRO	78

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1.1 Mapa de convecciones de radiación Global Horizontal Medio Diario Anual. ...	6
Figura 1.2 Módulo solar	11
Figura 1.3 Celda, módulo y panel solar	12
Figura 1.4 Conexión aislada de la red	13
Figura 1.5 Esquema de conexión interconectada a la red	14
Figura 1.6 Capacidad instalada Colombia [MW] 2019 y 2030.....	18
Figura 1.7 Parque eólico Jepírachi.	20
Figura 1.8 Esquema de instalación de un sistema híbrido con autonomía.....	22
Figura 1.9 Esquema de instalación de un sistema híbrido conectado a la red eléctrica.	23
Figura 2.1 Radiación solar en la finca galilea de Suaza- Huila.....	27
Figura 2.2 Radiación solar municipio de Suaza- Huila	28
Figura 2.3 Ubicación geográfica de la finca Galilea en el municipio de Suaza - Huila....	29
Figura 2.4 Características del inversor	33
Figura 2.5 Conexión de paneles solares.....	36
Figura 2.6 Mapa velocidad del viento Finca Galilea	38
Figura 2.7 Gráfica de velocidad promedio	40
Figura 2.8 Comparación de datos de diferentes fuentes.....	40
Figura 2.9 Distribución de frecuencias relativas y ley de Weibull	43
Figura 2.10 Rosa de los vientos	48
Figura 2.11 Ficha técnica de aerogenerador	49
Figura 2.12 Energía entregada por aerogenerador seleccionado	50
Figura 2.13 Datos técnicos de inversor aerogenerador.....	51
Figura 2.14 Conexión inversor a la red con inversor central	52
Figura 2.15 Sistema PV con inversor por cada PV <i>string</i>	53
Figura 2.16 Sistema PV con inversor por cada módulo	54
Figura 3.1 Esquema de sistema hibrido.....	58
Figura 3.2 Esquema de montaje de sistema	59
Figura 3.3 Diagrama unifilar sistema hibrido	60
Figura 3.4 Precio del aerogenerador	61
Figura 3.5 Cotización energía solar	62

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1 Potencial de Irradiación global media recibida en superficie para algunas de las Principales Ciudades del País.....	7
Tabla 1-2 Costos de inversión de proyectos de generación.....	19
Tabla 1-3 Tipos de fuentes energéticas renovables y no renovables.....	21
Tabla 1-4 Combinaciones de sistemas híbridos con fuentes de energía renovable.	21
Tabla 2-1 Consumo energético de la finca Galilea.....	26
Tabla 2-2 Datos obtenidos por la estación meteorológica.....	39
Tabla 2-3 Energía generada por cada sistema	55
Tabla 2-4 Energía entregada por el sistema hibrido	56
Tabla 3-1 Costo unitario	63
Tabla 3-2 Costos del sistema hibrido.....	64
Tabla 3-3 Consumo de energía en la finca y precio	64
Tabla 3-4 Producción de energía del sistema hibrido.	64
Tabla 3-5 Análisis financiero del sistema híbrido	65
Tabla 3-6 Análisis del costo unitario Eólico vs solar.....	66
Tabla 3-7 Análisis financiero del sistema solar	67
Tabla 3-8 Análisis financiero del sistema eólico.....	68

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m ²	$A = \pi r^2$
H	Radiación solar	kW/h m ²	
$P(v)$	Probabilidad del viento		$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$
V	Velocidad del viento	m/s	s/t
C	Factor de escala	m/s	$c = e^{-\left(\frac{B}{k}\right)}$
K	Factor de forma	1	
F'	Frecuencia Acumulada de las Velocidades		
\bar{v}	Velocidad media anual	m/s	
V^*	Velocidad eficaz		$V^* = \langle v^3 \rangle^{1/3}$
fi	Frecuencia relativa		$f_i = n_i/N$
P_{max}	Potencial máximo	W	$P_{max} = C_p * P_d$

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
α	Parámetro de dispersión	Uni	$\alpha = \sqrt{\sum_{i=1}^k f_i(v_i - \langle v \rangle)^2}$
β	Valor coeficiente B de la recta	Uni	ec. 14
Γ	Distribución gamma	1	$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-z} z^{x-1} dz$
\dot{m}	Caudal másico	Kg/s	$\dot{m} = \rho AV$
Δx	Exergía eólica	W	$\Delta x = \dot{m} \left(-\frac{v_1^2}{2} \right)$

Subíndices

Subíndice	Término
C_p	Coefficiente de potencia
max	Máximo
MW	Mega Watts

Abreviaturas

Abreviatura	Término
UPME	Unidad de planeación minero energética
HSP	Horas solar pico
N_p	Número de paneles
CREG	Comisión de regulación de energía y gas
PEEA	Producción de energía estimada anual
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ANLA	Autoridad nacional de licencia ambiental
GEI	Gases efecto invernadero
IDEAM	Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales
PPM	Partes por millón de partículas
VPN	Valor presente neto
TIR	Tasa de Interés de Retorno
IR	Índice de Rentabilidad
ECD	Consumo energético diario
H	Hora

Introducción

El gran aumento del consumo energético, ha obligado a los seres humanos actuales a buscar nuevas formas de obtener este recurso, debido a que los trabajos que anteriormente se hacían de forma manual se fueron tecnificando y reemplazando por máquinas que dependen de la energía eléctrica para su funcionamiento, el campo colombiano ha venido progresando lenta pero constantemente en tecnificación y en la obtención de máquinas y equipos eléctricos para las labores del día a día. Es por eso que actualmente somos más dependientes de este recurso que es el combustible que mueve a las máquinas modernas y empujan al agro a un desarrollo competitivo que logra satisfacer las necesidades del mundo civilizado que exige más y más todos los días.

En Colombia, el panorama energético es favorable, ya que cuenta con el recurso suficiente para satisfacer la demanda nacional que se estima es de 9.500 MW (XM, s. f.) Con una capacidad efectiva instalada de 16.420 MW según XM que es la compañía de expertos en mercados que opera y administra el mercado eléctrico colombiano (XM, 2020). En cuanto a distribución, el país cuenta con generación de energía hidráulica con un 66.6% y energía térmica de 28.42% menores, donde incluye microcentrales hidráulicas, parques eólicos y térmicos a pequeña escala, 4.48% y cogeneradores 0.5%. (UPME, 2020a). Esto quiere decir que en su mayoría, la energía nacional proviene de represas en donde su generación de energía se ve afectado por condiciones climáticas como el fenómeno del niño o la niña.

Es por ello que el gobierno, a través de la ley 1715 de 2014 promueve el desarrollo y la implementación de fuentes no convencionales de generación de energía para disminuir el impacto negativo que tiene la producción de energía a través de combustible fósil que en Colombia aún tiene un gran porcentaje de participación, además de diversificar la matriz energética nacional dándole más importancia a la cogeneración de la electricidad. Es por esto que la energía solar y eólica ha tenido una gran acogida en el mercado de los

autogeneradores y de personas que apuestan por nuevas alternativas a la generación de energía para su propio consumo.

La finca Galilea, ubicada en el municipio de Suaza-Huila, es una finca productora de aguacate para exportar, el administrador de la finca proyecta a corto plazo la instalación de un sistema de bombeo que incrementaría un gasto mucho mayor al actual de consumo eléctrico, es por ello que le apuesta a las fuentes no convencionales y renovables de generar energía para su autoconsumo, se evidencia que la problemática principal es el alto costo que paga por kWh que ronda los 590 pesos, es por ello que decide estudiar la energía eólica y solar que son recursos presentes en la finca, para instalar un sistema y así tener un ahorro en su factura eléctrica, se considera utilizar el sistema híbrido para combinar las 2 fuentes de energía allí presentes y hacerlo en paralelo con el servicio actual para brindar un respaldo en caso de no haber viento ni radiación solar, el proyecto se limita a la disponibilidad del potencial energético tanto solar como eólico, que dado el caso podría ser uno solo según las conclusiones de la investigación.

Objetivo general

Realizar un estudio de factibilidad técnico-económica de un sistema de generación de energía híbrida “eólica y solar” interconectada a la red en la finca Galilea del municipio de Suaza – Huila.

Objetivos Específicos

- Determinar la demanda energética total de la finca con el nuevo sistema de bombeo.
- Analizar el potencial energético de viento y radiación solar con los datos del IDEAM.
- Seleccionar componentes óptimos que conforman el sistema.
- Calcular el costo de la implementación del sistema y el retorno de la inversión.

Metodología

La metodología utilizada para la realización de este trabajo está dividida en 4 fases principales que son las siguientes.

1 fase, se hace una investigación documental en donde se recolecta información sobre antecedentes y casos de éxitos en la región para ser usados como guía en el desarrollo de este trabajo, 2 fase, Se recolecta información técnica, datos de consumo, cantidad de potencial energético solar y eólico, para tenerla de forma clara y organizada, 3 fase, Se hacen los cálculos correspondientes para determinar cantidad de energía que puede generar el sistema según información recopilada, 4 fase, Se procesa toda la información para la selección de los equipos adecuados a utilizar en el sistema y hacer un estimado del costo del proyecto para un retorno de la inversión en años.

1. Capítulo 1 Estado del arte

En este capítulo se exponen algunos temas relacionados con el contexto actual del potencial energético disponible en el país para la implementación de proyectos de pequeños autogeneradores, así como estudios y casos de éxito que actualmente están siendo aprovechadas por regiones aisladas y conectadas al sistema interconectado nacional mostrando los beneficios que puede traer a una región e impactando de forma muy baja al medio ambiente.

1.1 Información técnica y reseña histórica de sistemas solar y eólico a nivel nacional e internacional.

El sistema interconectado nacional en sí, es considerado un sistema de generación de energía híbrida, ya que sus fuentes trabajan en conjunto para aportar energía a la totalidad del país, además de la energía eólica y solar, la energía también proviene de generación en plantas térmicas y represas que son quienes aportan mayor participación en el mercado colombiano. A continuación, se aborda con mayor amplitud el tema.

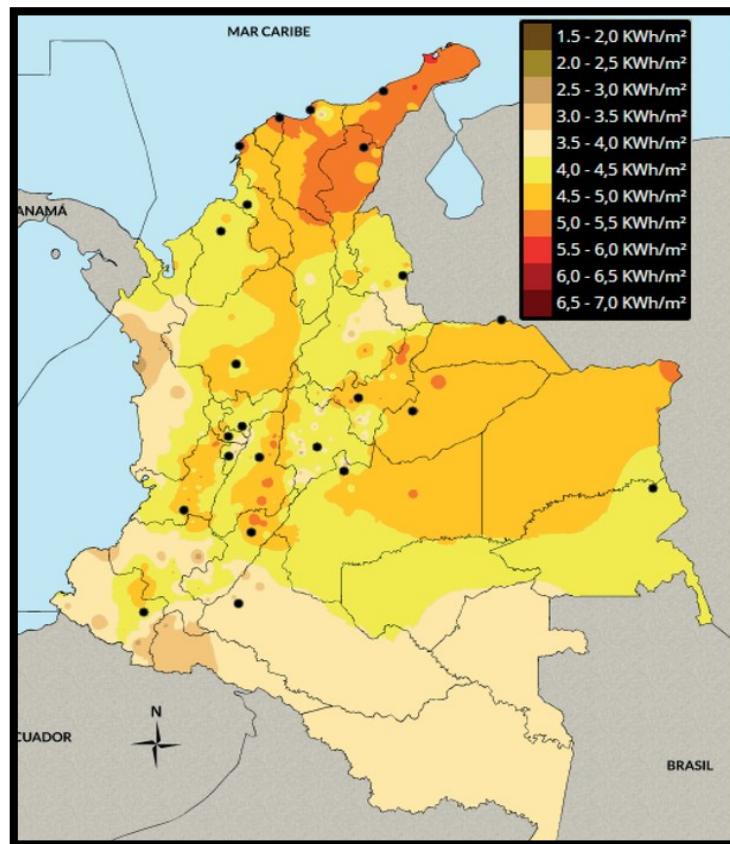
1.1.1 Plantas solares

A nivel técnico, el sistema interconectado a la red representa la mejor alternativa al ahorro energético, ya que no es necesario la utilización de baterías para su funcionamiento que equivaldría hasta un 60% del costo total de la inversión.

A nivel nacional, estadísticas de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) evidencian que de las iniciativas radicadas, el 88, 3% tienen que ver con energía solar, en donde 9 de cada 10 propuestas para generar energía, usarán paneles solares. Lo que representa un crecimiento del 32% de julio a noviembre de 2017. (CELSIA, 2018)

El mayor potencial en Colombia se encuentra en las regiones de la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central. Actualmente se encuentra el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, el cual busca mostrar e informar por medio de estaciones meteorológicas la disponibilidad de energía solar en el territorio nacional en cuanto a radiación solar global, insolación y brillo solar. Cuenta con 550 estaciones automáticas satelitales y convenciones localizadas en la extensión de país. El atlas es generado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, conjuntamente con la Unidad de planeación Minero Energética – UPME; estableciendo niveles de Radiación e Irradiancia promedio mensual y anual desde el año 1981, estos valores son expresados en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m^2) como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1.1 Mapa de convecciones de radiación Global Horizontal Medio Diario Anual.



Nombre de la fuente: IDEAM

En la tabla 1-2 se muestra el recurso solar de algunas ciudades principales de Colombia, se nombra la estación meteorológica que reporta, el departamento al que pertenece cada municipio, el promedio anual por día, los años de información de cada estación y las fechas específicas desde cuando se recolecta la información, con fin de proveer y suponer acerca de valores de radiación solar del pasado, presente y futuro. Se pueden observar ciudades con valores de radiación solar entre 3,6 kWh/m² día y 5,9 kWh/m² día. determinando regiones propicias y potenciales en cuanto a recurso solar.

Tabla 1-1 Potencial de Irradiación global media recibida en superficie para algunas de las Principales Ciudades del País

Estación	Municipio	Departamento	Promedio Anual (kWh/m ² por día)	Años de Información
Aeropuerto Eldorado	Bogotá	Cundinamarca	4,0377	23
Aeropuerto Olaya Herrera	Medellín	Antioquia	4,3351	10
Las Flores	Barranquilla	Atlántico	5,9512	6
Aeropuerto Rafael Núñez	Cartagena	Bolívar	5,5525	7
UPTC	Tunja	Boyacá	4,6574	6
E.M.A.S	Manizales	Caldas	3,7672	10
Univ. Tecnológica de Magdalena	Santa Marta	Magdalena	5,4054	7
Vanguardia	Villavicencio	Meta	4,7507	14
Botana	Pasto	Nariño	3,7428	10
Aeropuerto Camilo Daza	Cúcuta	Norte de Santander	4,4438	12
Armenia	Armenia	Quindío	3,9338	10
Aeropuerto Matecaña	Pereira	Risaralda	4,2109	7
Aeropuerto Sesquicentenario	San Andrés	San Andrés y Providencia	4,8183	3
Aeropuerto Perales	Ibagué	Tolima	4,6632	9
Macagual – Florencia	Florencia	Caquetá	3,6175	10
Aeropuerto Almirante Padilla	Riohacha	La Guajira	5,6058	17

Nombre de la fuente: IDEAM

En la tabla 1-2 se observan los datos suministrados por estaciones meteorológicas instaladas en diferentes puntos del país, los cual contribuyen al punto de partida de información para cualquier otro punto utilizando formulas de interpolación para datos de

viento y radiación solar, como es el caso del municipio de Suaza en donde puntualmente no se encuentra alguna estación meteorológica del IDEAM pero mediante fórmulas matemáticas se puede describir el comportamiento del clima, a continuación, se presenta el uso de la energía solar en Colombia, así como los antecedentes de esta misma.

1.1.2 Utilización de la energía solar fotovoltaica en Colombia

Actualmente, la energía fotovoltaica es la segunda fuente de energía renovable más utilizada o implementada, después de la Eólica. (CELSIA, 2018) Esto se debe a que brinda soluciones a un sin número de problemáticas en este sector. Las aplicaciones de esta fuente energética son muchas. A continuación, se listan algunas posibles aplicaciones, las cuales son beneficiosas para el territorio colombiano ya que buscan proporcionar energía eléctrica en áreas o espacios como:

- **Servicios:** Sector comercio, inmobiliario, salud, alimentación, educación

- **Residencial (viviendas y edificaciones):** En actividades relacionadas con viviendas privadas, iluminación, enfriamiento, calentamiento de agua, calefacción, entre otras.

- **Electrificación de viviendas aisladas:** Se puede ofrecer la alternativa de satisfacer el consumo de una vivienda sin conexión a la red o zonas con deficiencias de abastecimiento eléctrico.

- **Industrial y telecomunicaciones:** Abasteciendo cierta parte o el total de la demanda de las repetidoras, sistemas de comunicación, maquinaria o equipos de consumo industrial; reduciendo el consumo de energía proveniente de la red convencional.

- **Transporte:** Se puede implementar la energía eléctrica para generar movimiento mecánico, algunas aplicaciones pueden ser en los vehículos eléctricos, sistemas de transporte masivo.

Según un estudio hecho en la década del 90, se importaron cerca de 50.000 módulos solares con una potencia de 2,05 MWp. Donde se utilizaron 20.000 para telecomunicaciones rurales, logrando una potencia de 935,5 kWp. Otros 20.000 se utilizaron en electrificación rural, logrando una potencia alrededor de 953,5 kWp. También se realizó un estudio de funcionamiento de los mismos, sobre una muestra de 248 sistemas, donde el 56% funcionaban sin problemas, el 37% funcionaban con algunos problemas y el restante 7% estaban fuera de servicio. (Gómez Ramírez, 2018)

La década de los ochenta se caracterizó por ser el boom del mercado de sistemas fotovoltaicos, pero solo hasta los 90 en donde se frenó el desarrollo del mercado por las dificultades del orden público presentadas en esa década. Estimaciones realizadas por Corpoema y IPSE en el año 2010, indicaban que para ese periodo Colombia contaba con una potencia instalada de 9 MWp; Según el IPSE, en ese mismo año se tendrían 15.000 sistemas solares fotovoltaicos instalados, los cuales suministrarían energía para iluminación, radio y tv. El Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL), desarrollo alrededor de 370 proyectos de instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales, los cuales se encuentran instalados en los departamentos: Vichada, Guaviare, Guainía, Vaupés y Amazonas. (Gómez Ramírez, 2018)

1.1.3 Beneficios utilizar energía eólica

Los beneficios de esta fuente energética son muchos. Sin embargo, se busca generar un mayor consumo de energía solar, ya que se cree traería consigo una reducción del uso de las otras fuentes de energía, una menor demanda de la red y, por consiguiente, una reducción de los precios nacionales en las fuentes tradicionales. Esto desde luego, es un beneficio para todos los consumidores. Es importante destacar que la inversión o costo inicial de una instalación fotovoltaica es alto, pero, el aprovechamiento posterior es enorme (larga vida útil del sistema) y económico (bajos costos de mantenimiento y no necesita de combustible). Se dice que, si se aumenta la oferta de energía fotovoltaica, el costo sería menor, lo que se conoce como *merit-order effect*.

La principal ventaja consiste en que la fuente de energía es gratuita, esto puede ser muy significativo a la hora de invertir en un sistema solar FV. Se argumenta que este tipo de energía contribuye de forma positiva al bienestar social en la medida que reduce las

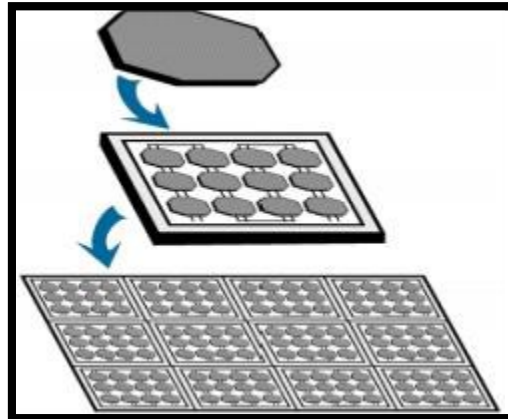
externalidades negativas sobre el medio ambiente. Frente a otras fuentes de energía, la fotovoltaica genera menores emisiones de dióxido de carbono, efecto invernadero, lluvia ácida y óxidos de azufre.

A nivel global, el promedio de la energía solar limpia reduce las emisiones por kilovatio hora (KWh) en 0,6 kg/ KWh; teniendo en cuenta las emisiones de CO₂ alcanzadas en 2010. Si se supone un costo entre 10 y 20 dólares de la tonelada de CO₂, el valor de las externalidades evitadas se calcula entre 0,006 y 0,012 dólares por kilovatio. A saber los factores de emisiones asociados con los sistemas solar FV para el año 2013 se encontraban en el orden de 50 kg CO₂ eq/MWh, frente a valores por encima de 450 kg CO₂ eq/MWh para plantas operadas con combustibles fósiles.

Una ventaja considerable de la energía solar en la finca Galilea es la forma gradual como puede ser aprovechada según la necesidad, por ejemplo, si se compara con la energía hidráulica, se necesita una obra civil, un dimensionamiento y una puesta en marcha de un gran proyecto para una potencia específica que puede ser aprovechada, pero en el caso de la energía solar se puede aprovechar gradualmente sin necesidad de grandes modificaciones, instalando equipos en paralelo para ir sumando potencia e ir alcanzando mayor generación de electricidad. En el siguiente epígrafe se mencionan algunos de los componentes más relevantes en un sistema solar fotovoltaico.

1.1.4 Componentes de un sistema fotovoltaico

Las celdas solares son dispositivos que absorben energía de los fotones presentes en la luz incidente sobre ellas y la convierte en energía eléctrica. El funcionamiento de una celda solar consiste en que la radiación solar que actúa sobre la superficie de la celda, ocasiona desplazamiento de electrones y generan un flujo de corriente eléctrica. El total de electricidad producida por el dispositivo depende de la cantidad de luz que incida sobre la celda y de su eficiencia. Las celdas solares se instalan junto con otras para construir módulos como se aprecia en la Figura 1.2 los cuales a su vez juntos forman paneles, con el fin de producir cantidades significativas de energía eléctrica. (Perpiñán Lamigueiro, 2011)

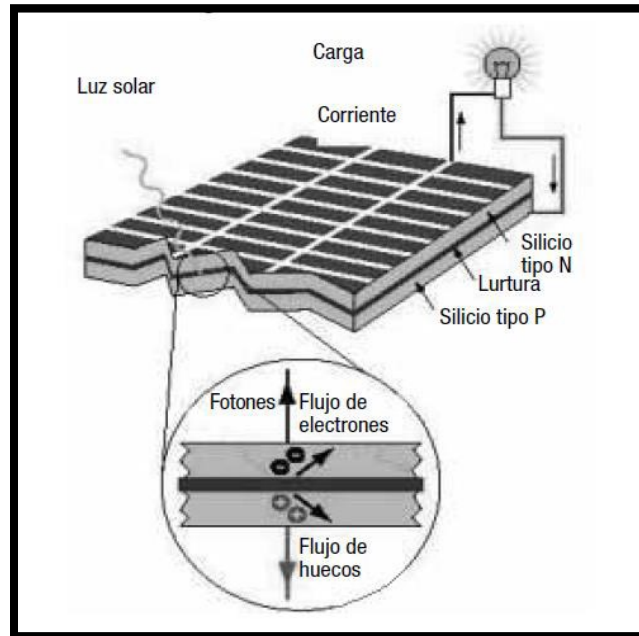
Figura 1.2 Módulo solar

Nombre de la fuente: (Perpiñán Lamigueiro, 2011)

Las partes más importantes de la célula solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas de diferente dopados (tipo P y tipo N) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en la otra. Cuando la luz solar atraviesa la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Debido a estas propiedades las células se fabrican de este tipo de materiales ya que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía,(Gómez Ramírez, 2018) Ver Figura 1.3

- 1 Estudio de factibilidad técnico económica de un sistema de generación de
 - 2 energía híbrida “eólica y solar” interconectada a la red en la finca Galilea del
municipio de Suaza - Huila
-

Figura 1.3 Celda, módulo y panel solar



Nombre de la fuente: (Perpiñán Lamigueiro, 2011)

Existen diferentes tipos de celdas solares en el mercado, los de Silicio Monocristalino, este tipo de panel está constituido principalmente de cristales puros de silicio con una eficiencia entre el 15% hasta el 17%, son considerados los más eficientes. Están los de Silicio Policristalino, estos son construidos de silicio, pero con una estructura más aleatoria, por ende, son menos eficientes (12%-14%), pero más económicos a la hora de su fabricación. Por último, están los de materiales amorfos, son construidos de silicio sin una estructura cristalina. Son muy económicos, pero poco eficientes (10%).(Soler & Tello, 2018)

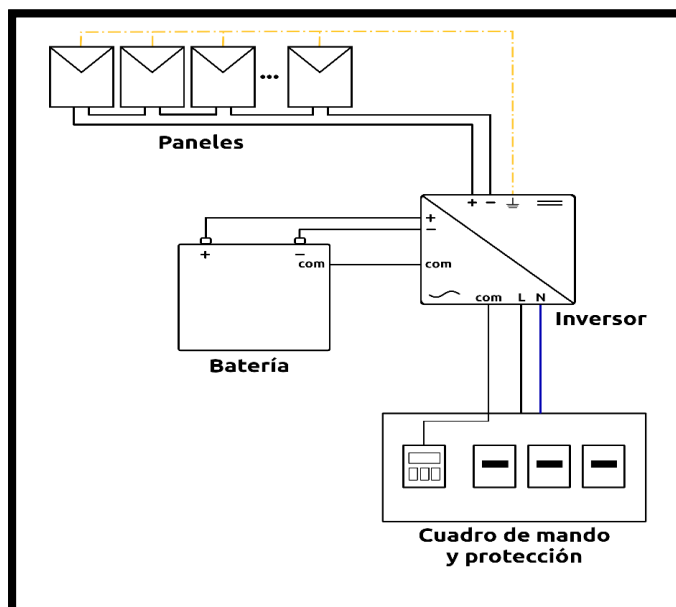
Los Inversores, son dispositivos los cuales convierten la corriente continua de baja tensión en corriente alterna de alta tensión (110V, 220V). En el convertidor CD/CA, la fuente es de naturaleza continua proveniente de baterías y la salida es una fuente alterna de voltaje fijo o variable. Cada tipo de inversores puede utilizar dispositivos con activación y desactivación controlada (BJT, MOSFET, IGBT y GTO) o tiristores de conmutación

forzada, según la aplicación. Estos inversores utilizan por lo general señales de control PWM, para producir un voltaje de salida en AC. (Perpiñán Lamigueiro, 2011)

Los reguladores de carga tienen como objetivo principal proteger a las baterías frente a cargas y descargas demasiado profundas. Controla constantemente el estado de carga de las baterías y la profundidad de descarga, aumentando de esta forma su vida útil. (Meinel & Meinel, 2014)

Las instalaciones fotovoltaicas se dividen de acuerdo con su objetivo. Para instalaciones separadas de la red eléctrica, se implementa la instalación aislada a la red (Figura 1.4) que son las que cumplen la función de satisfacer total o parcialmente los requerimientos de energía eléctrica de viviendas o localidades y las instalaciones conectadas a la red eléctrica (Figura 1.5), son aquellas que se encuentran conectadas en paralelo con la red y sirven para reducir el consumo de energía eléctrica convencional y si es posible, entregar a la red eléctrica parte de la energía generada y que no es ocupada en el lugar de la instalación (excedente). (Bojacá, 2016)

Figura 1.4 Conexión aislada de la red

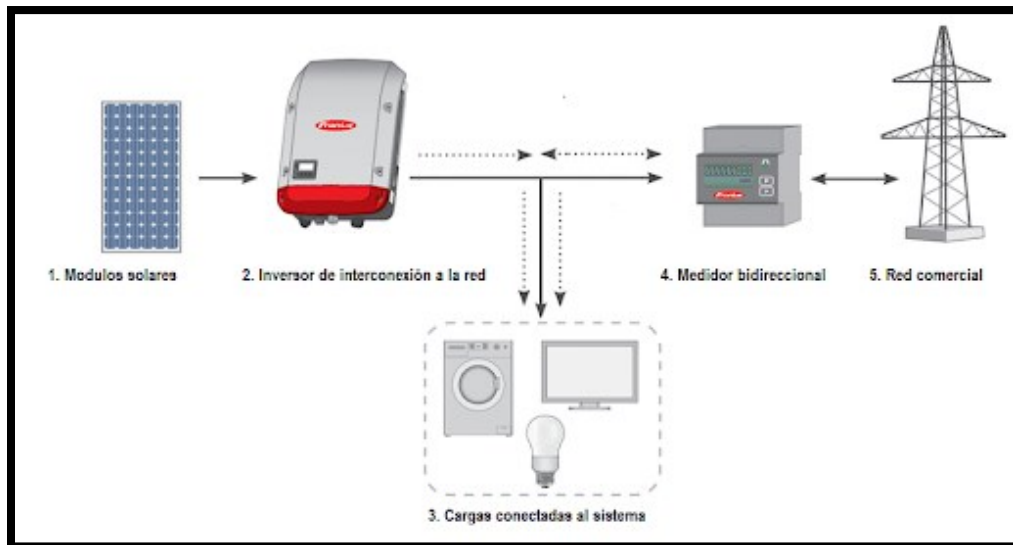


Nombre de la fuente: (Bojacá, 2016)

Como se observa en la figura 1-4 la conexión de un sistema fotovoltaico aislado de la red se hace a través de un inversor, es quien se encarga de distribuir la energía que se

genera para ser almacenada o entregada a la carga de una vez, o en su defecto disponer la energía previamente almacenada para entregarla a la carga.

Figura 1.5 Esquema de conexión interconectada a la red



Nombre de la fuente: (Bojacá, 2016)

En la figura 1-5 se ilustra gráficamente la conexión típica de un sistema fotovoltaico conectado a la red, allí también es el inversor quien se encarga de distribuir la energía que proviene ya sea de los paneles solares o de la red para entregarla hacia la carga, se puede decir que en cualquier tipo de conexión es el inversor quien se encarga del control del flujo de la energía.

La energía solar es un tipo de energía que ha venido creciendo a pasos gigantes en los últimos años, ya es muy común ver pequeñas instalaciones solares en viviendas urbanas para reducción de precios en factura eléctrica o en lugares remotos donde no ha llegado el sistema interconectado nacional, pero no solo la energía solar ha venido presentado crecimiento exponencial sino que también es común ver pequeños molinos de vientos o aerogeneradores en zonas de influencia del viento, la energía eólica también se ha colado entre los tipos de energía económica que puede ser utilizada en múltiples áreas de consumo.

1.2 Energía eólica

La energía eólica es una fuente de energía renovable no convencional la cual aprovecha la energía cinética del viento, convirtiéndola a energía eléctrica. El principal medio para obtener la energía es por medio de aerogeneradores, donde por medio de sus aspas pueden capturar la energía del viento. Los aerogeneradores están compuestos por equipos eléctricos y mecánicos, los cuales trabajan en conjunto para poder convertir la energía del viento en energía eléctrica. (Villarrubia López, 2013b)

1.2.1 Ventajas

Las principales ventajas de la energía eólica son las siguientes:

- No emite gases contaminantes, ni efluentes líquidos, ni residuos sólidos. Tampoco utiliza agua.
- Reduce emisiones de CO₂. En España, en 2009, la producción eólica fue de 36.188 GWh, lo que se tradujo en un ahorro de emisiones de 16,6 millones de toneladas de CO₂, (considerando una emisión específica de CO₂ asociada a la producción de electricidad de 460 toneladas de CO₂ por GWh eléctrico).
- No requiere minería de extracción subterránea o a cielo abierto.
- Su uso y los posibles incidentes durante su explotación no implican riesgos ambientales de gran impacto (derrames, explosiones, incendios, etc.).
- Ahorra combustibles, diversifica el suministro y reduce la dependencia energética.
- Tiene un periodo de recuperación energética pequeño. Se requiere solo unos pocos meses de funcionamiento para recuperar la energía empleada en la construcción y montaje de un gran aerogenerador eólico. (Villarrubia López, 2013b)

1.2.2 Desventajas

Los principales problemas asociados a la energía eólica son:

- El viento es aleatorio y variable, tanto en velocidad como en dirección, por lo que no todos los lugares son adecuados para la explotación técnica y económicamente viable de la energía eólica.
- La producción eólica forma parte de un “mix” de generación, junto con otras fuentes de energía (hidráulica, Térmica, nuclear...). Dada su variabilidad deben realizarse previsiones de producción a muy Corto plazo (24 y 48 horas) para una adecuada gestión de la cadena de generación, transporte y distribución de electricidad.
- Impacto visual o paisajístico.
- Impacto sobre la fauna, en particular sobre las aves.
- Interferencias con transmisiones electromagnéticas: el rotor puede producir interferencias con campos electromagnéticos (televisión, radio, etc.).

Como se aprecia en los párrafos anteriores, la energía eólica tiene múltiples ventajas para su utilización, pero aun así no es posible instalar en todos los lugares ya que está determinado por condiciones ambientales, terreno, altura y por ello presenta gran diferencia respecto a la energía solar, a medida que avanza el tiempo se han diseñado nuevos tipos de turbinas eólicas que son usadas para casos específicos donde la velocidad de viento es variable o no es constante, a continuación vemos los tipos de aerogeneradores mayormente usados en pequeña escala.

1.2.3 Tipos de aerogeneradores

Su clasificación puede obedecer a distintos criterios:

a) Según la disposición del eje de giro:

- Eje horizontal: la casi totalidad de las turbinas eólicas son de este tipo.
- Eje vertical: las aplicaciones prácticas son muy escasas.

b) Según el número de palas:

- Monopalas y bipalas: existe un número pequeño de estos tipos.

- Tripala: la mayoría de turbinas dedicadas a la producción eléctrica.
- Multipala: con un número variable de 16 a 24, utilizadas para bombeo de agua.

c) Según la velocidad del rotor de la turbina eólica:

- Velocidad constante.
- Velocidad variable.
- Velocidad semivariable.

d) Según su control y regulación:

- Control por pérdida aerodinámica (*stall control*) o de palas de paso fijo.
- Control por variación del ángulo del paso de pala (*pitch control*).

e) Según el generador eléctrico:

- Generador asíncrono con rotor en jaula de ardilla.
- Generador asíncrono con rotor bobinado doblemente alimentado.

f) Según el tipo de viento:

- Aerogeneradores para viento clase I, clase II o clase III.

g) Respecto a su interconexión con la red eléctrica:

- Sistemas eólicos aislados (“en isla”), sin o con energía auxiliar (“híbridos”).
- Sistemas eólicos interconectados con la red eléctrica.

h) Según su potencia nominal:

- Micro turbinas eólicas (< 5 kW).
- Mini turbinas eólicas (5 – 100 kW).
- Turbinas de media y gran potencia (100 a 1.000 kW).

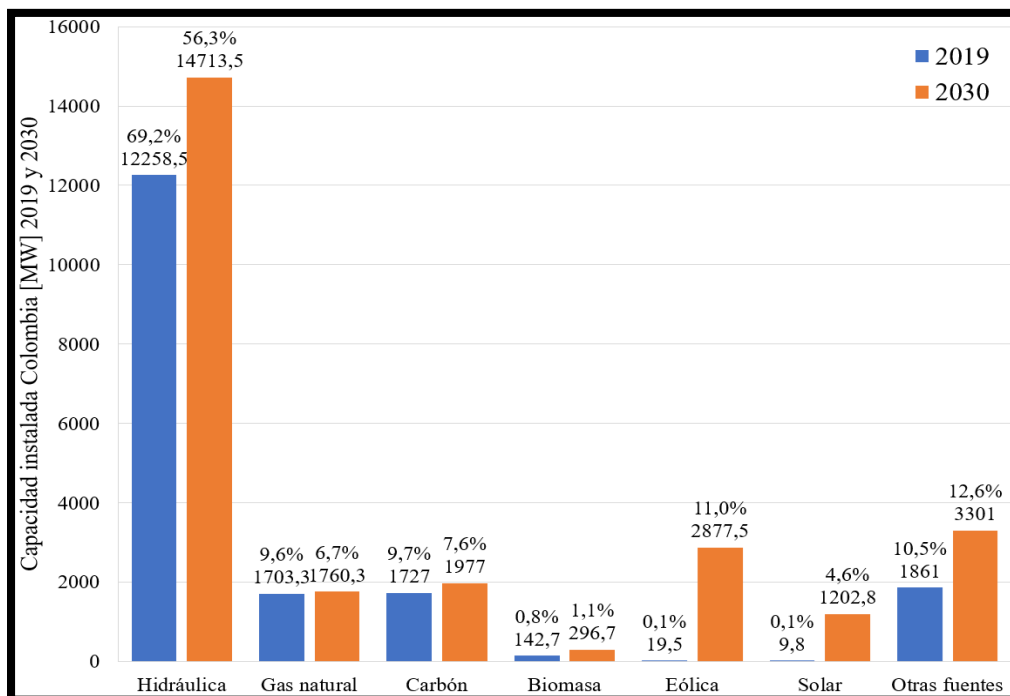
En el libro “Ingeniería de la energía eólica” nombra los tipos de turbinas comúnmente utilizados donde se caracterizan según su capacidad, función, número de palas, dirección de viento, aislados o paralelos en la red, etc. (Villarrubia López, 2013b) A continuación, se nombran algunos proyectos eólicos en el país y sus proyecciones a mediano y largo plazo.

1.2.4 Proyectos eólicos en Colombia

El elevado potencial en recursos hídricos en el país ha conllevado que actualmente el 69,2% de la generación de energía se realice con fuentes hidráulicas. La gran dependencia de una sola fuente genera ineficiencias en la definición del costo del kW/h principalmente cuando se presentan épocas de sequía, como por ejemplo el fenómeno del Niño, lo cual afecta las reservas de agua en los embalses. Este escenario hace vulnerable y poco resiliente el sistema eléctrico colombiano, para lo cual la solución consiste en diversificar la matriz energética, es decir, emplear distintas fuentes de energía primaria. Para mitigar este escenario negativo, se proponen los proyectos basados en FNCER “Fuentes No Convencionales de Energía Renovable” para diversificar de la matriz energética y extender la oferta de energía eléctrica mediante opciones que emplean fuentes renovables. (Gómez et al., 2016)

Uno de los objetivos trazados por la UPME es suplir el 11,0% de la demanda eléctrica nacional con energía eólica para finales de la década 2020 – 2030, como se indica en la Figura 1.6

Figura 1.6 Capacidad instalada Colombia [MW] 2019 y 2030.



Nombre de la fuente: (UPME, 2020b)

La inclusión de las FNCER va a depender en gran medida de los costos de inversión de los proyectos y la rentabilidad que se obtenga. En ese sentido, las FNCER han demostrado que en la actualidad son competitivas con los demás tipos de energía desde el enfoque económico (Gómez et al., 2016) como se indica en la Tabla 1.3.

Tabla 1-2 Costos de inversión de proyectos de generación.

Tecnología	Promedio [USD/kW]	Máximo [USD/kW]	Mínimo [USD/kW]
Hidráulica	2102	2341	1515
Gas natural	1151	1213	1090
Carbón	1870	2472	1425
Biomasa	1381	1714	1125
Eólica	1663	1750	1112
Solar	1107	1417	838

Nombre de la fuente: (UPME, 2020b)

Nota. En esta tabla se muestran los costos de inversión promedio, máximo y mínimo necesarios para ejecutar los proyectos de las diferentes fuentes de energía renovables y no renovables.

En la actualidad del país la energía eólica suple únicamente el 0,1% de la demanda eléctrica nacional. Este aporte lo hace un solo parque eólico, llamado Jepírachi, el cual está ubicado cerca de Puerto Bolívar y el Cabo de la Vela en el municipio de Uribia (La Guajira).

Este parque eólico es propiedad de EPM y es el primero y por el momento único parque en operación de este tipo en el país. El parque eólico Jepírachi fue construido entre los años 2002 y 2003, e inició su operación comercial en abril del 2004 y tuvo una inversión de USD 27,8 millones. Desde su entrada en operación hasta 2019 Jepirachi evitó 434.000 toneladas de emisiones de CO₂ (UPME, 2020b)

Este parque tiene 15 turbinas eólicas marca Nordex N60, cada una con una capacidad de 1,3 MW c/u, para una capacidad total del parque de 19,5 MW. Las turbinas eólicas se encuentran distribuidas en 2 filas de 7 y 8 turbinas con una separación entre filas de 1000 metros y una separación entre turbinas de 180 metros. El diámetro del rotor de las turbinas y la altura de la 29 torre tienen 60 metros. (*El Parque Eólico Jepírachi de EPM reactiva su operación hasta 2023*, s. f.) El parque eólico Jepírachi se muestra en la Figura 1.7.

Figura 1.7 Parque eólico Jepírachi.



Nombre de la fuente: *(EPM | Empresa de servicios públicos de Medellín y Colombia, 2010)*

El parque Jepirachi, mostrado en la figura 1-7 es un parque eólico interconectado al sistema eléctrico nacional que inyecta potencia a la red cuando el viento es suficiente para mover las turbinas, vemos a continuación otro tipo de sistema que además del viento su fuente de energía es el sol.

1.3 Sistemas híbridos

Se les llama sistemas híbridos de generación eléctrica a aquellos basados en el uso y combinación de dos o más fuentes de energéticas, como las señaladas en la tabla 1-4 Presentan la peculiaridad de proporcionar en forma más confiable la energía para hogares, Granjas e inclusive a comunidades enteras. (García & Rodrigo, 2018)

Tabla 1-3 Tipos de fuentes energéticas renovables y no renovables.

Fuentes renovables	Fuentes no renovable
Solar fotovoltaica	Energía Nuclear
Eólica	Petróleo
Mini hidráulica	Gas Natural
Biomasa	Carbón
Biogás	
Geotérmica	
Mareomotriz	

Nombre de la fuente: (García & Rodrigo, 2018)

En la tabla 1-5 se aprecia las combinaciones más comunes de sistemas híbridos que utilizan fuentes renovables.

Tabla 1-4 Combinaciones de sistemas híbridos con fuentes de energía renovable.

Tipos de sistemas híbridos
Solar fotovoltaica / Eólica
Eólica / Minihidráulica
Biomasa / Solar fotovoltaica
Mareomotriz / Eólica

Nombre de la fuente:(García & Rodrigo, 2018)

Los sistemas híbridos tienen la capacidad de abastecer sistemas aislados o conectados a la red eléctrica, estos últimos pueden o no tener la capacidad de inyectar energía a la red. La combinación de las fuentes energéticas dependerá de los recursos que ofrezca la zona en estudio, y su conexión dependerá de la ubicación de la red eléctrica, el nivel de tensión y la distancia que lo separa del sistema que se desea abastecer de energía eléctrica. El fundamento o base para la decisión por una u otra configuración y su adherencia o no a la red eléctrica dependerá de factores medioambientales y geográficos que determinan la posibilidad de instalación del sistema. (García & Rodrigo, 2018)

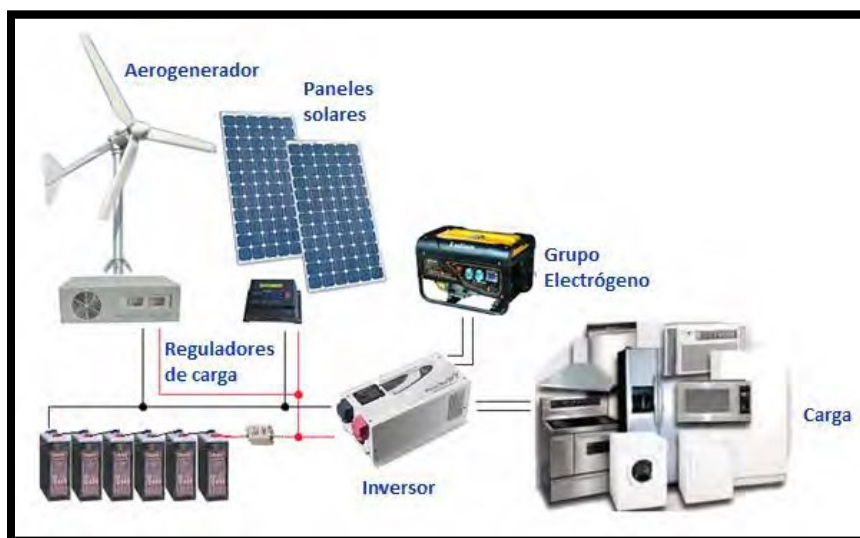
1.3.1 Sistema híbrido autónomo

Los sistemas híbridos autónomos, son aquellos que se encargan de brindar energía eléctrica, de manera continua, a un centro de consumo que no está conectado a la red eléctrica; esto generalmente por la distancia de la red eléctrica más cercana o una baja demanda energética. Esto ocurre con muchos poblados rurales, viviendas residenciales aisladas, cultivos y algunas pequeñas fábricas alejadas del área urbana.

Al igual que un sistema interconectado, en este tipo de sistemas las fuentes principales de generación de energía son las mismas. La diferencia se presenta en las propuestas dadas en el diseño para garantizar la autonomía en la entrega de energía por un determinado período de tiempo a todas las cargas o las de mayor importancia en el centro de consumo.

Para garantizar la entrega de energía por un determinado periodo de tiempo, lo que se plantea mayormente es el diseño e instalación de un banco de baterías, con una capacidad capaz de abastecer la demanda energética cuando las fuentes principales de generación proporcionan una cantidad de energía menor a la requerida. (XX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XX- SPES), Tacna, 11 -15.11.2013, 2019)

Figura 1.8 Esquema de instalación de un sistema híbrido con autonomía.



Nombre de la fuente: (Soler & Tello, 2018)

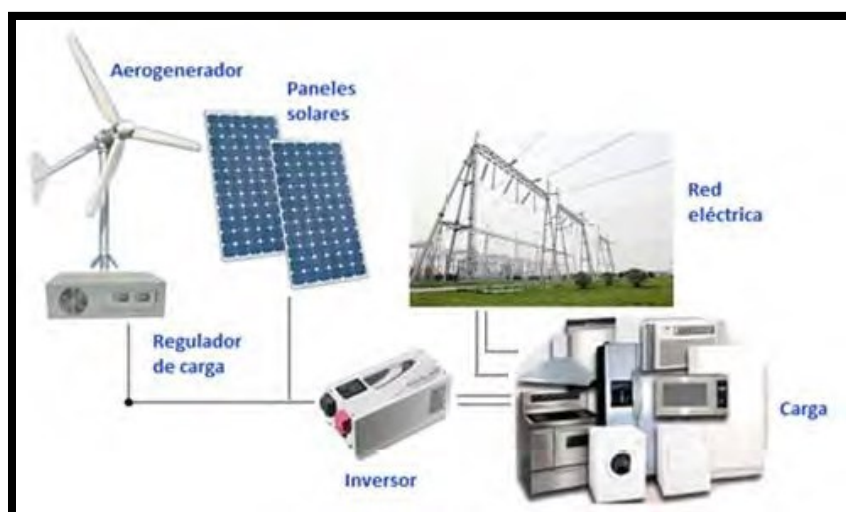
Como se aprecia en la figura 1-8, el esquema de instalación del sistema híbrido con autonomía está diseñado para entregar energía de forma ininterrumpida a una carga a través de un inversor en donde la energía es previamente generada y almacenada en un banco de baterías para su uso, caso contrario a lo que ocurre al sistema híbrido conectado a la red eléctrica que funciona igual de forma ininterrumpida pero la energía no es almacenada sino que es absorbida de la red en caso de ser necesitada en momentos de baja generación.

1.3.2 Sistema híbrido conectado a la red eléctrica

Un sistema de energía renovable híbrido es un sistema en el cual dos o más fuentes de energía se integran para generar electricidad, la configuración común es el eólico y solar, además este puede estar conectado a la red eléctrica para entregar energía de forma continua para una carga la cual fue diseñada.

A diferencia de un sistema autónomo, un sistema híbrido conectado a la red eléctrica es aquel que, en lugar de usar un banco de baterías o un grupo electrógeno, para garantizar la entrega de energía a la carga, utiliza el suministro de energía de la red eléctrica, como se aprecia en la figura 1.9.

Figura 1.9 Esquema de instalación de un sistema híbrido conectado a la red eléctrica.



Nombre de la fuente: (Soler & Tello, 2018)

Estos sistemas son pocos usados, debido principalmente al desconocimiento de este arreglo para la generación de energía ya que actualmente en el país se encuentra en auge el sistema solar, además del sistema eólica estar limitado a ciertas regiones específicas del país donde el viento es suficiente para el tipo de energía.

La principal ventaja que tiene el sistema híbrido interconectado a la red frente al sistema híbrido autónomo es el ahorro en la inversión inicial debido a que éste funciona sin baterías, que representan hasta un 50% del costo total de una inversión, logrando un retorno de la inversión en menor tiempo lo que hace atractivo a la persona que quiere invertir en el sistema.

2. Capítulo 2. Estudio técnico.

En este capítulo se presenta de forma detallada el estudio realizado para determinar el consumo energético de la finca, el potencial energético presente en la zona y los cálculos correspondientes para un retorno de inversión del proyecto. Se utiliza el software de simulación de viento ENAIR desarrollado por un fabricante de turbinas eólicas y se comparan con datos tomados por una estación meteorológica en el año 2017 ubicada en la finca Buena Vista, aledaña al lugar de estudio.

2.1 Demanda energética de la finca Galilea

La finca Galilea cuenta con un consumo de energía normal de una vivienda donde conviven 5 personas, además de algunos accesorios que componen la finca, para proyección futura y a corto plazo se considera la instalación de un sistema de bombeo que funciona las 24 horas del día con una potencia de 5 HP, el sistema que entregará agua a 10 hectáreas nuevas de aguacate.

En la tabla 2-1 se muestra detalladamente cada equipo de la finca y su consumo promedio donde se determina la cantidad de energía que demandaría en conjunto al mes.

Tabla 2-1 Consumo energético de la finca Galilea

Consumo de energía eléctrica finca Galilea					
Aparato	Potencia (watts)	Cantidad	Tiempo (hora/día)	Consumo de energía diaria (Kw/h)	Consumo de energía mensual (Kwh/mes)
Bombillos	60	10	4	2,4	72
Licudadora	350	0,1	1	0,035	1,05
Plancha	1000	0,1	1	0,1	3
Televisor	150	2	3	0,9	27
lampara luminaria	200	2	4,5	1,8	54
Motor Beneficiadero	746	1	0,5	0,373	11,19
Motor picapasto	746	1	0,5	0,373	11,19
Motobomba	746	1	3	2,238	67,14
Refrigerador Ind	52,5	1	24	1,26	37,8
Cerca Electrica	5	1	24	0,12	3,6
secadora de café (bombilla)	60	8	3	1,44	43,2
Equipo de sonido	180	1	4	0,72	21,6
Nevera	400	1	14	5,6	168
Camara de seguridad	12	4	24	1,152	34,56
Bomba de agua de 5 HP	3728,5	1	24	89,484	2684,52
			TOTAL	107,995	3239,85

Nombre de la fuente: Autor

Se observó la ficha técnica de cada equipo eléctrico que consume energía en la finca y se tabula en la tabla 2-1. Se toma el tiempo en promedio según datos suministrados por los residentes en la finca en el cual se usa cada dispositivo para tener un dato de energía consumida, además se suma la potencia del motor que será instalado para el nuevo sistema de bombeo.

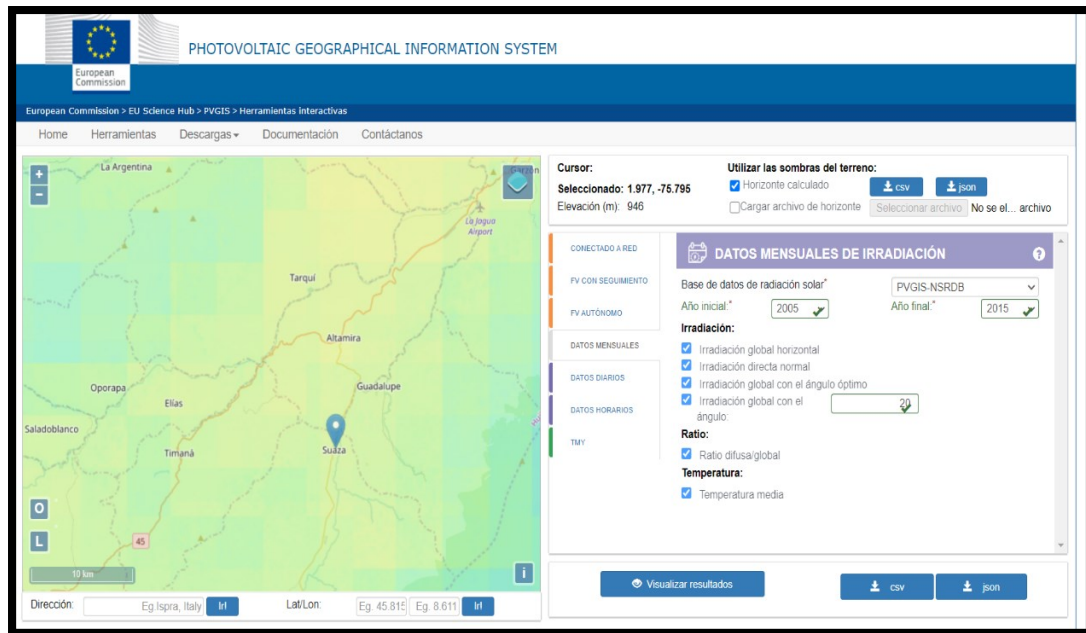
Como se observa en la tabla 2-1, se necesitan **3.239,85 kW/h** de energía al mes para satisfacer la demanda energética de la finca incluyendo el nuevo sistema de bombeo, que en dinero corresponde a un pago de \$ 1,919.000 aproximadamente, este dato es el punto de partida para los cálculos correspondientes.

2.2 Condiciones ambientales finca Galilea

La finca Galilea está ubicada en municipio de Suaza Huila, a 1 km del casco urbano por la vía Nacional que de Neiva - Huila conduce a la ciudad de Florencia – Caquetá.

Presenta viento variado en la mayor parte del año siendo los meses de julio y agosto donde se evidencia mayor este recurso, también se evidencia buen recurso solar la mayor parte del año (CATTANEO, 2018) debido a que su ubicación se encuentra hacia al sur del país cerca de la línea del ecuador en latitud $1^{\circ}59'22.5''N$ (Google Earth, 2021)

Figura 2.1 Radiación solar en la finca galilea de Suaza- Huila



Nombre de la fuente: (*JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission, s. f.*)

Figura 2.2 Radiación solar municipio de Suaza- Huila

Mes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	146.63	137.31	159.39	147.53	141.54	162.31	171.81	158.36	156.3	160.77	150.41
Febrero	132.16	142.31	156.74	120.85	133.98	128.66	122.02	142.71	116.56	132.8	144.29
Marzo	135.3	145.01	135.89	138.98	129.44	140.74	144.33	144.39	135.77	132.83	134.12
Abril	132.93	138.7	135.28	142.55	125.23	153.88	144.5	138.37	158.72	135.51	128.77
Mayo	144.42	150.24	145.84	130.17	145.55	147.13	141.8	140.72	138.63	149.36	138.17
Junio	125.93	122.12	116.79	136.87	134.09	130.15	134.67	141.93	145.89	125.57	121.11
Julio	136.76	132.47	148.85	132.5	129.56	149.76	140.55	133.37	130.26	132.62	135.68
Agosto	136.12	139.44	125.71	138.83	138.35	133.01	167.35	129.19	140.47	130.28	132.33
Septiembre	139.02	146.82	131.61	138.98	147.52	157.43	142.69	80.85	142.41	153.16	161.33
Octubre	148.29	155.32	147.08	141.02	142.68	147.35	153.35	153.03	167.63	154.32	149.3
Noviembre	148.4	137.07	141.4	132.56	138.36	126.42	138.63	143.8	132.79	144.85	139.7
Diciembre	152.65	146.45	135.22	136.42	154.02	134.61	147.23	134.4	146.01	146.87	137.41

Nombre de la fuente: (*JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission, s. f.*)

Para la realización del diseño del sistema de generación de energía híbrida “eólica y solar” en la finca galilea, se debe considerar que los equipos a instalar sean los apropiados para operar en esas condiciones de clima. Dichos datos se recolectaron de las bases de datos del IDEAM y se compararon con una estación meteorológica instalada en la finca Buena vista que está aledaña y tomó datos durante el periodo de 12 meses en el año de 2017.

- Localización: 1°59'22.5"N 75°47'27.9"W
- Temperatura: 18 a 26 °C
- Altura sobre el nivel del mar: 990 m. s. n. m.
- Precipitaciones promedio: 130 mm
- Radiación solar: 4,5 kWh/m²
- Velocidad del viento: 2 m/s a 6 m/s

Figura 2.3 Ubicación geográfica de la finca Galilea en el municipio de Suaza – Huila



Nombre de la fuente: Tomada de Google Earth

La finca galilea está ubicada muy cerca al casco urbano del municipio de Suaza, esto ofrece una ventaja en cuanto información se refiere ya que el IDEAM monitorea la mayor parte de los municipios para saber su condiciones climáticas y prevenir desastres naturales, en la imagen 2.3 se observa su cercanía y es por ello que los datos del casco urbano se pueden utilizar para el estudio y el diseño del sistema.

Los valores ambientales que principalmente se tienen en cuenta para efectos de cálculo es el de radiación solar y velocidad de viento que en promedio son de 4,5 kWh/m² y 2 m/s a 6 m/s respectivamente, según Oscar Perpiñán en su libro de Diseño de Sistemas Fotovoltaicos, la cantidad de paneles solares a instalar dependen de las horas solar pico del lugar de instalación, pues a mayor cantidad de horas solas se tendrían que instalar menor cantidad de celdas para una misma potencia.

Una hora solar pico equivale a la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie. En resumen, si en este lugar existen 4.5 HSP, tenemos 4.5 horas de sol que está transmitiendo 1000W/m². Se consideran valores entre 4 y 5 HSP como valores óptimos para instalaciones solares, ya que son muy pocos los lugares en el mundo donde el sol irradia potencia superior a esta. (Perpiñán et al., 2012)

El promedio de viento en la finca galilea esta entre 2 y 6 m/s, si tenemos en cuenta la velocidad optima de funcionamiento de un aerogenerador es de 11 m/s pero una de las desventajas de este recurso es que su potencial es muy variable, para efectos de cálculo no se puede llegar a una conclusión con valores promedios sino con estadística y mucha información que permite cuantificar la probabilidad de ocurrencia del valor optimo (Villarrubia López, 2013a) y por ende profundizaremos más de este cálculo en un epígrafe siguiente.

2.3 Condiciones iniciales para el diseño del sistema

Para un correcto funcionamiento de sistema de generación de energía los diseños deben seguir los lineamientos de las normas nacionales (ICONTEC) y la instalación eléctrica debe ser avalada por el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE. Además, las características técnicas de los equipos deben ser respaldadas por certificados de calidad emitidos por organismos nacionales o internacionales reconocidos. *(Inicio - Icontec, 2021)*

El consumo de energía en la finca Galilea será de 3239,85 kWh mes, se calcula que, para tener un ahorro significativo, el sistema de energía híbrido sea capaz de producir el 60 % de la energía requerida en la finca Galilea, es decir unos 2000 kWh mes aproximadamente, se toma éste valor porcentual de forma aleatoria a criterio del autor, se entiende que a mayor cantidad de energía a producir, el sistema es de mayor costo.

Se toman en cuenta las recomendaciones de Jorge Armando Servan Socola, que en su tesis “Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red, dice que en lugares donde la cantidad de radiación solar supera los 4.2 kW/h recomienda distribuir el sistema híbrido en 70% de energía solar fotovoltaica y el 30% proveniente de la energía eólica, esto con el fin de tener un equilibrio entre la disponibilidad del recurso vs su precio por unidad de energía generada.

Generación total de energía sistema híbrido = **2000 kWh mes**

70% Sistema fotovoltaico = **1400 kWh mes**

30% sistema eólico = **600 kWh mes**

Inicialmente se calcula un promedio de 3239 kWh mes de energía que es la demanda total de energía, de éste valor se propone generar el 60% que es en promedio 2000 kWh mes en donde 1400 kWh mes de energía proviene del sistema solar y el restante del sistema eólico, paso siguiente es el cálculo del sistema solar fotovoltaico en donde se describe detalladamente el diseño.

2.4 Cálculo del sistema de generación solar fotovoltaico.

De acuerdo con la información obtenido por el IDEAM, el potencial energético en la finca Galilea es de 4,5 kWh por m² cada día, el sistema solar debe generar el 70% de la energía que se espera producir que se traduce a 1400 kWh al mes aproximadamente, éstos valores son el punto de partida para los cálculos correspondientes y obtener el número de paneles y el valor de la potencia de cada uno.

Energía a generar por el sistema fotovoltaico: $E_{cd} = 1400$ kWh mes

Radiación solar: $H = 4,5$ kWh/m²

Inicialmente se calculará las horas de sol pico HSP, con la potencia pico de los paneles que es que se da para una irradiación nominal de $W_p = 1000$ W/m²

$$HSP = H/W_p$$

HSP = Horas de Sol Pico

H = Radiación solar

W_p = Irradiación nominal de los paneles

$$HSP = (4,5 \text{ kWh/m}^2)/(1 \text{ kW/m}^2) = 4,5 \text{ h} \quad (1)$$

Si se tiene en cuenta el valor promedio de las horas solar pico en Colombia que también es de 4,5 se determina que el valor de radiación solar en la finca galilea es propicio para instalaciones de energía solar (*Atlas de Radiación Solar en Colombia*, 2009.)

Se calcula la potencia que debe generar el sistema fotovoltaico: (Perpiñán Lamigueiro, 2011)

$$P_{sfv} = \frac{E_{cd}/30}{HSP}$$

P_{sfv} = Potencia sistema fotovoltaico

E_{cd} = Energía a generar por el sistema fotovoltaico

HSP = Horas de Sol Pico

$$P_{sfv} = \frac{(1400 \text{ kWh/mes})/30}{4,5 \text{ h}} = 10,37 \text{ kW} = \mathbf{10370 \text{ W}} \quad (2)$$

El valor de 10370 W corresponde a la potencia máxima que genera el sistema solar, con este cálculo se espera generar los 1400 kWh mes de energía que corresponden a éste sistema, para un correcto funcionamiento se debe contar con otros equipos auxiliares como es el caso del inversor, que es el dispositivo encargado de convertir la corriente directa a corriente alterna y sincronizarla con la energía proveniente de la red, existen diferentes tipos, marcas, capacidad y su selección depende de algunos factores, a continuación hacemos el respectivo calculo.

2.4.1 Selección del inversor DC/AC sistema solar

Para calcular el inversor solar se tiene que tener en cuenta varios factores. El primero, la tensión de la instalación. La entrada del inversor debe admitir esta tensión. Normalmente estos aparatos permiten un intervalo de tensiones, el segundo es, la potencia simultanea de todos los elementos de consumo. Se debe escoger un equipo que soporte toda la potencia y que además permita los picos de potencia que absorben cargas inductivas como por ejemplo los motores, finalmente se escoge un factor de seguridad del 20% o 30%. (Perpiñán et al., 2012)

Como la potencia máxima demandada por la instalación del sistema fotovoltaico es de $P_{sfv} = 10,37 \text{ kW}$ teniendo en cuenta un factor de seguridad recomendado del 30% da un

valor de 13.48 kW, pero se observa que comercialmente el rango es de 12 kW o 15 kW entonces se elige un inversor de 15 kW, el cual permite en un futuro poder ampliar la capacidad de la instalación y además brindar el margen de seguridad aun mayor de la instalación.(García-Badell, 2009)

Figura 2.4 Características del inversor

CARACTERÍSTICAS DEL FRONIUS SYMO 15-0-3-M 15KW			
DATOS DE ENTRADA			
Máx. corriente de entrada (Idc máx. 1 / Idc máx. 2):	33,0 A / 27 A	Máx. corriente de cortocircuito por serie FV (MPP1/MPP2):	49,5 A / 40,5 A
Mínima tensión de entrada (Udc mín.):	200V	Tensión CC mínima de puesta en servicio (Udc arranque):	200V
Tensión de entrada nominal (Udc,r):	600V	Máx. tensión de entrada (Udc máx.):	1000V
Rango de tensión MPP (Umpp mín. - Umpp máx.):	320 - 800 V	Número de seguidores MPP:	2
Número de entradas CC:	3 + 3	Máxima salida del generador FV (Pdc máx.):	22,5 kW pico
Máxima corriente de entrada total utilizada (Idc máx.1 + Idc máx.2)	51,0A		
DATOS DE SALIDA			
Potencia nominal CA (Pac,r):	15000 W	Máx. potencia de salida:	15000 VA
Máx. corriente de salida (Iac máx.):	21,7 A	Acoplamiento a la red (rango de tensión):	3~NPE 400 V / 230 V o 3~NPE 380 V / 220
Frecuencia (rango de frecuencia):	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	Coefficiente de distorsión no lineal:	1,5%
Factor de potencia (cos φac,r):	0,85 -1 ind. / cap.		

Nombre de la fuente:(*Fronius International, 2021*)

Ver ficha técnica inversor anexo 2.

Como se evidencia en la figura 2.4, el inversor tiene unas características con las cuales la configuración de los paneles debe coincidir para unos valores de voltaje y corriente, a continuación, se presenta la configuración adecuada para trabajar con éste tipo de inversor.

2.4.2 Selección del panel solar

Comercialmente los paneles solares más utilizados son de tipo Policristalino o monocristalino, los precios son muy similares aunque se conoce el tipo monocristalino

alcanza una eficiencia mayor respecto al otro, para la selección de la potencia de cada panel se deja a criterio de cada cliente pues se entiende que siendo más potente se tendrían que usar menor cantidad de éstos. Los paneles solares de mayor potencia oscilan entre 400 y 500 W, para la instalación se escogen paneles solares monocristalinos de 430 W, con este dato se podrá calcular el número de paneles necesarios. (Perpiñán Lamigueiro, 2011)

Tipo de panel: Monocristalino

No. De paneles: 25

Potencia: 430 W

Voltaje (V_{max}): 44,8 Vdc

Corriente (I_{max}): 9,6 A

Tensión en cortocircuito abierto: 53,6 V

Corriente en corto circuito: 10,14 A

No. De celdas: 156

Dimensiones: 2182x1002x35 mm

Ver ficha técnica en anexo 1

$$N_p = P_{Sfv} / P_p$$

N_p = Número de paneles

P_{Sfv} = Potencia sistema fotovoltaico

P_p = Potencia de panel

$$N_p = 10370 \text{ W} / 430 \text{ W} = 24,11 \approx \mathbf{25 \text{ paneles}} \quad (3)$$

El número de paneles es determinante a la hora de diseñar la configuración del sistema solar, puesto que esto influye en su forma de conexión, si son en serie o paralelo o se usa

configuración mixta para modificar valores de tensión o de corriente que son entregadas al inversor.

Para saber la configuración de los paneles se deben tener en cuenta las condiciones de operación del inversor, es por ello que los datos más importantes son el de voltaje y corriente de entrada.(Perpiñán Lamigueiro, 2011)

Para el caso de voltaje, el inversor admite un rango entre 320V y 800V siendo 600V el voltaje óptimo de funcionamiento y admite una corriente máxima de 51A.

Según Jorge Alvarado Ladrón de Guevara en su tesis “Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica” se usa el criterio de circuitos en serie y paralelo para configuración de paneles solares en donde se debe buscar valores de tensión y corrientes que sean admisibles para el funcionamiento de un determinado inversor(Alvarado, 2019), Se expone que en conexión en serie la tensión se suma y la corriente es igual y para la conexión en paralelo la tensión es igual y la corriente se suma. Entonces se determinó la siguiente configuración de paneles.

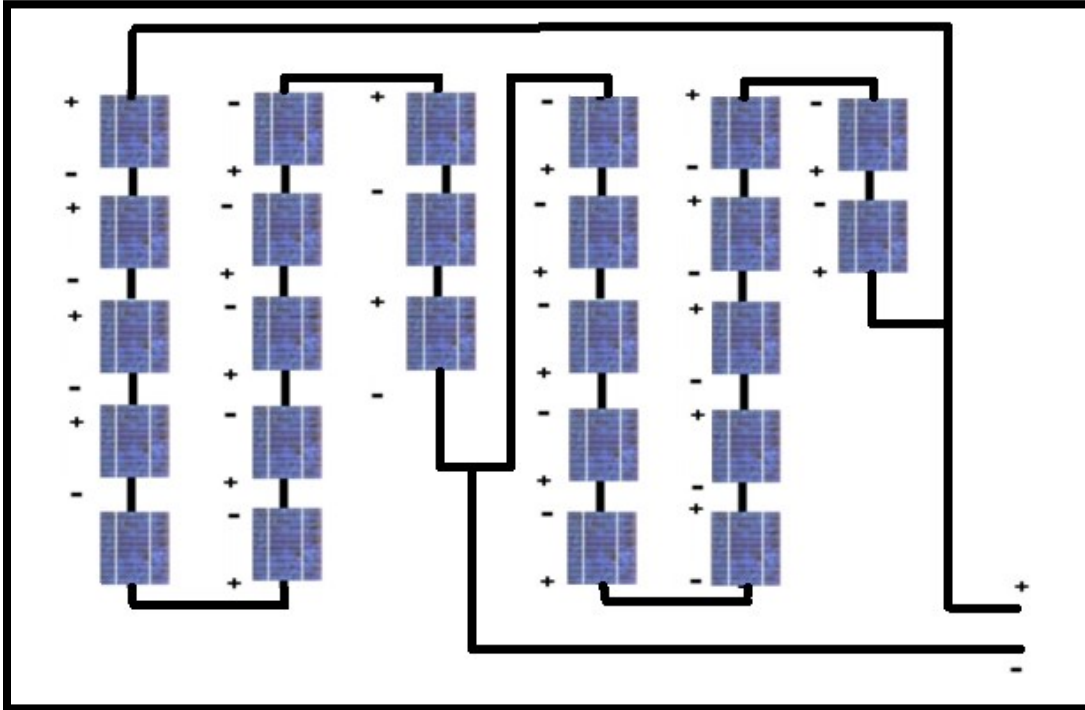
2 conexiones en paralelo, 13 paneles en serie por un lado y 12 por el lado opuesto.

$$V_{ts}=13 * 44,8 =582.4V$$

$$I_{ts}= 2 * 9.6^a = 19.2A$$

Para la conexión en serie sumamos el valor de voltaje de cada panel y obtenemos un valor dentro del rango de operación del inversor y muy cercano al valor óptimo recomendado, como se evidencia en la imagen 2-5 hay 2 conexiones en paralelo, por ende se suma la corriente para un total de 19.2 A que es un valor dentro del rango de operación del inversor.

Figura 2.5 Conexión de paneles solares



Nombre de la fuente: Autor

Se escogió este tipo de configuración para cumplir con los requisitos para los cuales está diseñado el inversor seleccionado, con esto culminamos los cálculos del sistema solar fotovoltaico y pasamos a calcular el aerogenerador en el siguiente epígrafe.

Con el sistema solar se espera generar 1400 kW/h de energía al mes, lo que representaría un ahorro de \$850.000 pesos mes a mes, el inversor tiene un margen de seguridad de 1.5 para un posterior aumento de la producción de energía si el cliente así lo requiere, por ejemplo si se instalan 7 paneles solares más, el sistema tendría una potencia de 13.7 kW lo que equivale a generar 1.849 kW/h de energía al mes y en dinero un ahorro de \$1.091.205 pesos.

Si se aumenta la capacidad de la instalación se alcanza la producción de energía suficiente para abastecer la totalidad consumida en la finca, pero en este trabajo de investigación se busca analizar el comportamiento del viento allí presente con el fin de hacer un comparativo entre los dos tipos de energía y analizar el comportamiento de producción de

energía trabajando en conjunto como un sistema híbrido, esto con el fin de saber qué sistema es económico, duradero y confiable.

2.5 Cálculo del sistema eólico

Para realizar el cálculo del sistema eólico se utilizaron datos de una estación meteorológica de la finca Buena Vista, finca aledaña a la zona de estudio. Se conoció en conversación con el propietario de la finca Buena Vista, que en el año 2017 decidió hacer un seguimiento con el fin de conocer la cantidad de precipitaciones de ese año, entonces instaló una estación meteorológica que tomaba datos de velocidad de viento, dirección de viento, precipitaciones, humedad y presión atmosférica, ésta tomaba un dato cada 15 minutos y los guardaba para su posterior procesamiento. El propietario compartió la información recopilada y se trataron los valores con el fin de implementar el aerogenerador idóneo, además se verificaron datos suministrados por el fabricante de aerogeneradores ENAIR con el fin de comparar información y tener un valor de promedio de cientos en la zona.

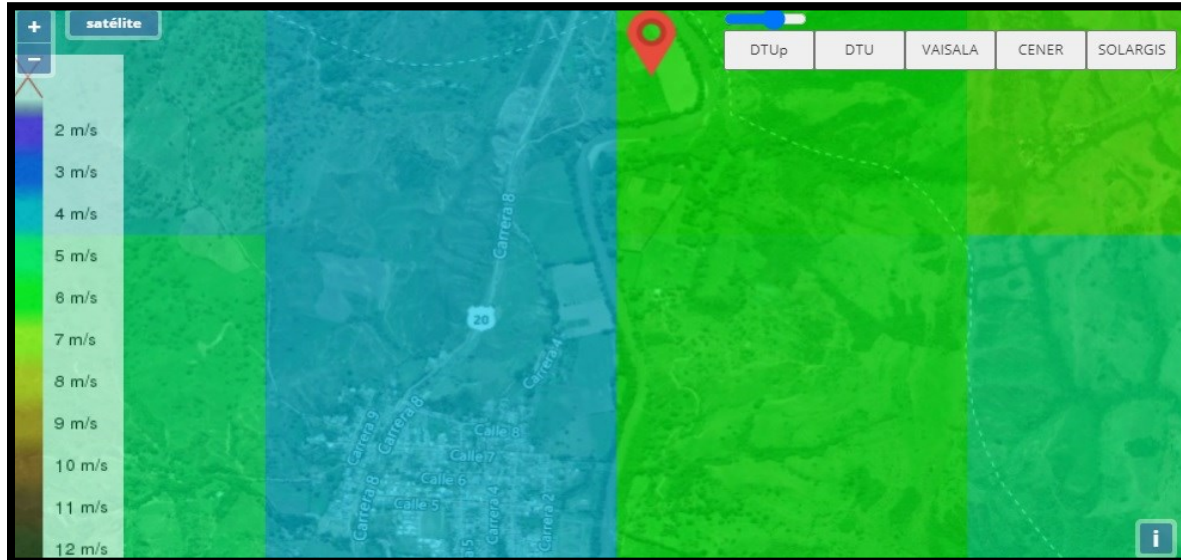
Al ser comparados los datos se observa una gran similitud entre ellos, en la tabla 2-2 y figura 2.7 se detallan los valores donde el promedio de viento en la finca galilea ronda los 4 m/s.

2.5.1 Recolección de datos de la velocidad del viento

Para la recolección y comprobación de datos, se utilizó el software de simulación de viento ofrecido de forma gratuita por el fabricante de turbinas eólicas español “ENAIR” este software permite obtener datos de velocidad de viento a diversas alturas en cualquier lugar del mundo.

Según el software ENAIR la velocidad del viento en cercanías de la finca varía entre 3 m/s hasta los 7 m/s, esto dependiendo de la altura. Las velocidades expuestas en la imagen se pueden encontrar desde una altura de 15 metros de la superficie terrestre.

Figura 2.6 Mapa velocidad del viento Finca Galilea



Nombre de la fuente: ENAIR

Una estación meteorológica instalada en la finca aledaña de Galilea en el año 2017, tomó datos de velocidad del viento durante el periodo de 12 meses y lo hacía en un intervalo de 15 minutos diariamente. Además, tomó otros datos como temperatura, humedad, etc.

Dichos datos se usarán para el desarrollo del presente estudio, en el cual se sacó un promedio mensual del viento y se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2-2 Datos obtenidos por la estación meteorológica**Datos del viento estación meteorológica**

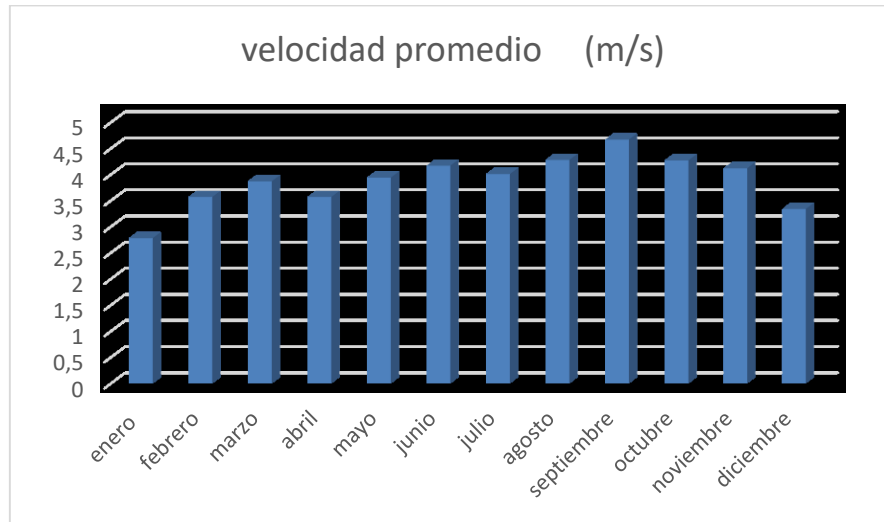
Año	Mes	velocidad promedio (m/s)	Temperatura promedio (°C)
	Enero	3,91	20,3
	febrero	3,57	22,5
	Marzo	3,87	24,1
	Abril	3,57	22,8
	Mayo	3,94	21,3
	Junio	4,17	19,9
	Julio	4,01	24,1
	Agosto	4,28	22,7
	septiembre	4,67	23,3
	octubre	4,27	22,7
	noviembre	4,12	19,3
	diciembre	3,34	22,1
	Promedio	3,98	22,09

Nombre de la fuente: Estación meteorológica finca Buena Vista

La tabla anterior muestra el promedio mensual según datos suministrados por el propietario de la finca Buena Vista, finca aledaña a la zona de estudio. Se observa el promedio mensual es de 3.98 m/s de velocidad de viento con una temperatura de 22 Grados Celsius.

Según el fabricante de turbinas eólicas ENAIR los valores de viento para el arranque de la mayoría de sus turbinas es de 5 m/s y su potencia nominal es alcanzada cuando el viento es de 11 m/s, para llegar a una conclusión hay que estudiar la probabilidad de ocurrencia de que ese valor de viento sea alcanzado en el lugar, se utiliza la distribución de probabilidad de Weibull para saber el potencial energético, es por ello que aun con datos promedios no se puede tomar decisión alguna.

Figura 2.7 Gráfica de velocidad promedio



Nombre de la fuente: ENAIR

En la figura 2.7 se muestra la gráfica de velocidad promedio que arroja el software ENAIR, dicha velocidad media varía de 2,5 m/s a 5 m/s. valores muy similares a los arrojados por la estación meteorológica de la finca Bella Vista, una vez echa esta verificación se utilizan los datos del software ENAIR para hacer los cálculos correspondientes.

Figura 2.8 Comparación de datos de diferentes fuentes

Fuente de datos	Altura hub (m)	Velocidad media (m/s)	Grado de confianza	Dispersión zona (m/s)	Weibull C	Weibull K
PROPIA	50	2.0	60%	±	1.6759	0.7525
DTU	50	6.0	80%	±2.73	6.7147	1.5686
MERRA-2	50	3.9	80%	±0.56	4.3529	1.4985
Result	50	4.89	--	±2.73	5.4164	1.4985

Nombre de la fuente: ENAIR

El programa ENAIR arroja una velocidad media en la finca de 4 m/s a una altura de 16 metros del suelo, siendo los meses de enero y diciembre los más bajos en velocidad de viento, valores de 2.78 m/s y 3.34 m/s respectivamente, fenómeno que coincide con los datos tomados en la finca Buena Vista.

La velocidad del viento es un valor que cambia continuamente, por lo que es necesario describirlo de forma estadística, para ello es conveniente establecer un modelo de las frecuencias de las velocidades del viento que venga descrito por una función matemática continua en vez de por una tabla de valores discretos. (Villarrubia López, 2013a)

Hay varias funciones que se pueden utilizar para describir la frecuencia de la distribución de velocidades del viento. La más utilizada es la distribución de Weibull, para los cálculos de esta investigación es utilizada esta distribución y son realizados por el software

2.5.2 Caracterización del potencial energético del viento - Ley de Weibull

Mediante el conocimiento de la ley de distribución de la velocidad del viento podemos calcular la energía anual que puede producir un aerogenerador. (Villarrubia López, 2013b)

- **Función de la densidad de probabilidad de Weibull**

La función de densidad de probabilidad $p(v)$ correspondiente a la ley de Weibull es del tipo de dos parámetros (k , c) y viene dada por la Ecuación:

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (4)$$

En donde:

- v es la velocidad del viento (m/s).
- $p(v)$ es la función densidad de probabilidad de Weibull.
- C es el factor de escala (m/s), valor próximo a la velocidad media anual. También se acostumbra a designar por A .
- K es el factor de forma que caracteriza la asimetría o sesgo de la función $p(v)$

2.5.3 Parámetros para los cálculos energéticos

Un parámetro notable es la media anual del cubo de las velocidades ($\langle v^3 \rangle$), que no es igual al cubo de la velocidad media anual ($\langle v \rangle^3$), para la distribución de Weibull se da de la siguiente manera:

Ecuación (5) Valor medio del cubo de las velocidades del viento.

$$\langle v^3 \rangle = c^3 \Gamma\left(1 - \frac{3}{k}\right) \quad (5)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

La velocidad eficaz V^* se define como aquella velocidad que elevada al cubo coincide con la media anual de los cubos de las velocidades.

Ecuación (6). Velocidad eficaz.

$$v^* = \langle v^3 \rangle^{1/3} \quad (6)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

De la expresión anterior se obtiene el siguiente conjunto de relaciones:

Ecuación (7). Velocidad media anual/parámetro c.

$$\frac{\langle v \rangle}{c} = \Gamma\left(1 - \frac{1}{k}\right) \quad (7)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

Ecuación (8). Desviación estándar/velocidad media anual.

$$\frac{\sigma}{\langle v \rangle} = \left[\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

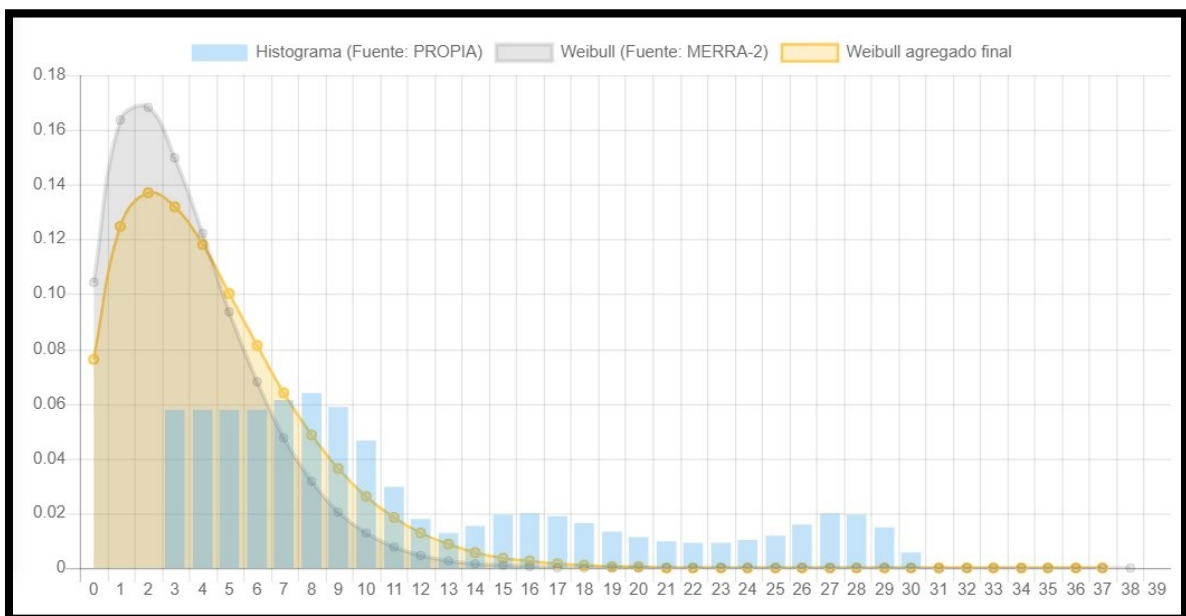
Ecuación (9). Factor de energía o factor de potencia eólica (F_e).

$$F_e = \frac{\langle v^3 \rangle}{\langle v \rangle^3} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)}{\Gamma^3\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (9)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

La siguiente gráfica muestra la distribución de la velocidad del viento durante un año para la finca Galilea.

Figura 2.9 Distribución de frecuencias relativas y ley de Weibull



Nombre de la fuente: ENAIR

Histograma de los valores de velocidad de viento en m/s más constantes de la zona, mostrando por cada velocidad de viento los valores Weibull y las medias de Weibull. Representación gráfica de cómo se reparte el historial de vientos anualmente.

La grafica 2-9 muestra la función de densidad de probabilidad de Weibull de la velocidad del viento en el sitio de estudio, con factor de tamaño **K=1.039** y factor de escala **C=4.96 m/s**.

2.5.4 Análisis del potencial eólico disponible

Tomando en cuenta que una masa del aire m con velocidad v posee una energía cinética E_c que viene dada por:

Ecuación (10). Energía cinética.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (10)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

El caudal másico de aire \dot{m} de densidad (ρ) que fluye a través de una superficie de área (A) perpendicular a la dirección de flujo, la encontramos en la ecuación:

Ecuación (11). Caudal másico.

$$\dot{m} = \rho Av \quad (11)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

La potencia disponible (P_d) asociada al caudal del aire que atraviesa esta sección es:

Ecuación (12). Potencia disponible.

$$P_d = \frac{1}{2}\dot{m}v^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (12)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

Se define la densidad de potencia o potencia por unidad de área:

Ecuación (13). Densidad de potencia por unidad de área.

$$\frac{P_d}{A} = \frac{1}{2}\rho v^3 \quad (13)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

La densidad de potencia depende linealmente de la densidad del aire. La expresión aproximada se puede utilizar para calcular la densidad en función de la temperatura y la altitud sobre el nivel del mar, Villarrubia López, 2013^a

Ecuación (14). Densidad del aire

$$p = 1.225 \left(\frac{288}{t+273} \right) e^{-\left(\frac{h}{8435}\right)} \quad (14)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

Donde:

- p es la densidad del aire Kg/m³
- t es la temperatura en grados centígrados (°C)
- h es la altura sobre el nivel del mar (m)

El potencial eólico disponible de una ubicación también se define como la potencia eólica promedio por unidad de área durante un cierto período de tiempo asumiendo una densidad de aire constante.

Ecuación (15). Potencial eólico disponible en función de la V_m cúbica y de la V_m .

$$\bullet \quad \frac{\langle P_d \rangle}{A} = \frac{1}{2} p \langle V^3 \rangle = \frac{1}{2} p F_e \langle V \rangle^3 \quad (15)$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

Para el cálculo de la potencia disponible utilizamos la ecuación (15).

$$\frac{\langle P_d \rangle}{A} = \frac{1}{2} p F_e (v)^3$$

Nombre de la fuente: (Villarrubia López, 2013a)

Para determinar la densidad de aire se utiliza la ecuación (14) y reemplazando valores obtenemos el siguiente resultado.

$$p = 1.225 \left(\frac{288}{22^\circ c + 273} \right) e^{-\left(\frac{990}{8435}\right)}$$

$$p = 0,9792 \frac{Kg}{m^3}$$

Para determinar la velocidad media se reemplazan en la ecuación (7) los valores de $C = 4.96$ m/s y $K= 1.039$

$$\langle v \rangle = c\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$

$$(v) = 4.96\Gamma \left(1 + \frac{1}{1,039} \right)$$

$$(v) = 4.96\Gamma(1.96)$$

Utilizando la tabla de distribución de gamma del libro (Villarrubia López, 2013a) para el valor de 1.96 obtenemos.

$$(v) = 4.96 (0,98374)$$

$$(v) = 4,87 \frac{m}{s}$$

Factor de energía (F_e), se reemplazan los valores en la ecuación (9)

$$F_e = \frac{\langle v^3 \rangle}{\langle v \rangle^3} = \frac{\Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right)}{\Gamma^3 \left(1 + \frac{1}{k} \right)}$$

$$F_e = \frac{\Gamma \left(1 + \frac{3}{1,039} \right)}{\Gamma^3 \left(1 + \frac{1}{1,039} \right)}$$

$$F_e = \left(\frac{\Gamma(3,88)}{\Gamma^3(1,96)} \right)$$

$$F_e = 2,93 \left(\frac{\Gamma(1,88)}{\Gamma^3(1,96)} \right)$$

$$F_e = \frac{2,88(0,95507)}{(0,98347)^3}$$

$$F_e = 2.89$$

Reemplazando los valores obtenidos en $\rho = 0,9792 \text{ Kg/m}^3$, $(V) = 4,87 \text{ m/s}$ y $F_e = 2.89$ en la ecuación 12 se tendrá lo siguiente:

$$\frac{(P_d)}{A} = \frac{1}{2} \rho F_e (v)^3$$

$$\frac{(P_d)}{A} = \frac{1}{2} (0,9792) (2,89)(4,87)^3$$

$$\frac{(P_d)}{A} = 163.4 \frac{W}{m^2}$$

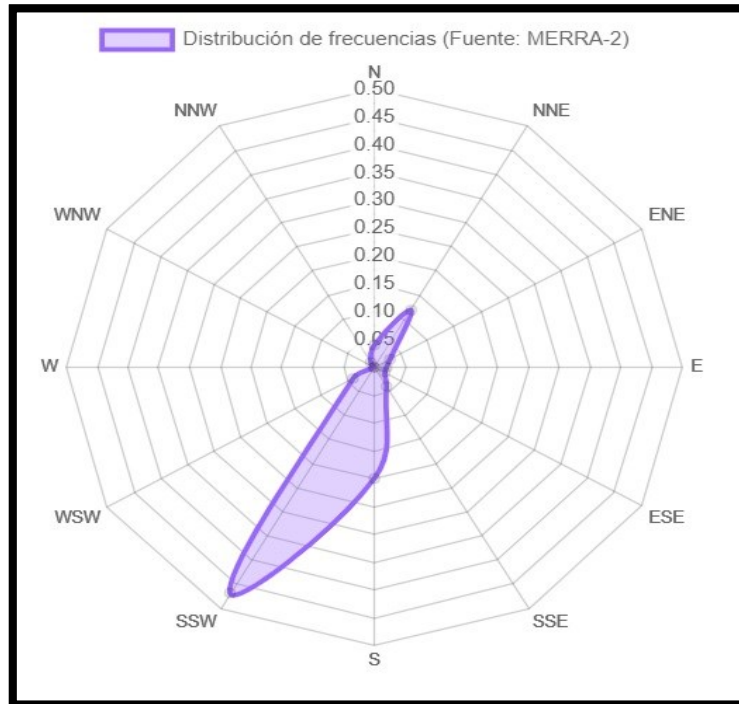
Utilizando la ecuación 12 se obtiene un resultado de 163.4 W/m^2 . Esto nos indica la cantidad de energía que tiene el viento por unidad de área, este valor es importante a la hora de calcular la cantidad de energía que produce el generador a seleccionar.

2.5.5 Rosa de los vientos finca Galilea

La rosa de los vientos es una representación gráfica comúnmente usada en el estudio de viento y consiste en un diagrama polar en el cual se definen para diferentes direcciones o rumbos distintos, valores relacionados con la velocidad y dirección del viento.

La rosa de los vientos permite representar las direcciones dominantes de los vientos. En general, no coincide la dirección dominante con la mayor intensidad del viento ya que en muchos casos los vientos más intensos no son los que soplan más horas al año procedentes de una determinada dirección. Este es un aspecto importante a tener en cuenta para una correcta colocación de los aerogeneradores. (Villarrubia López, 2013b)

En la figura 2.10 se muestra la rosa de los vientos para la finca galilea, la dirección predominante del viento es desde SSW, datos arrojados por el software de simulación de viento del fabricante de aerogeneradores ENAIR

Figura 2.10 Rosa de los vientos

Nombre de la fuente: MERRA-2, ENAIR

Este dato es muy relevante puesto que nos indica la dirección SSW desde la cual el viento sopla en la mayor de las veces, con esto podemos evaluar en campo si hay algún obstáculo que puede afectar a futuro como es el ejemplo de un árbol o la proyección de alguna construcción en ese sentido.

2.5.6 Selección del aerogenerador

El fabricante de turbinas eólicas ENAIR ofrece un gran catálogo de equipos de diferentes tipos, potencias, usos y precios. Para la selección de la turbina se toma en cuenta la velocidad de arranque del sistema, considerando que la marca antes mencionada posee turbinas con velocidad de arranque desde los 2 m/s.

Además de la velocidad de arranque, también se tiene en cuenta los datos anteriores entregados por el software ENAIR y los recogidos en la finca Galilea, como lo son temperatura ambiente promedio, presión atmosférica, humedad, radiación solar.

El valor máximo de velocidad de viento para el año 2017 se registró en el mes de Julio con una velocidad de 32 m/s durante una noche de lluvia, éste valor está muy por debajo de la máxima velocidad a la cual los aerogeneradores de la marca logran la supervivencia.

Según el fabricante ENAIR el aerogenerador que se ajusta a estos requerimientos es el minieólica E70 PRO, equipo que posee las siguientes características.

Figura 2.11 Ficha técnica de aerogenerador

Desglose técnico de la serie Enair 70PRO punto por punto	
Características	Tipo de valores
Número de palas	3
Material palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250rpm nominales imanes de neodimio
Potencia	5500W
Potencia nominal	4000W (IEC 61400-2)
Tensión	24 / 48 / 220V
Clase de viento	CLASS I / IEC 61400-2 / NVN I - A
Diámetro	4,3m
Sentido de giro	Horario
Area de barrido	14,5m²
Peso	165Kg
Aplicaciones	Carga de baterías 24 o 48V y conexión a red
Viento de arranque	2m/s
Velocidad nominal	11m/s
Velocidad regulación del paso variable	12m/s
Velocidad de supervivencia	60m/s

Nombre de la fuente: (ENAIR, 2021)

Ver ficha técnica: anexo 3

La figura 2.13 muestra la ficha técnica del aerogenerador que tiene una velocidad de arranque de 2 m/s y su potencia nominal la alcanza a los 11 m/s, es de tipo horizontal, tripala y tiene la capacidad de cambiar el ángulo de ataque de sus palas para frenar en

caso de exceso de velocidad de viento, se puede seleccionar la configuración del generador según el inversor a utilizar si es de 24, 48 o 220v entregando tensión en DC o AC

Recordemos que el sistema eólico debe entregar como mínimo 600 kW/h de energía al mes para satisfacer junto al sistema solar el 60% del total de la energía de la finca. Según ENAIR el aerogenerador en los meses de junio, julio y agosto podrá suplir esta energía, quedando por fuera los restante 9 meses del año.

Figura 2.12 Energía entregada por aerogenerador seleccionado

Producción eólica en kWh														Anual
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Average	
Wind speed (m/s)	2.8	3.2	3.3	3.7	4.4	5.6	5.8	5.4	4.8	3.4	2.7	2.8	4.0	3993 kWh/year
kWh/day	2.9	4.5	4.9	7.1	12.0	24.7	26.3	22.2	15.6	5.2	2.6	3.2	10.9	
kWh/month	90	127	151	213	373	741	815	687	468	162	79	98	333	

Nombre de la fuente: (ENAIR, 2021)

En la tabla 2.14 se observa mes a mes la producción de energía del aerogenerador, se reflejan 9 meses al año donde no entrega la energía suficiente, siendo enero y noviembre los meses de menor producción con valores de 90kW/h y 79kW/h de energía.

Con ésta incidencia tan variable que se tiene del viento en cada mes del año, se puede descartar la posibilidad de un sistema netamente eólico para esta zona, puesto que aunque se tienen meses de muy buena producción de energía como es el caso de Julio que hay valores por arriba de 800 kW/h de energía, hay otro meses con valores muy bajos como es el caso de noviembre que apenas alcanza la cifra de 80 kW/h, es decir un 10% de producción de energía de un mes respecto a otro.

Aún no se logra deducir si el sistema eólico funciona bien en conjunto con el sistema solar puesto que está por verse los costos de implementación y el valor que cuesta producir unitariamente la energía según su fuente de generación.

2.5.7 Selección de inversor para aerogenerador DC/AC

Al igual que sucede con el sistema solar, para calcular el inversor del sistema eólico se deben tener en cuenta varios factores. El primero, la tensión de la instalación, que en este caso se puede seleccionar a 24V ,48V o 220V, la entrada del inversor debe admitir esta tensión. Normalmente estos aparatos permiten un intervalo de tensiones, el segundo es, la potencia simultanea de todos los elementos de consumo. Se debe escoger un equipo que soporte toda la potencia y que además permita los picos de potencia que absorben cargas inductivas como por ejemplo los motores, pero este valor no es tan relevante ya que será un sistema conectado a la red y la potencia faltante es entregada por esta, finalmente se escoge un factor de seguridad del 20% o 30% según preferencia del usuario.

Como la potencia máxima demandada por la instalación del sistema eólico es de $p = 5 \text{ kW}$ teniendo en cuenta un factor de seguridad recomendado del 20% da un valor de 6 kW, Se consulta en la marca del inversor solar y comercialmente está el inversor Fronius Primo 6 KVA 208-240 WebService que cumple con las condiciones de operación de tensión y corriente que entrega el aerogenerador. (*Fronius International, 2021*)

Figura 2.13 Datos técnicos de inversor aerogenerador

DATOS DE SALIDA	
Potencia máxima de salida a 240 V	6000 VA
Potencia máxima de salida a 208 V	6000 VA
Configuración de salida	1- NPE 208 / 240 V
Rango de frecuencia	45 – 66 Hz
Frecuencia nominal de operación	60,0 Hz
Distorsión armónica total	< 5 %
Rango de factor de potencia	0,85 – 1 Ind./cap.
Máxima corriente de salida continua a 240 V	25,0 A
Máxima corriente de salida continua a 208 V	28,8 A
Capacidad del interruptor de OCPD/AC 240 V	35 A
Capacidad del interruptor de OCPD/AC 208 V	40 A
Eficiencia Máxima	96,9 %
Eficiencia CEC a 240 V	96,0 %
Eficiencia CEC a 208 V	96,0 %

Nombre de la fuente: (*Fronius International, 2021*)

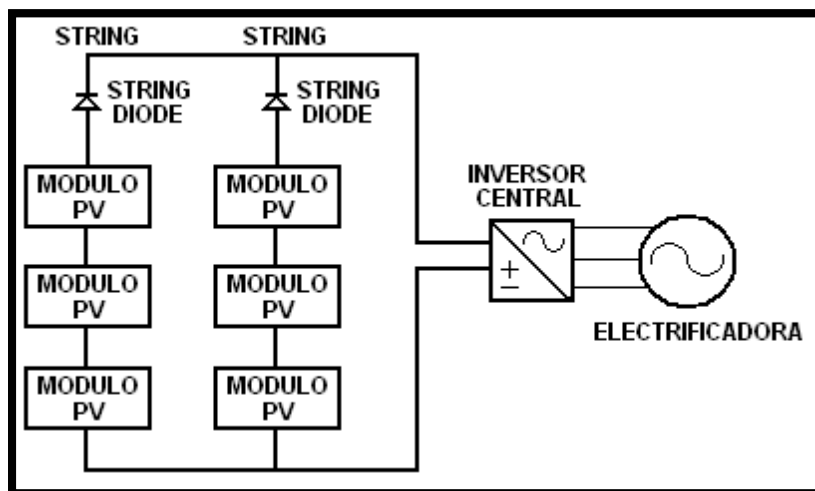
La figura 2.15 muestra los datos técnicos del inversor seleccionado para el aerogenerador, se encuentra dentro del rango de operación del donde su nivel de tensión es de 220 V DC y entrega una potencia máxima de 6 kW.

2.6 Conexión de inversor a la red

La conexión de un sistema fv a la red eléctrica está dada por la cantidad de energía que se desea inyectar lo cual se refleja en la cantidad de módulos con los que se cuenta. Varios módulos conectados en serie son conocidos como una cadena o *string* y varios *string* conectados en paralelo constituyen un arreglo PV Debido a que el voltaje generado por el arreglo PV es de tipo dc se requiere de un inversor que permita acondicionar el voltaje generado a un nivel ac.

Con el fin de incrementar la potencia entregada a la red y mejorar la eficiencia del sistema, el inversor puede contener un MPPT, el cual censa la señal de corriente entregada por el arreglo PV y busca maximizar la potencia entregada por los mismos.

Figura 2.14 Conexión inversor a la red con inversor central

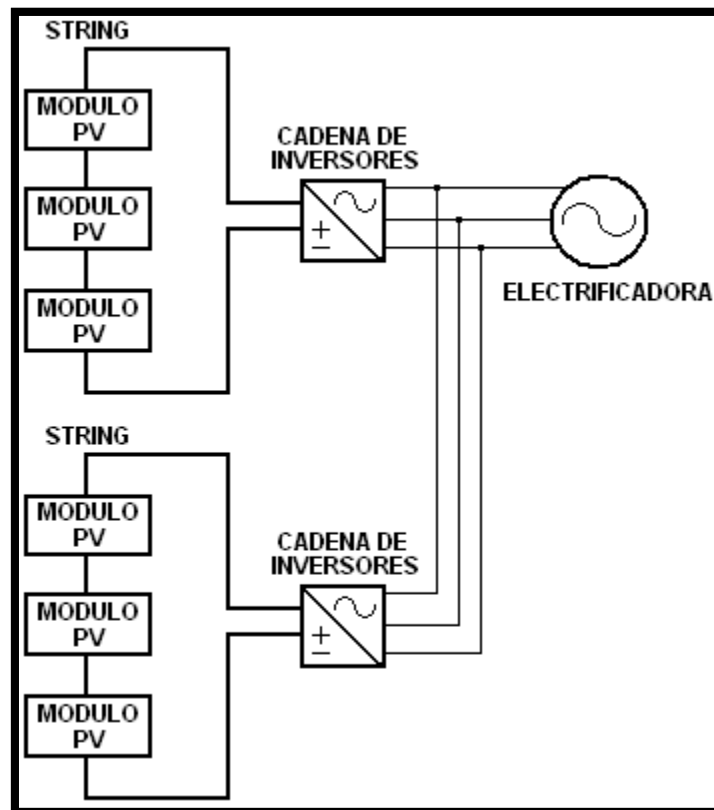


Nombre de la fuente: Escobar Mejía, 2018

En la Figura 2.14 se presenta una de las primeras conexiones empleadas para la conexión de estos módulos a la red eléctrica. Dicho esquema tiene como ventaja su bajo costo ya que solamente se requiere de un inversor para la conexión a la red. La principal desventaja es que el inversor debe ser de gran robustez debido a que se debe elevar el voltaje para garantizar una adecuada conexión a la red. (Escobar Mejía, 2018)

En la Figura 2.15 se observan varios módulos PV conectados en serie donde cada arreglo o *string* es conectado a la red. Dicha conexión es más costosa que la presentada en la Figura 2.14 ya que se requieren más inversores a la salida de cada *string*.

Figura 2.15 Sistema PV con inversor por cada PV *string*

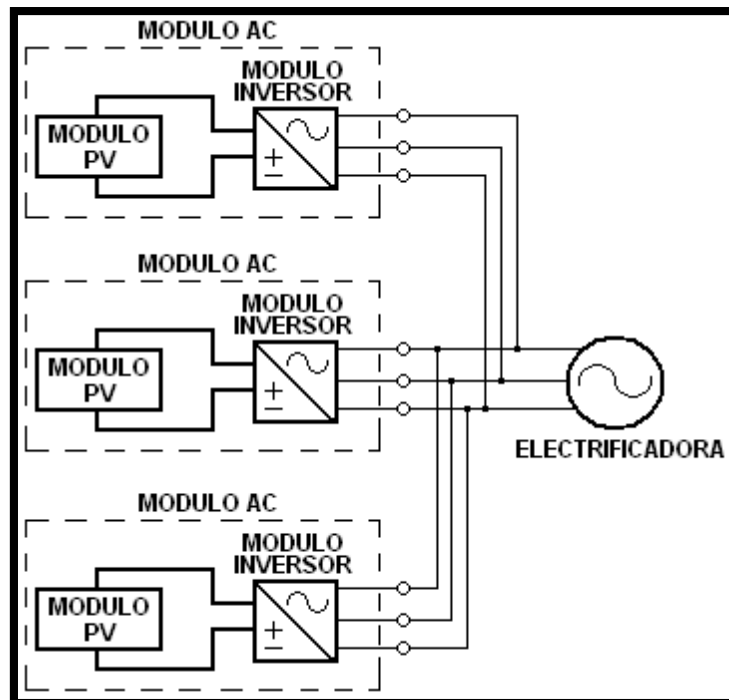


Nombre de la fuente: Escobar Mejía, 2018

En la Figura 2.16 cada arreglo PV tiene su propio inversor lo cual garantiza flexibilidad y estabilidad al sistema. Esta topología permite añadir con facilidad más módulos PV en serie o paralelo a los ya existentes. Con este sistema se mejora también la confiabilidad al

existir respaldo en la generación y en la inversión de energía cuando se presentan fallas en uno o varios módulos. Las pérdidas causadas por variación en el voltaje de los módulos PV son menores debido a que cada inversor se encarga de mantener un voltaje estable a la salida. Su principal desventaja radica en que se incrementa el costo de la inversión inicial dado la cantidad de módulos inversores requeridos (Escobar Mejía, 2018)

Figura 2.16 Sistema PV con inversor por cada módulo



Nombre de la fuente: Escobar Mejía, 2018

Para el sistema híbrido estudiado se selecciona un inversor central para cada unidad de generación, solar y eólica. Esto teniendo en cuenta la recomendación enseñada en la figura 2.14 que permite instalar un solo inversor para el sistema solar y uno para el eólico haciendo el sistemas más económico con la desventaja de tener un porcentaje menor de fiabilidad en caso de alguna falla en el sistema.

2.7 Resumen de capítulo

Los inversores seleccionados tanto del sistema solar como el eólico son de la misma marca y del mismo tipo, con inyección a la red con la opción de parametrizar el sistema de generación para que solo consuma energía de la red y no entregue hacia ella, es decir en un momento que exista generación de energía y no haya consumo, la energía no va a ser entregada a la red. Esto es configurable si el usuario así lo requiere.

Tabla 2-3 Energía generada por cada sistema

Energía generada kW/h mes		
Mes	Eólico	Solar
enero	90	1555,5
febrero	127	1493,28
marzo	151	1389,58
abril	213	1327,36
mayo	373	1431,06
junio	741	1254,77
julio	815	1399,95
agosto	687	1368,84
septiembre	468	1669,57
octubre	162	1545,13
noviembre	79	1441,43
diciembre	98	1420,69

Nombre de la fuente: Autor

Se espera que el sistema híbrido genera 2000 kW/h mes de energía donde 1.400 kW/h mes provenga del sistema solar y 600 kW/h mes del sistema eólico, la tabla 2-3 muestra un estimado de la producción de energía por cada sistema mes a mes y se observa un comportamiento poco favorable para el sistema eólico comparado con el sistema solar.

Se aprecia la estabilidad que tiene el sistema solar al entregar la cantidad de energía necesaria cada mes, cosa que no ocurre con el sistema eólico donde su entrega de energía es muy variable, haciendo de éste sistema poco fiable en el lugar de instalación si se instalaran por separado.

Tabla 2-4 Energía entregada por el sistema híbrido

Energía generada kW/h mes	
Mes	Híbrido
enero	1645,5
febrero	1620,28
marzo	1540,58
abril	1540,36
mayo	1804,06
junio	1995,77
julio	2214,95
agosto	2055,84
septiembre	2137,57
octubre	1707,13
noviembre	1520,43
diciembre	1518,69
Total Anual	1775,096667

Nombre de la fuente: Autor

La tabla 2-4 muestra la energía entregada por el sistema híbrido, se observa que no entrega los 2000 kW/h mes de energía para el cual fue proyectado, esto se debe principalmente al sistema eólico que no es suficiente para entregar la energía correspondiente.

El sistema solar y eólico deberán ser instalados en un lugar abierto y con suficiente espacio sin estar cercano a obstáculos que puedan interferir en la producción de energía, se recomienda al propietario utilizar el tejado de la vivienda para la instalación de los paneles solares ya que éste es un espacio que generalmente no tiene ocupación alguna, además ayuda a absorber la energía calorífica que incide sobre la vivienda haciéndola un par de grados más fresca y dar un toque estético a la construcción.

Para el generador eólico, éste puede ser instalado en una torre de 15 metros que esté perfectamente anclada al suelo y sea de fácil acceso para verificación técnica, es de suma importancia que desde la dirección del viento predominante “SSW” no exista obstrucción alguna como es el ejemplo de algunos árboles que pueden interferir en el paso del viento y por ende disminuir la producción de energía.

3. Capítulo 3 Análisis del proyecto

El capítulo anterior 2 se profundiza en tema de cálculo y selección de equipos, para este capítulo se resumen los datos obtenidos y así poder tener una mejor comprensión, se muestra la relación costo beneficio del sistema y el retorno de la inversión en meses.

3.1 Análisis técnico

El sistema de estudio, busca mezclar 2 fuentes de energía, además de estar interconectado a la red, para ellos se deben tener en cuenta algunos lineamientos establecidos en la ley 1715 de 2014 y la resolución 030 de la CREG de 2018. Estos requisitos tienen como objetivo la organización y promoción de pequeñas instalaciones en viviendas y empresas para su autoconsumo.

Según el recibo de energía eléctrica de la finca Galilea que puede ser consultado en la página web del distribuidor de red www.electrohulla.com.co con código 243336523 el nivel de tensión al que se encuentra conectado es de tipo residencial número 1 y transformador propio con una potencia de 15 kVA.

Según el artículo 5 de la resolución 030 de la CREG que habla sobre los estándares técnicos de disponibilidad del sistema en el nivel de tensión 1, en el primer apéndice dice puntualmente que el sistema o sumatoria de sistemas que entreguen energía a la red debe ser igual o menor al 15% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde se solicita el punto de conexión si es de la empresa prestadora del servicio o hasta el 100% de la capacidad nominal si es de uso propio, esto quiere decir que la sumatoria del sistema está limitado a un máximo de 15 kVA que es la potencia del transformador de la finca Galilea de uso propio.(030 CREG, 2021)

Para poder entrar en el mercado de los autogeneradores de pequeña escala del Sistema Interconectado Nacional hay que hacer la modificación del transformador de la finca galilea, que cuente con una potencia mínima de la suma de las 2 fuentes de energía “15

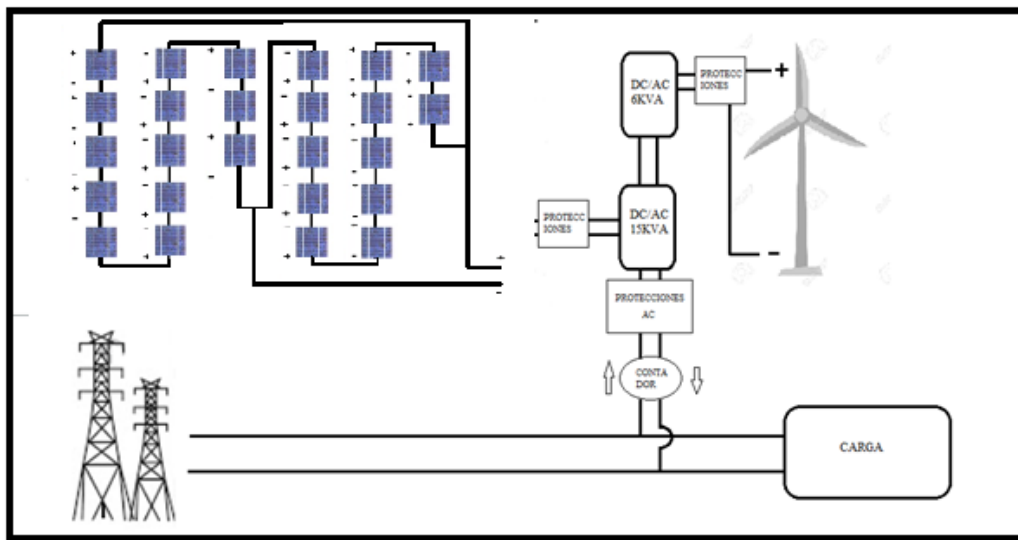
kW de la energía solar y 6 kW de energía eólica” un promedio de 21 kW de potencia tendría que tener el transformador para que cumpla con uno de los requerimientos técnicos básicos que exige la CREG.

En el parágrafo 1 del artículo 5 habla que en caso de que los autogeneradores de pequeña escala estén interconectados a la red pero limiten su sistema a la no entrega de excedentes no son sujetos de la aplicación de los límites técnicos de los cuales habla el artículo, se recomienda la configuración de esta forma ya que el cambio de transformador incurre por cuenta del usuario, el sistema puede operar con normalidad sin entregar excedentes a la red para un seguimiento de su funcionalidad.

3.1.1 Esquemas de configuración de sistema híbrido

Se presenta un esquema en la figura 3.1 donde se muestra la forma de instalación de los sistemas y su integración con la Red

Figura 3.1 Esquema de sistema híbrido

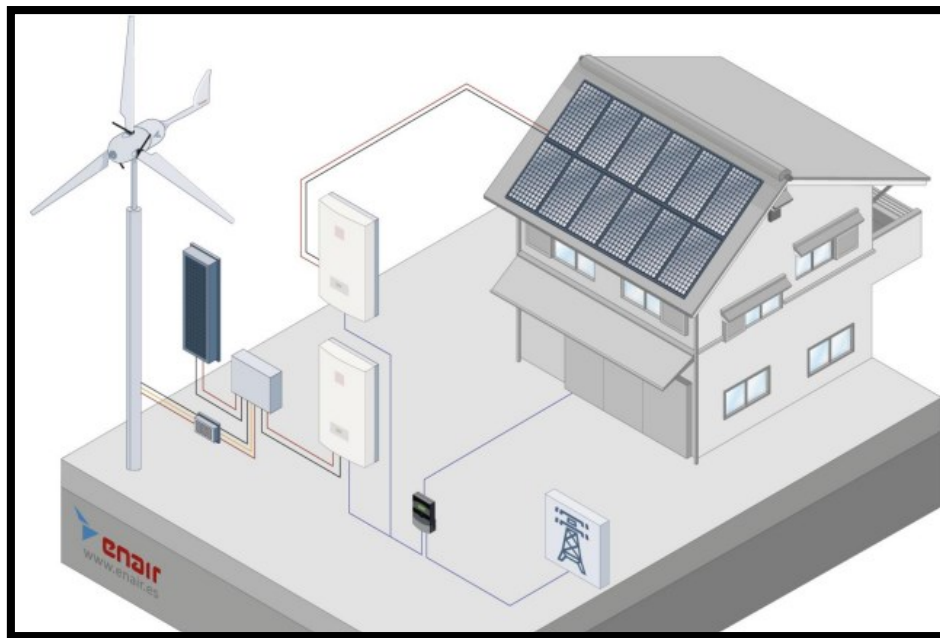


Nombre de la fuente: Autor

Teniendo en cuenta que se tiene 2 fuentes de energía conectada a una sola carga, según Jorge Servan Sócola en su tesis “Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja

potencia eólico solar conectado a la red” se deben conectar los inversores entre sí para su funcionamiento en conjunto, (Servan Sócola, 2021) se designa como maestro al inversor de mayor capacidad proveniente del sistema solar y como esclavo al inversor de menor capacidad proveniente del sistema eólico, como se aprecia en la figura 3.1.

Figura 3.2 Esquema de montaje de sistema

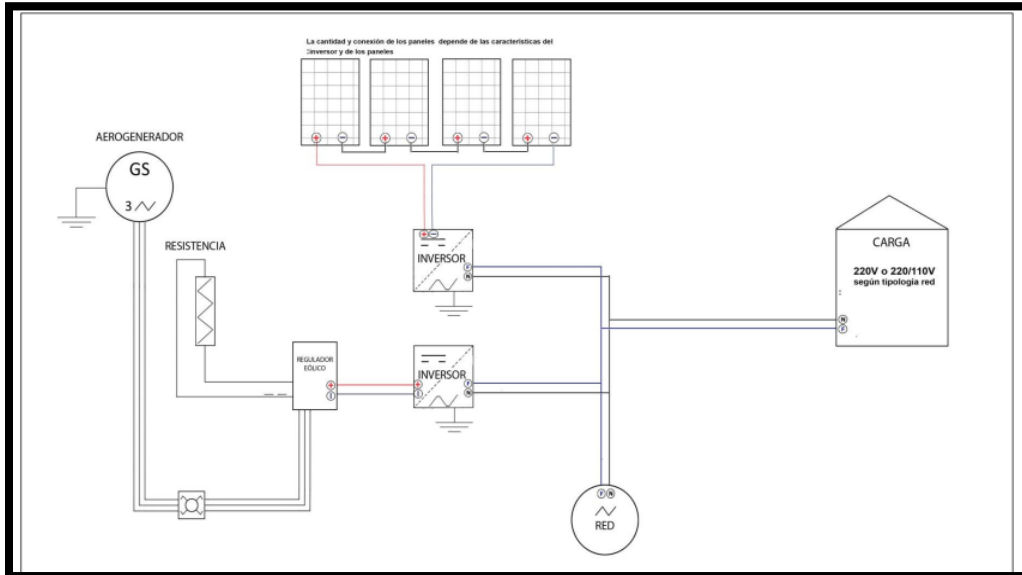


Nombre de la fuente: (ENAIR, 2021)

La figura 3.2 muestra un esquema típico de configuración de un sistema híbrido en el cual el espacio del tejado de una vivienda está siendo utilizado por el sistema solar y en un lugar cercano a esta está instalado el aerogenerador, según ENAIR quien es el fabricante de turbinas eólicas y recomienda estos tipos de sistemas.

Para la instalación del sistema híbrido de la finca Galilea se recomienda el mostrado en la figura 3.2 donde se aprovechan los espacios, además de dar un toque estético a la vivienda.

Figura 3.3 Diagrama unifilar sistema híbrido



Nombre de la fuente: (ENAIR, 2021)

El diagrama unifilar es una forma de representación gráfica sencilla de la conexión del sistema híbrido, donde se muestran los flujos y las relaciones que hay en los componentes del sistema. La figura 3.3 muestra este diagrama.

Para una evaluación del costo del proyecto se tiene el precio de los equipos que interfieren en el sistema, se hicieron consultas y fueron escogidas las mejores propuestas para los equipos que se detallan en el siguiente epígrafe.

3.2 Cotización aerogenerador

En la página Oficial de ENAIR se encuentra el precio base del aerogenerador E70PRO que es de 10.100 Euros, precio que al cambio es de **43.602.760**.

Figura 3.4 Precio del aerogenerador

Aerogenerador E70PRO

Eficiencia de generación y diseño que nos permite generar energía con muy bajo viento y a su vez soportar de forma eficiente la generación de fuertes vientos. Su producción se sitúa en más de 70kWh/día de viento nominal.

PRECIO BASE

Aerogenerador Enair **10100€**
70PRO

Sólo aerogenerador
(no incluye regulador, inversor y resistencias).

Características

Contáctanos

Nombre de la fuente: (ENAIR, 2021)

La figura 3.4 muestra el precio del aerogenerador según el fabricante ENAIR, en la tabla 3-1 es el dispositivo más costoso respecto a los otros allí presentes.

3.3 Cotización del sistema solar

Se hace la cotización del sistema solar a la empresa Energy Falcon, empresa huilense que se especializa en la venta e instalación de esta tecnología, a continuación se muestra el valor correspondiente.

Figura 3.5 Cotización energía solar

SR. DANIEL HENRIQUE ALMARIO	
C.C/Nit:	3204030073
Phone:	N/R
Address:	N/R
City:	Neiva - Huila



ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VR. TOTAL
1	Panel solar Monocristalino 430W	25	\$ 15.050.000
2	Inversor Grid Tied Fronius Symo 15 kW	1	\$ 12.875.000
3	Cable PV XLPE	1	\$ 8.000.000
4	Tubería IMC y Accesorios	1	
5	Estructura Soporte para Panel Solar	66	
6	Instalación	1	
Garantía de (1) Años sobre el SSFV Incluye contador bidireccional, sistema de monitoreo			SUBTOTAL \$ 35.925.000
			IVA \$ 0
			TOTAL \$ 35.925.000

Validez de la Propuesta: 30 días calendario.

Tiempo de entrega: Max. 16 Semanas a partir del recibo del primer abono.

Condiciones de pago:

1. PRIMER ABONO: 50% Anticipo con la firma del Contrato.
2. SEGUNDO ABONO: 50% Por avance de obra.

Se incluyen pólizas de buen manejo de anticipo & Cumplimiento del contrato
Pago mediante transferencia a la siguiente cuenta bancaria:

DAVIVIENDA
Cuenta de Ahorros Número: 076100757590
A Nombre : Energy Falcon S.A.S.

El costo de implementación del sistema solar total con sus equipos y respectiva instalación es de \$35.925.000 a este valor hay que sumarle el de sistema eólico.

3.4 Análisis financiero del proyecto

Tabla 3-1 Costo unitario

Costos sistema de generación de energía híbrido

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
1	Panel solar monocristalino de 430W	25	\$ 602.000,00	\$ 15.050.000,00
2	Inversor de 15 kW	1	\$ 12.875.000,00	\$ 12.875.000,00
3	Inversor de 6 kW	1	\$ 6.200.000,00	\$ 6.200.000,00
4	Aerogenerador E70 PRO 5,5 kW	1	\$ 44.581.670,00	\$ 43.602.760,00
5	Materiales y mano de obra para instalación de paneles solares y aerogenerador	1	\$ 15.000.000,00	\$ 15.000.000,00

Nombre de la fuente: Autor

Este es el proceso donde se analiza la factibilidad de un proyecto. Tomando como base los recursos económicos que tenemos disponibles y el coste total del proceso de producción.

Tiene como finalidad deducir la viabilidad de un proyecto en términos de rentabilidad económica. Aquí evaluaremos tres variables VPN (Valor presente neto), TIR (Tasa de Interés de Retorno) y el IR (índice de Rentabilidad).

3.4.1 Costos del sistema híbrido, su instalación y mantenimiento.

Los costos, son los gastos económicos para la producción de un producto o la oferta de un servicio. Los costos incluyen, pero no se limitan a, la compra de suministros, el pago de mano de obra, costos de producción y costos de mantenimientos y todo aquel recurso económico que afecte un proyecto. (Padilla, 2013)

Tabla 3-2 Costos del sistema híbrido.

Detalle del Costo	Valor Costo
Aerogenerador e Inversor	10100 Euros (\$ 43.602.760) con un valor del dólar de \$4.317 pesos) + 6.200.000 = \$ 45.802.760
Paneles solares e Inversor	\$ 27.925.000
Instalación (Mano de obra, traslado y Componentes Eléctricos)	\$ 15.000.000
Mantenimiento cada 2 años	Es el \$ 1.474.855 es el valor de 2% del valor del sistema

Nombre de la fuente: Autor

En la tabla 3-2 encontramos el valor del sistema híbrido y sus componentes de instalación en pesos colombianos, el valor del mantenimiento de determina con el cálculo del 2% del valor del sistema instalado y se tomara cada dos años.(Padilla, 2013)

Tabla 3-3 Consumo de energía en la finca y precio

Precio kW/h	Consumo mes kW/h	Consumo anual kW/h
\$ 570	3239	38868
	Total, año en pesos	\$ 22.154.760

Nombre de la fuente: Autor

Tabla 3-4 Producción de energía del sistema híbrido.

Precio kW/h	Producción al mes kW/h	Producción anual kW/h
\$ 570	2000	24000
	Total de ahorro al año	\$ 13.680.000

Nombre de la fuente: Autor

Para determinar la viabilidad del proyecto, se realiza el análisis financiero del mismo donde se calcula las variables VPN, TIR e IR. Se calculó a un periodo de 10 años de flujos netos de efectivos con una tasa de interés de 10%. (Padilla, 2013) Los ingresos son precios de la energía que dejaría de pagar a la prestadora del servicio de energía, en este caso la empresa Electrohuila del departamento del Huila.

Tabla 3-5 Análisis financiero del sistema híbrido

Datos	Inversión inicial	88.727.760,00		
	Tasa de descuento	10%		
Periodo años	Ingreso	Egreso	Flujo de Efectivo Neto	Valor Presente
0			-\$ 73.742.760,00	-\$ 73.742.760,00
1	\$ 13.680.000,00		\$ 13.680.000,00	\$ 12.436.363,64
2	\$ 13.680.000,00	\$ 1.774.555,00	\$ 11.905.445,00	\$ 9.839.210,74
3	\$ 13.680.000,00		\$ 13.680.000,00	\$ 10.277.986,48
4	\$ 13.680.000,00	\$ 1.774.555,00	\$ 11.905.445,00	\$ 8.131.579,13
5	\$ 13.680.000,00		\$ 13.680.000,00	\$ 8.494.203,70
6	\$ 13.680.000,00	\$ 1.774.555,00	\$ 11.905.445,00	\$ 6.720.313,33
7	\$ 13.680.000,00		\$ 13.680.000,00	\$ 7.020.003,06
8	\$ 13.680.000,00	\$ 1.774.555,00	\$ 11.905.445,00	\$ 5.553.977,96
9	\$ 13.680.000,00		\$ 13.680.000,00	\$ 5.801.655,42
10	\$ 13.680.000,00	\$ 1.774.555,00	\$ 11.905.445,00	\$ 4.590.064,43
Valor Presente De La Suma De Flujos Netos				\$ 78.865.357,87
Valor Presente Neto (VPN)				\$ 5.122.597,87
Tasa De Interés De Retorno (TIR)			13%	12%
Índice De Rentabilidad Razón Beneficio/Costo (IR)				1,07

Nombre de la fuente: Autor

El flujo neto se lo obtiene al sumar todos los ingresos y restar los egresos. Con el valor de los ingresos y egresos se puede obtener el flujo neto de efectivo de cada período:

El IR se calcula, hallando la suma de los beneficios descontados (valor consumo energía anual estimado), traídos al presente, y se divide sobre la suma de los costos, (Villeda, 2020). Para determinar la aceptabilidad del trabajo, se debe tener en cuenta el siguiente:

- $IR > 1$ indica que los beneficios superan los costes, por consiguiente, el proyecto debe ser considerado.
- $IR=1$ Aquí no hay ganancias, pues los beneficios son iguales a los costes.
- $IR < 1$, muestra que los costes son mayores que los beneficios, no se debe considerar

Como se evidencia en la tabla 3-5, el valor del **IR = 1,07**, lo que indica que los beneficios superan los costos y el trabajo debe ser considerado

Se calcula que entre el año 9 y 10 se tenga el retorno total de la inversión. El resultado obtenido en la TIR es otro de los parámetros que ayuda a decidir si el proyecto es factible o no. Este resultado indica que el proyecto es rentable en un 12%, lo que quiere decir que representa utilidades y es factible tanto técnico como económicamente hacerlo.

Se calcula el precio unitario del coste de producción de energía por cada sistema para tener un comparativo del sistema eólico vs el sistema solar en un periodo de 1 mes.

Tabla 3-6 Análisis del costo unitario Eólico vs solar.

	Costo	Instalación	Total
Eólico	\$ 45.802.760	\$ 7.500.000	\$ 53.302.760
Solar	\$ 27.925.000	\$ 7.500.000	\$ 35.425.000
	Solar kW/h mes	Eólica kW/h mes	
Producción Energía	1400	333	
Precio unitario de kW/h	<u>\$ 160.068</u>	<u>\$ 25.304</u>	

Nombre de la fuente: Autor

La tabla 3-6 muestra el comparativo del costo unitario de producción de energía teniendo en cuenta el periodo de un mes y el coste de instalación para cada sistema, se aprecia que el sistema eólico es 6.32 veces más costoso que el sistema solar.

Esto quiere decir que el sistema híbrido como tal es viable tanto técnico como económicamente con una observación, es mucho más rentable establecer un sistema de generación de energía netamente solar.

A continuación se evaluarán los sistemas de forma independiente para hacer un comparativo y tener una conclusión más precisa.

Tabla 3-7 Análisis financiero del sistema solar

		Inversión inicial 35.425.000,00		
Datos	Tasa de descuento	10%		
Periodo años	Ingreso	Egreso	Flujo de Efectivo Neto	Valor Presente
0			-\$ 36.133.500,00	-\$ 36.133.500,00
1	\$ 9.576.000,00		\$ 9.576.000,00	\$ 8.705.454,55
2	\$ 9.576.000,00	\$ 708.500,00	\$ 8.867.500,00	\$ 7.328.512,40
3	\$ 9.576.000,00		\$ 9.576.000,00	\$ 7.194.590,53
4	\$ 9.576.000,00	\$ 708.500,00	\$ 8.867.500,00	\$ 6.056.621,82
5	\$ 9.576.000,00		\$ 9.576.000,00	\$ 5.945.942,59
6	\$ 9.576.000,00	\$ 708.500,00	\$ 8.867.500,00	\$ 5.005.472,57
7	\$ 9.576.000,00		\$ 9.576.000,00	\$ 4.914.002,14
8	\$ 9.576.000,00	\$ 708.500,00	\$ 8.867.500,00	\$ 4.136.754,19
9	\$ 9.576.000,00		\$ 9.576.000,00	\$ 4.061.158,79
10	\$ 9.576.000,00	\$ 708.500,00	\$ 8.867.500,00	\$ 3.418.805,12
Valor Presente De La Suma De Flujos Netos				\$ 56.767.314,70
Valor Presente Neto (VPN)				\$ 20.633.814,70
Tasa De Interés De Retorno (TIR)			13%	22%
Índice De Rentabilidad Razón Beneficio/Costo (IR)				1,57

Nombre de la fuente: Autor

Los ingresos son determinados por el ahorro de energía que se dejaría de pagar por energía en cada año y los egresos equivalen al mantenimiento correspondiente a éste que es el 2% del valor del proyecto cada 2 años.

Como se evidencia en la tabla 3-7, el valor del **IR = 1,57**, lo que indica que los beneficios superan los costos y el trabajo debe ser considerado

Se calcula que entre el año 4 se tenga el retorno total de la inversión. El resultado obtenido en la TIR es otro de los parámetros que ayuda a decidir si el proyecto es factible o no. Este resultado indica que el proyecto es rentable en un 22%, lo que quiere decir que representa utilidades y es factible tanto técnico como económicamente hacerlo.

Tabla 3-8 Análisis financiero del sistema eólico

Datos	Inversión inicial		\$ 53.302.760	
	Tasa de descuento	10%		
Periodo años	Ingreso	Egreso	Flujo de Efectivo Neto	Valor Presente
0			-\$ 53.302.760,00	-\$ 53.302.760,00
1	\$ 2.276.010,00		\$ 2.276.010,00	\$ 2.069.100,00
2	\$ 2.276.010,00	\$ 1.066.055,00	\$ 1.209.955,00	\$ 999.962,81
3	\$ 2.276.010,00		\$ 2.276.010,00	\$ 1.710.000,00
4	\$ 2.276.010,00	\$ 1.066.055,00	\$ 1.209.955,00	\$ 826.415,55
5	\$ 2.276.010,00		\$ 2.276.010,00	\$ 1.413.223,14
6	\$ 2.276.010,00	\$ 1.066.055,00	\$ 1.209.955,00	\$ 682.988,05
7	\$ 2.276.010,00		\$ 2.276.010,00	\$ 1.167.953,01
8	\$ 2.276.010,00	\$ 1.066.055,00	\$ 1.209.955,00	\$ 564.452,94
9	\$ 2.276.010,00		\$ 2.276.010,00	\$ 965.250,42
10	\$ 2.276.010,00	\$ 1.066.055,00	\$ 1.209.955,00	\$ 466.490,03
Valor Presente De La Suma De Flujos Netos				\$ 10.865.835,95
Valor Presente Neto (VPN)				-\$ 42.436.924,05
Tasa De Interés De Retorno (TIR)			13%	-17%

Índice De Rentabilidad Razón Beneficio/Costo (IR)		-1,79
--	--	--------------

Nombre de la fuente: Autor

Si analizamos la tabla 3.8 donde se muestra el análisis financiero que se le da específicamente al sistema eólico, se observan saldos negativos en la tasa de interés de retorno y en el índice de rentabilidad, esto no indicada que en el periodo de 10 años, aún no se ha recuperado la inversión inicial del proyecto por lo cual no es factible su implementación, como se observa en la figura 2.12 el total de la energía entregada al año se estima sea de 3993 kW/h y el ahorro que equivaldría esta energía se calcula en \$ 2.276.010,00 cada año sin tener en cuenta el mantenimiento que equivale al 2% del valor de la inversión.

Si analizamos en conjunto el sistema hibrido calculada en la tabla 3.6 deducimos que el sistema es factible con índices bajos de rentabilidad y retorno de la inversión en un periodo largo, pero si lo hacemos por separado se observa en la tabla 3.7 que el sistema solar es rentable, con buenos índices de rentabilidad y retorno de la inversión a mediano plazo y el sistema eólico no es factible puesto que en 10 años que es el periodo calculado aún no se recuperaría su inversión y el costo de producir éste tipo de energía es hasta 6 veces mayor a producir energía solar.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Se determinó a través del estudio de factibilidad técnico económico del sistema de generación híbrido que la finca Galilea tendría un consumo de energía de 3239 kW/h al mes, teniendo en cuenta todos los electrodomésticos que funcionan en la residencia más el nuevo consumo que se tendrá por el sistema de bombeo a instalar.

Se determinó que el potencial energético de recurso solar de la finca Galilea es de 4.5 kW/h día por m², lo que resulta factible para la utilización de esta tecnología. En cuanto a la potencialidad del recurso eólico se evidenció que la velocidad del viento varía entre 2m/s y 6m/s con un promedio de 4m/s, no siendo óptima para el funcionamiento adecuado del aerogenerador, resultando que, en estas condiciones no es factible la utilización de esta tecnología.

Al hacer el Análisis financiero del proyecto híbrido, se concluye que el sistema es factible con la anotación de tener una baja rentabilidad y un retorno de inversión de 10 años aproximadamente. Al hacer análisis financiero para cada tecnología se determina que el sistema óptimo para la finca galilea es el solar ya que el retorno de inversión es de 4 a 5 años y el índice de rentabilidad es mayor comparado con el sistema eólico, que a los 10 años de evaluado el aún presenta cifras negativas de rentabilidad.

Las celdas solares seleccionadas son monocristalinos de la marca zchinesolar con potencia de 430 Watts cada uno, el Inversor para el sistema solar seleccionado es de la marca Fronius de 15 KVA. Para el sistema eólico se calculó con el aerogenerador de la marca ENAIR de referencia E70PRO con potencia nominal de 5.5 kW que fue el más cercano a las características de viento de la zona, el inversor para el sistema eólico también

se escoge de la marca Fronius de 6KVA y la potencia del inversor se hace teniendo en cuenta la potencia nominal que produce el aerogenerador.

4.2 Recomendaciones

Si observamos el costo unitario de energía de la tabla 3-6 que para el sistema eólico es de \$160.068 y para la energía solar es de \$25.304, llama la atención que aunque el sistema híbrido es factible económicamente a un periodo largo, el precio de producir energía eólica en la finca Galilea es 6,3 veces más costoso que producir energía solar, por ende se recomienda hacer la instalación netamente solar puesto que tendrá un retorno de la inversión más corta y el proyecto podría ser más atractivo económicamente al ser más rentable en un periodo menor que si lo comparamos con el sistema híbrido.

Incentivar y mostrar a la comunidad el estudio para dar a conocer la tecnología en la zona y así iniciar un cambio de pensamiento en quienes buscan formas de ahorrar dinero en energía o se proyectan a ampliar su consumo energético.

Bibliografía

030 CREG. (2021).

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191>

Alvarado, J. (2019). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*. 90.

Atlas de Radiación Solar en Colombia. (s. f.).

Bojacá, E. (2016). *Proyecto de grado presentado para optar al título de Tecnólogo en Electrónica*. 147.

CATTANEO, B. (2018, junio 15). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* [Text]. EU Science Hub - European Commission. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

CELSIA. (2018). Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia. *Celsia - Eficiencia energética*. <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>

El Parque Eólico Jepírachi de EPM reactiva su operación hasta 2023. (s. f.). Recuperado 14 de abril de 2021, de <https://www.epm.com.co/site/el-parque-eolico-jepirachi-de-epm-reactiva-su-operacion-hasta-2023>

ENAIR. (2021). <https://www.enair.es/es/>

EPM | *Empresa de servicios públicos de Medellín y Colombia*. (2010). <https://www.epm.com.co/site/>

Formulación-y-evaluación-de-proyectos.pdf. (s. f.).

Fronius International. (2021). <http://preview.fronius.com/en>

García, V., & Rodrigo, E. (2018). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL INTERCONECTADO A LA RED*. <http://repositorio.digital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/2190>

García-Badell, J. J. (2009). *Cálculo de la energía solar*. IGME.

Gómez, L. M. J., Prins, N. M. A., & López, M. D. R. (2016). Valoración de opción real en proyectos de generación de energía eólica en Colombia. *Revista ESPACIOS* | Vol. 37 (Nº 26) Año 2016. <https://revistaespacios.com/a16v37n26/16372626.html>

Gómez Ramírez, J. (2018). La energía solar fotovoltaica en Colombia: Potenciales, antecedentes y perspectivas. *instname:Universidad Santo Tomás*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10312>

Inicio—Icontec. (2021). <https://www.icontec.org/>

JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)—European Commission. (s. f.). Recuperado 2 de junio de 2021, de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR

Meinel, A. B., & Meinel, M. P. (2014). *Aplicaciones de la energía solar*. Reverte.

Padilla, M. C. (2013). *Formulación y evaluación de proyectos*. Ecoe Ediciones.

Perpiñán Lamigueiro, O. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*.

Perpiñán, Ó., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M.-A. (2012). *Diseño de sistemas fotovoltaicos*. PROGENSA.

Soler, A. C. B., & Tello, I. D. (2018). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA FINCA VILLA CATALINA. *Universidad Libre*, 52. Tesis de pregrado.

UPME. (2020a). <https://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/BECOENERGTICO.aspx>

UPME. (2020b). <https://www1.upme.gov.co/Paginas/default.aspx>

Villarrubia López, M. (2013a). *Ingeniería de la energía eólica*. Alfaomega : Marcombo.

Villarrubia López, M. (2013b). *Ingeniería de la energía eólica [recurso electrónico]*. Alfaomega.

XM. (s. f.). Recuperado 12 de abril de 2021, de <https://www.xm.com.co/Paginas/Consumo/historico-de-demanda.aspx>

XM, I. A. (2020, mayo 20). <http://informesanuales.xm.com.co/>. <http://informesanuales.xm.com.co/2015/SitePages/operacion/2-6-Capacidad-efectiva-neta.aspx>

XX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XX- SPES), Tacna, 11 - 15.11.2013. (2019). 11.

Anexo A: Ficha técnica de panel solar

ZXM6-NH156 Series | Zshinesolar 9BB HALF-CELL Mono PV Module



ELECTRICAL PROPERTIES | STC*

Module Type	ZXM6-NH156-420/M	ZXM6-NH156-425/M	ZXM6-NH156-430/M	ZXM6-NH156-435/M	ZXM6-NH156-440/M	ZXM6-NH156-445/M
Nominal Power Watt Pmax(W)	420	425	430	435	440	445
Power Output Tolerance Pmax(%)	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3
Maximum Power Voltage Vmpp(V)	44.2	44.5	44.8	45.1	45.4	45.7
Maximum Power Current Imp(A)	9.51	9.56	9.60	9.65	9.70	9.74
Open Circuit Voltage Voc(V)	53.0	53.3	53.6	53.9	54.2	54.5
Short Circuit Current Isc(A)	10.06	10.10	10.14	10.18	10.22	10.27
Module Efficiency (%)	19.21	19.44	19.67	19.90	20.12	20.35

*STC (Standard Test Condition): Irradiance 1000W/m², Module Temperature 25°C, AM 1.5
 *The data above is for reference only and the actual data is in accordance with the practical testing

ELECTRICAL PROPERTIES | NMOT*

Maximum Power Pmax(Wp)	312.6	316.2	319.6	323.4	327.1	330.6
Maximum Power Voltage Vmpp(V)	40.9	41.2	41.5	41.8	42.1	42.3
Maximum Power Current Imp(A)	7.64	7.67	7.70	7.74	7.77	7.82
Open Circuit Voltage Voc(V)	49.3	49.6	49.9	50.1	50.4	50.7
Short Circuit Current Isc(A)	8.12	8.16	8.19	8.22	8.25	8.30

*NMOT(Nominal module operating temperature):Irradiance 800W/m²,Ambient Temperature 25°C,AM 1.5,Wind Speed 1m/s
 *The data above is for reference only and the actual data is in accordance with the practical testing

TEMPERATURE RATINGS

NMOT	44°C ±3°C
Temperature coefficient of Pmax	-0.36%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature coefficient of Isc	0.05%/°C

*Do not connect solar in container box with two or more strings in parallel connection

WORKING CONDITIONS

Maximum system voltage	1500 V DC
Operating temperature	-40°C~+85°C
Maximum series fuse	20 A
Maximum load(snow/wind)	5400 Pa / 2400 Pa

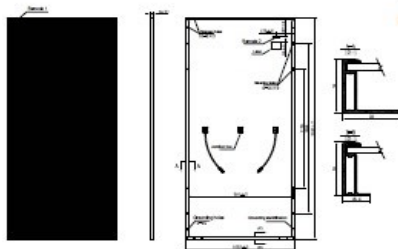
MECHANICAL DATA

Solar cells	Mono 158.75*79.375mm
Cells orientation	156 (6*26)
Module dimension	2182*1002*35 mm
Weight	24 kg
Glass	3.2mm heat strengthened glass
Junction box	IP 68, 3 diodes
Cables	4 mm ² , 350 mm
Connectors	MC4-compatible

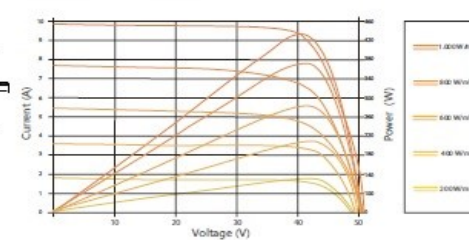
PACKAGING INFORMATION

Packing Type	40' HQ
Pieces/Box	30
Pieces/Container	650/700

DIMENSION OF THE PV MODULE (mm)



I-V CURVES OF THE PV MODULE



Anexo B: Ficha técnica inversor de 15 kW fronius

TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (10.0-3 208/240, 12.0-3 208/240, 10.0-3 480, 12.5-3 480, 15.0-3 208)

GENERAL DATA		10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	10.0-3 480	12.5-3 480	15.0-3 208
Weight		91.9 lbs. / 41.7 kg		76.7 lbs. / 34.8 kg		78.3 lbs. / 35.5 kg
INPUT DATA		10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	10.0-3 480	12.5-3 480	15.0-3 208
Max. permitted PV power		15.00 kW	18.00 kW	15.00 kW	18.75 kW	22.50 kW
Max. usable input current (MPPT 1/MPPT 2)		25.0 A / 16.5 A				50.0 A
Max. usable input current total (MPPT 1 + MPPT 2)		41.5 A				50.0 A
Max. admissible input current (MPPT 1/MPPT 2)		37.5 A / 24.8 A				75.0 A
Max. admissible input current total (MPPT 1 + MPPT 2)		62.2 A	62.2 A	62.2 A	62.2 A	75.0 A (1 MPPT)
Integrated DC string fuse holders <i>Must be specified when ordering</i>		None	None	None	None	Integrated: 6- and 6+
MPP voltage range		300 - 500 V		300 - 800 V	350 - 800 V	325 - 850 V
Operating voltage range		200 - 600 V			200 - 1,000 V	
Max. input voltage		600 V			1,000 V	
Nominal input voltage		208 V	350 V	350 V	N/A	N/A
		240 V	370 V	370 V	N/A	N/A
		480 V	N/A	N/A	675 V	685 V
Admissible conductor size DC		AWG 14 - AWG 6 copper direct, AWG 6 aluminium direct, AWG 4 copper or aluminium with input combiner				
Number of MPPT		2				1
OUTPUT DATA		10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	10.0-3 480	12.5-3 480	15.0-3 208
Max. output power		208 V	9,995 VA	11,995 VA	N/A	N/A
		240 V	9,995 VA	11,995 VA	N/A	N/A
		480 V	N/A	N/A	9,995 VA	12,495 VA
Max. output fault current / Duration		43.1 A RMS / 158.4 ms	43.1 A RMS / 158.4 ms	43.1 A RMS / 158.4 ms	43.1 A RMS / 158.4 ms	67.7 A RMS / 153.0 ms
Max. continuous output current		208 V	27.7 A	33.3 A	N/A	N/A
		240 V	24.0 A	28.9 A	N/A	N/A
		480 V	N/A	N/A	12.0 A	15.0 A
Recommended OCPD/AC breaker size		208 V	35 A	45 A	N/A	N/A
		240 V	30 A	40 A	N/A	N/A
		480 V	N/A	N/A	15 A	20 A
Max. efficiency		97.0 %		97.0 %	98.1 %	98.1 %
CEC efficiency		208 V	96.5 %	96.5 %	N/A	N/A
		240 V	96.5 %	96.5 %	N/A	N/A
		480 V	N/A	N/A	96.5 %	97.0 %
Admissible conductor size AC		AWG 14 - AWG 6				
Grid connection		208 / 240 V	208 / 240 V	480 V Delta +N**		208 V
Frequency		60 Hz				
Total harmonic distortion		< 1.75 %				< 3.5 %
Power factor		0 - 1 ind./cap.				

Anexo C: Ficha técnica aerogenerador ENAIR E70PRO



E70PRO

FICHA TÉCNICA

Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de 11m/s el modelo Enair 70PRO es capaz de generar más de 70kWh/día

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

Numero de palas	3
Material de palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250rpm nominales imanes de neodimio
Potencia	5500W
Potencia Nominal	4000W (según IEC 61400-2)
Tensión	24/48/220V
Clase de viento	CLASS I-IEC 61400-2/NVNI-A
Diámetro	4.30m
Sentido de Giro	Horario
Área de barrido	14.5m ²
Peso	165kg
Aplicaciones	Carga de baterías 24 o 48V y conexión a red
Viento de arranque	2m/s
Velocidad nominal	11m/s
Vel. regulación paso variable	12m/s
Velocidad de supervivencia	60m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a 60m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable pasivo centrífugo con dos vel.
Transmisión	Directa
Freno	- Electromagnético por cortocircuito - Mecánico (opcional) - Aerodinámico mediante paso variable - Manual o automático por viento o por tensión de baterías
Controlador	Carga de baterías y conexión a red
Inversor eólico	Eficiencia 97%, algoritmo MPPT
Ruido	48dB Reducción al mínimo gracias al diseño de las palas y a las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento
Protección anti-corrosión	Hermético, pintura epoxi de secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico
Torre	Celosía, presilla y tubular, abatibles o fijas, altura variable



3.4m



165kg



4.3m

