

GESTIÓN INTELIGENTE DE POTENCIA EFICIENTE PARA UN SISTEMA DE
GENERACIÓN HÍBRIDO EÓLICA Y SOLAR, PARA SUMINISTRAR,
ININTERRUMPIDAMENTE, ENERGÍA A ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL
MUNICIPIO DE GUAPI, DEPARTAMENTO DEL CAUCA.



Luciano Francisco Forero Díaz
Lenin Johan Montilla Manquillo

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería En Automática Industrial
Popayán, Cauca
2023

GESTIÓN INTELIGENTE DE POTENCIA EFICIENTE PARA UN SISTEMA DE
GENERACIÓN HÍBRIDO EÓLICA Y SOLAR, PARA SUMINISTRAR,
ININTERRUMPIDAMENTE, ENERGÍA A ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL
MUNICIPIO DE GUAPI, DEPARTAMENTO DEL CAUCA.



Luciano Francisco Forero Díaz
Lenin Johan Montilla Manquillo

Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero en Automática Industrial

Director:
Magíster, Delio Eduardo Henríquez Cabrera
Codirector:
Doctor, Maximiliano Bueno López

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería En Automática Industrial
Popayán, Cauca
2023

AGRADECIMIENTOS.

Primero que todo le doy gracias a Dios por darme la oportunidad de ir culminando cada plan paso a paso, segundo agradecerle a mi padre y a mi madre por la confianza, por la paciencia, por todos los buenos valores que me han enseñado en el transcurso de mi vida, a mis hermanos, por el apoyo incondicional, a compañeros de la universidad que de algún modo me brindaron su ayuda cuando la solicite, a mi compañero de tesis Francisco Luciano por el apoyo y la confianza que me brindo en la realización de este trabajo, Finalmente al director de tesis, Magister Delio Henríquez, por la confianza, la enseñanza y conocimientos que nos aportó para llevar a cabo la culminación de este trabajo de grado.

Lenin Johan Montilla Manquillo.

Agradezco de corazón a Dios, fuente de toda sabiduría y fortaleza, por su guía constante y por ser mi refugio en momentos de dificultad. Agradezco también a los docentes del programa de Ingeniería en Automática Industrial, que han dejado una huella en mi formación académica, por su dedicación y conocimientos compartidos. Al director del trabajo de grado, Magister Delio Henríquez, le agradezco profundamente por su orientación experta y valiosa, así como por su compromiso en mi desarrollo académico. A mi compañero de trabajo de grado, Lenin Johan Montilla Manquillo, su colaboración, compromiso y trabajo en equipo fueron invaluable, y juntos logramos superar desafíos y alcanzar nuestros objetivos. A mis padres y mis hermanas, les agradezco por su amor incondicional, apoyo incansable y sacrificios. Su constante aliento ha sido fundamental en mi camino académico. A mis amigos y compañeros de clase, les agradezco su amistad, apoyo y motivación constante. Sus palabras de aliento han sido un impulso para superar los desafíos. Por último, a todas las personas que, de alguna manera, han contribuido en este proceso, mi más profundo agradecimiento.

Luciano Francisco Forero Diaz.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	9
Planteamiento del problema.	10
Objetivos.....	12
Objetivo General:.....	12
Objetivos Específicos:	12
CAPÍTULO I.....	13
ZONAS NO INTERCONECTADAS.....	13
1.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS ZNI.	13
1.2. ZONA PACIFICO SUR.....	15
CAPÍTULO II.....	20
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO.....	20
2.1.1 Ubicación.	20
2.1.2. Economía.....	20
2.1.3. Transporte.	21
2.1.4. Energía eléctrica.....	22
2.1.5. Conectividad.	22
2.1.6. Clima.	22
2.1.7. Hidrología.	23
2.2. POTENCIAL DE FUENTES RENOVABLES EN LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO	23
2.2.1 Energía solar.....	23
2.2.2. Energía eólica.....	25
2.3. MARCO NORMATIVO DE LAS FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLES	27
2.4 LOCALIDADES DE MUNICIPIO DE GUAPI QUE ESTÁN EN LAS ZNI.....	28
.....	30
CAPÍTULO III	30
3.1. TECNOLOGÍAS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA.	30
3.1.1. AEROGENERADORES:	30
3.1.2. MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL USO DE LA ENERGÍA EÓLICA:	34
.....	34
3.1.3 SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD.....	39
3.1.4. TIPOS DE ALTERNADORES:	41

3.1.5. PANELES SOLARES:	44
3.1.6 BATERÍAS DE CARGA	46
3.1.7 INVERSORES	47
3.1.7.1 Inversores senoidales.	48
3.1.7.2 Inversores semisenoidales.	48
3.1.7.3 Inversores de onda cuadrada.	48
3.1.7.4 Especificaciones técnicas.	48
3.1.7.5 Compatibilidad entre tipos de inversores y electrodomésticos.	49
3.2. CONMUTADORES DE POTENCIA	49
3.2.1 Descripción de los circuitos de conmutación.	50
3.3. SISTEMA INTELIGENTE DE GENERACIÓN HÍBRIDA.	52
3.2.1 Aerogenerador	58
3.2.2. Panel Solar y baterías	60
CAPÍTULO IV	63
DISEÑO DEL CONMUTADOR DE POTENCIA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA.	63
4.1. Diagrama de bloques de modelo	63
4.2. Implementación del sistema híbrido en Matlab.	63
4.3. Diseño del sistema de gestión de la potencia.	65
CAPÍTULO V	71
SIMULACIÓN DEL SISTEMA, RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	71
5.1 Simulación del comportamiento del conmutador en horas del día.	71
5.2 Simulación del comportamiento del conmutador durante la noche.	72
5.3 Simulación del comportamiento del conmutador durante la madrugada.	74
5.2 Conclusiones.	75
5.3 Trabajos futuros.	77
Referencias	78
ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. REGISTRO ÚNICO DE PRESTADORES DE SERVICIO PÚBLICOS.-----	14
TABLA 2 RANGO HORARIO DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO POR DEPARTAMENTO DICIEMBRE 2021. ELABORACIÓN PROPIA.-----	16
TABLA 3. PROYECTOS FNCER, PERS.-----	17
TABLA 4. PROYECTOS FNCER, IPSE.-----	17
TABLA 5 PROYECTOS FNCER, CCEP.-----	18
TABLA 6 PROYECTOS FNCER, PFP.-----	18
TABLA 7 NORMATIVIDAD DE FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE.-----	27
TABLA 8 LOCALIDADES DEL MUNICIPIO DE GUAPI EN ZNI-----	28
TABLA 9 TIPO DE LOCALIDADES.-----	29
TABLA 10 COMPATIBILIDAD DE LOS TIPOS DE INVERSORES CON LOS EQUIPOS Y ELECTRODOMÉSTICOS COMUNES.-----	49
TABLA 11 ELECTRODOMÉSTICOS VIVIENDA ESTRATO 1-----	52
TABLA 12 REFERENCIA A LA POTENCIA REQUERIDA POR UNA SOLA VIVIENDA-----	53
TABLA 13. CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES SEGÚN HOMER PRO.-----	58
TABLA 14 CARACTERÍSTICAS DEL AEROGENERADOR WINDSIDE (ALIEXPRESS.COM., S.F.)-----	59
TABLA 15. CARACTERÍSTICAS DE LOS PANELES SOLARES.-----	61
TABLA 16. CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS.-----	62

TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 ZONIFICACIÓN DE LAS ZNI. FUENTE SUI 20 DE JUNIO DE 2018	14
ILUSTRACIÓN 2 DISTRIBUCIÓN DE SUSCRIPTORES POR ZONAS.....	15
ILUSTRACIÓN 3 MAPA DE GUAPI, DEPARTAMENTO DEL CAUCA. FUENTE DANE	20
ILUSTRACIÓN 4 ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR. FUENTE IDEAM.	24
ILUSTRACIÓN 5 ATLAS DE VIENTO. FUENTE IDEAM.	26
ILUSTRACIÓN 6 PORCENTAJE DE NÚMERO DE USUARIOS DEL MUNICIPIO DE GUAPI.	29
ILUSTRACIÓN 7 PARQUE EÓLICO DE ULTRAMAR DE THORNTONBACK EN LA COSTA BELGA, MAR DEL NORTE.	31
ILUSTRACIÓN 8 ROTOR SAVONIUS.....	33
ILUSTRACIÓN 9 GENERADOR VERTICAL TIPO DARRIEUS.....	33
ILUSTRACIÓN 10 ROTOR GIROMILL.....	34
ILUSTRACIÓN 11 PROTOTIPO WINDSIDE.....	34
ILUSTRACIÓN 12 POTENCIA VS DIÁMETRO DEL AEROGENERADOR.....	37
ILUSTRACIÓN 13 VELOCIDAD ANTES Y DESPUÉS DEL AEROGENERADOR	37
ILUSTRACIÓN 14 CURVA DE EFICIENCIA BETZ	38
ILUSTRACIÓN 15 ONDA SINUSOIDAL GENERADA EN CADA ENROLLADO DEL ESTATOR.....	41
ILUSTRACIÓN 16. ESQUEMA GENERAL DE UN ALTERNADOR.	41
ILUSTRACIÓN 17 . ALTERNADOR CONECTADO A RED CONTINUA.....	43
ILUSTRACIÓN 18 GENERADOR DE IMÁN PERMANENTE CONECTADO A UNA RED CONTINUA.....	43
ILUSTRACIÓN 19 ROTOR DEL ALTERNADOR DEL E-112	43
ILUSTRACIÓN 20. BATERÍAS DE CARGA	46
ILUSTRACIÓN 21 TIPOS DE INVERSORES.	48
ILUSTRACIÓN 22. CIRCUITOS DE CONMUTACIÓN	51
ILUSTRACIÓN 23. SISTEMA HIBRIDO EN HOMER PRO.....	53
ILUSTRACIÓN 24. UBICACIÓN GUAPI, CAUCA.	54
ILUSTRACIÓN 25. RADIACIÓN SOLAR MENSUAL EN GUAPI.	54
ILUSTRACIÓN 26. VELOCIDAD DE VIENTO MENSUAL EN GUAPI.	55
ILUSTRACIÓN 27. TEMPERATURA MENSUAL EN GUAPI.....	55
ILUSTRACIÓN 28. COSTO TOTAL SISTEMA HIBRIDO EN HOMER PRO.	56
ILUSTRACIÓN 29. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA MENSUAL DEL SISTEMA.	56
ILUSTRACIÓN 30. POTENCIA GENERADA POR LOS PANELES EN HORAS DEL DÍA.....	57
ILUSTRACIÓN 31. POTENCIA GENERADA POR LA TURBINA EN HORAS DEL DÍA.	57
ILUSTRACIÓN 32. POTENCIA ALMACENADA EN LAS BATERÍAS EN HORAS DEL DÍA.....	58
ILUSTRACIÓN 33. PANEL SOLAR (FICHA-TECNICA-AMERISOLAR, S.F.)	61
ILUSTRACIÓN 34. BATERÍAS (FICHA-TECNICA-BATERIA, S.F.).....	62
ILUSTRACIÓN 35 DIAGRAMA DE BLOQUES, GESTIÓN EFICIENTE DE ENERGÍA.	63
ILUSTRACIÓN 36. CURVAS DE POTENCIA VS TIEMPO.....	64
ILUSTRACIÓN 37. SIMULACIÓN DE LA CARGA DE LAS BATERÍAS.	65
ILUSTRACIÓN 38. BLOQUE LÓGICA DIFUSA.....	70
ILUSTRACIÓN 39.MONTAJE COMPLETO EN SIMULINK.	70
ILUSTRACIÓN 40. SIMULACIÓN DE ENTRADAS DE POTENCIA PARA EL CONMUTADOR EN HORAS DEL DÍA (SOLAR Y BATERÍAS).	71
ILUSTRACIÓN 41. SIMULACIÓN DE SALIDAS DEL CONMUTADOR DE POTENCIA EN HORAS DEL DÍA.	72
ILUSTRACIÓN 42.SIMULACIÓN DE ENTRADAS DE POTENCIA PARA EL CONMUTADOR EN LA NOCHE (SOLAR Y BATERÍAS)	73
ILUSTRACIÓN 43.SIMULACIÓN DE SALIDAS DEL CONMUTADOR DE POTENCIA EN LA NOCHE.	73
ILUSTRACIÓN 44. SIMULACIÓN DE ENTRADAS DE POTENCIA PARA EL CONMUTADOR EN LA MADRUGADA (SOLAR Y BATERÍAS)	74

ILUSTRACIÓN 45. SIMULACIÓN DE SALIDAS DEL CONMUTADOR DE POTENCIA EN LA MADRUGADA.....	75
ILUSTRACIÓN 46. PARÁMETROS DEL SISTEMA EN SCRIPT DE MATLAB.	82
ILUSTRACIÓN 47. MODELOS MATEMÁTICOS DE CADA COMPONENTE EN SCRIPT DE MATLAB.....	83
ILUSTRACIÓN 48.DATOS A INGRESAR EN SIMULINK PARA ENTRADAS DE BLOQUE FUZZY.	85
ILUSTRACIÓN 49. CÓDIGO PARA INICIALIZACIÓN DE VARIABLES Y GRAFICAR LAS CURVAS.....	86
ILUSTRACIÓN 50. COTIZACIÓN SISTEMA SOLAR (SOLARTEX.COM, S.F.).	87
ILUSTRACIÓN 51.FICHA TÉCNICA DE LOS PANELES SOLARES.....	88
ILUSTRACIÓN 52. FICHA TÉCNICA DE LAS BATERÍAS.	90

INTRODUCCIÓN.

Con base en el informe de la prestación del servicio de energía eléctrica en las zonas no interconectadas del 2020, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios -SSPD-, a través de la Superintendencia Delegada para Energía y Gas Combustible -SDEGC-, la Dirección Técnica de Gestión de Energía -DTGE- y el Grupo de Zonas No Interconectadas -GZNI-, es posible plantear que, Colombia, en asuntos de distribución de energía eléctrica industrial, cuenta con dos sistemas: el Sistema Interconectado Nacional -SIN- y las Zonas No Interconectadas -ZNI. Las ZNI se encuentran en lugares de difícil acceso, a grandes distancias de la zona rural y no cuentan con vías apropiadas de penetración. Además, carecen de infraestructura física para poder colocar y disponer de generadores eléctricos, para almacenar el combustible como el ACPM, las herramientas, cables y postes para la distribución de dicha energía. Esto hace que esta modalidad, sea difícil y que funcionamiento y mantenimiento de los generadores tengan un alto costo. Esto, en síntesis, representa un gran obstáculo a la hora de obtener energía eléctrica alterna, ya que, por cuestiones políticas nunca se podrá acceder a la red eléctrica nacional. Al enfocarnos en la ZNI de Guapi, Departamento del Cauca que tiene su potencial económico, social y político aplicados a la pesca, a la minería, las maderas y al turismo, si el suministro, ininterrumpido de energía eléctrica se hiciese realidad y fuese eficiente e ininterrumpida, tendrá un efecto directo en la calidad de vida de los habitantes de la zona, porque:

1. Tendrán grandes oportunidades educativas, porque el potencial de Internet permitirá la Educación Virtual primaria, básica y técnica (SENA), es decir un acceso total a las TIC.
2. Un centro de salud con los instrumentos de electromedicina pertinentes que permitan la telemedicina de diagnósticos.
3. La minería que permita no sacar el oro en bruto sino dar inicio a un proceso o mejorar la cadena de producción: adornos de palma con incrustaciones de oro, por ejemplo.
4. Un centro de purificación de agua y un centro de desarrollo turístico: pesca artesanal, deportes acuáticos, buceo para observar la fauna marina y el avistamiento de aves.
5. Las ZNI, requieren una solución energética que sea constante y confiable, brindando a los habitantes de cada una de las regiones el servicio eléctrico a un costo asequible. siendo una gran alternativa para aprovechar energías renovables como la solar y la eólica, según leyes del gobierno. Esto debe ser mencionado porque, si se implementa realmente este proyecto, permitiría un desarrollo comercial importante de la ZNI de Guapi.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Colombia a nivel mundial, por su ubicación geográfica privilegiada, es uno de los países que presenta mayor variedad de climas. Este es un factor positivo cuando se piensa en recursos energéticos, ya que, durante todo el año se tienen buenos niveles de radiación solar y velocidades considerables del viento. Además, debido a su extensión y características topográficas, tiene regiones de difícil acceso. Esta es una de las razones por la que muchas poblaciones no tienen acceso a una red de energía eléctrica, sumado a esto, también debemos considerar el costo tan elevado que implica la interconexión eléctrica y los impactos ambientales que genera la implementación de la infraestructura necesaria para la prestación de servicios.

En el territorio nacional el sector eléctrico es alimentado por la generación de energía hidráulica en un 66% y energía térmica en un 33%. No obstante, el gran potencial del país en nuevas tecnologías de energía renovable (principalmente eólica, solar y biomasa), apenas las están implementando para ser incorporadas al sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica nacional. Las energías renovables se están comenzando a utilizar a nivel mundial. La solar y eólica cumplen con las mismas funciones que las energías convencionales ya conocidas, sin embargo, la gran ventaja que se tiene por encima de estas es que no genera ningún tipo de gases contaminantes que afecten al medio ambiente, ya que, es limpia y renovable (Gallego N. S., 2016). Las energías renovables ofrecen la posibilidad de generar electricidad y calor prácticamente sin emisiones y a bajos precios de operación, de manera sustentable.

En Colombia se cuenta con las Zonas No Interconectadas -ZNI-, las cuales están energéticamente aisladas del resto del territorio nacional (Bustos Gonzalez Juan Felipe, 2014), lo cual implica una afectación en las condiciones de vida de sus habitantes (Manzur, 2011). Las ZNI representan alrededor del 51 % del territorio nacional, donde se encuentra el 79 % de la población rural, 17 departamentos, 5 capitales, 39 cabeceras y 112 municipios (Ipse, 2020.). Es conocido que, para tener un mejor estilo de vida es indispensable poder contar con un buen fluido eléctrico, lamentablemente este no es el caso de 128.587 personas que solo pueden acceder a este servicio, entre 4 a 12 horas diarias. Es más, estas zonas, que padecen ya este problema, se suman a las zonas que tienen mayor índice de pobreza y desigualdad (J. Vivas, 2019).

El departamento del Cauca, actualmente, cuenta con 176 localidades que están en las ZNI. Esto corresponde al 9.96% del total de las localidades a nivel nacional, las cuales se distribuyen en 3 municipios y uno de ellos es el municipio de Guapi que cuenta con 55 localidades a nivel departamental, de las cuales se tiene que el 5.45% no cuentan con energía eléctrica, el 7.27% cuentan con energía eléctrica en un rango de 7 -12 horas diarias y el 87.28% cuentan con energía eléctrica en un rango de 1-6 horas diarias (Perez, 2020). Considerando, el difícil acceso a este municipio que impide la electrificación total mediante la extensión de redes energéticas, como la falta de vías y de personal capacitado a nivel local para atender cualquier falla en el sistema eléctrico (J. D. Gallego Triana), hacen de estos, los motivos principales para estudiar una manera, mediante la cual, se pueda suplir dicha necesidad empleando procesos alternativos para la electrificación de estas zonas apartadas, aprovechando las energías renovables (Lucero Revelo, 2018).

Por tal razón, teniendo en cuenta tanto las localidades del Municipio de Guapi departamento del Cauca y todas las consideraciones anteriores permiten, a este trabajo de grado, buscar implementar un sistema híbrido eólico solar que cuente con un conmutador de potencia eficiente e inteligente, que otorgue energía eléctrica ininterrumpidamente, permitirá la energía eólica si las turbinas accionan al alternador. Si no lo activa, conmuta a energía solar y, en la noche, si no tiene energía eólica, conmuta a las baterías. Esto es una optimización de la entrega de energía del sistema, y aprovecha estas fuentes al máximo posible y brindando ya una solución viable a las localidades que no cuentan con este servicio, o bien aumenta el rango de horas de servicio a las localidades que sí cuentan con energía eléctrica. De esta manera, nos permite dar solución a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo gestionar un sistema de generación híbrido, con fuentes de energía eólica y solar, potente, eficaz y autónomo, que entregue energía, ininterrumpidamente, a zonas no interconectadas del Municipio de Guapi, Departamento del Cauca?

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL:

Proponer un sistema híbrido eólico y solar, con conmutación inteligente de potencia eficiente, para suministrar energía eléctrica ininterrumpidamente, a zonas no interconectadas del Municipio de Guapi, Departamento del Cauca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Definir el tipo de generador eólico, el tipo de panel solar y tipo de baterías que cumpla con las condiciones particulares para el diseño de un sistema de generación híbrido eólico y solar en el municipio de Guapi.
- Diseñar un circuito controlador inteligente de potencia eficiente, que permita suministrar energía, ininterrumpidamente, a los usuarios.
- Evaluar, a través de simulación, el control más eficiente para la entrega de potencia del sistema híbrido eólico y solar.

CAPÍTULO I

ZONAS NO INTERCONECTADAS.

En este capítulo se mostrará el diagnóstico de la prestación de servicios de energía eléctrica a las zonas no interconectadas de Colombia, centrándose particularmente en el estado de la zona Pacífico Sur, en donde se encuentra ubicado el municipio de Guapi, objeto de estudio.

1.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS ZNI.

Las ZNI en Colombia se definen por el artículo 11 de la ley 143 de 1994 y delimitadas y categorizadas por la resolución 18 2138 de la CREG en 2007 como las zonas “donde no se presta el servicio público de electricidad a través del Sistema Interconectado Nacional -SIN-, se caracterizan por presentar una baja densidad poblacional, una ubicación lejana de los centros urbanos, dificultad de acceso y una gran riqueza de recursos naturales. (Bustos Gonzalez Juan Felipe, 2014). En el territorio nacional cerca del 51% de la población se encuentra en las zonas no interconectadas ZNI, es por esta razón que los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía han sido tradicionalmente construidos de tal forma que pueda atender la mayor cantidad de usuarios, permitiendo llevar energía eléctrica hasta el sitio de consumo, sin embargo, en varios lugares como las ZNI en los que son de difícil acceso la prestación de servicios de energía eléctrica se genera en la misma zona utilizando diversas fuentes de energía convencionales y no convencionales (Lucero Revelo, 2018).

La dirección técnica de gestión de energía de la superintendencia delegada para energía y gas combustible de la Superintendencia de Servicios públicos Domiciliarios – SSPD-, dio a conocer el diagnóstico de la prestación de energía eléctrica en ZNI-2019 en el que se enfatiza acerca del estado de la prestación del servicio de energía eléctrica. Esta evaluación de los estados se realizó agrupando los departamentos en zonas, como se muestra en la siguiente Ilustración 1.



De acuerdo con el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las zonas no interconectadas -IPSE-, estas zonas equivalen a un 51% del territorio nacional con más de 192.956 suscriptores que cuentan con una capacidad operativa del 241 MW de los cuales el 9,57 MW provienen de fuentes energéticas renovables no convencionales tal como indica la tabla 1 (Superintendencia de Servicio Públicos Domiciliarios. Zonas no interconectadas - diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica , 2019).

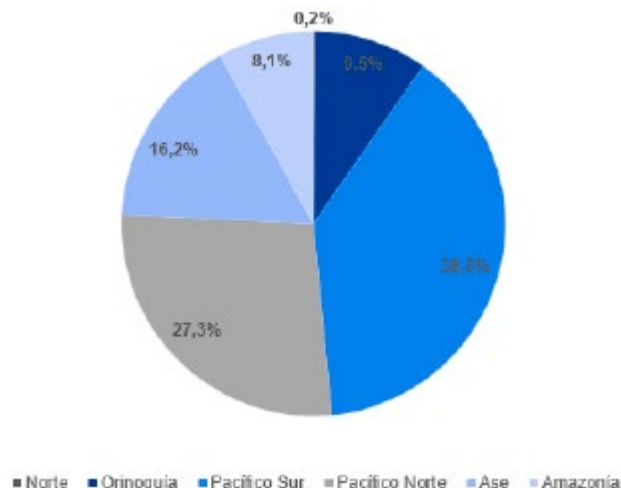
Tabla 1. Registro Único de prestadores de servicio públicos.

CONCEPTO	VALOR
Porcentaje del Territorio Nacional*	51%
Municipios	74
Cabeceras y localidades objetivo	48
Localidades codificadas	1.847
Suscriptores	192.956
Prestadores con localidades codificadas**	76
Capacidad operativa *	241 MW
Capacidad operativa fuentes renovables*	9,67 MW

Del total de suscriptores 192.956, el 64% se encuentran ubicados en localidades tipo 2, entre 151 y 300 usuarios; tipo 3 que va entre 51 y 150 usuarios y tipo 4 que son los centros poblados con menos de 50 usuarios. La población restante se encuentra en zonas tipo 1, clasificación realizada según la Resolución MME 181272 de 2011 del Ministerio de Minas y Energía. (Ministerio de Minas y Energía , 2011). Se puede evidenciar en la ilustración 2, la zona Pacífico Sur que cubre los departamentos de Cauca, Nariño y Valle del Cauca, abarca la mayor cantidad de

usuarios que carecen del servicio de interconexión eléctrica, equivale 38,8 % del total de población que hace parte de las ZNI en Colombia.

Ilustración 2 Distribución de suscriptores por zonas.



1.2. ZONA PACIFICO SUR.

En la actualidad gracias al inicio de operación de la línea de interconexión 115kV que va desde el departamento del Cauca hasta Nariño, según el Ministerio de Minas y Energía, las siguientes cabeceras municipales se encuentran conectadas al Sistema de interconexión Nacional -SIN- desde el año 2018, en el departamento de Nariño tenemos a, Santa Bárbara de Iscuandé, Mosquera, La Tola, Olaya Herrera, El Charco y Francisco Pizarro, y del departamento del Cauca tenemos a López de Micay, Guapi y Timbiquí (Ministerio de Minas y Energía. Línea Cauca - Nariño., 2018), sin embargo, esto quiere decir que a pesar de que estas cabeceras municipales cuenten con la conectividad al SIN aún siguen varias localidades que no cuentan con una red eléctrica y otras localidades cuentan con la red eléctrica pero solo con un rango de horas que van desde 5 -7 horas diarias y 8 - 12 horas diarias.

1.2.1 PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

El Centro Nacional de Monitoreo -CNM- de IPSE es el encargado de hacer el seguimiento a la prestación del servicio de la energía eléctrica en las zonas no interconectadas. Para realizar este seguimiento se hace a través de tecnologías de medición remota como la **Telemetría**, para las zonas no interconectadas que no cuentan con telemetría. El seguimiento se realiza a través de otros

medios de comunicación como: llamadas telefónicas, correos electrónicos entre otros y el encargado de realizar estas tareas es el Contact Center. La zona pacifico sur está conformada por 3 departamentos que son: Cauca, Nariño y Valle del Cauca, los cuales cuentan con un total de 860 localidades que no tienen telemetría, se obtuvo un reporte de rango de horas de la prestación del servicio de energía eléctrica como se muestra en la tabla 2 (Informe de prestación del servicio de energía eléctrica en localidades ZNI sin sistemas de telemetría.).

Tabla 2 Rango horario de prestación del servicio por departamento diciembre 2021. Elaboración propia.

Departamento	# Localidades	0 horas	1-4 horas	5-7 horas	8-12 horas	sin información
Cauca	189		25	148	16	
Nariño	515	7	34	412	27	35
Valle del cauca	156		44	98	14	

Gracias a la nueva interconexión entre el Cauca y Nariño varias de sus cabeceras pueden acceder a más tiempo de energía eléctrica, sin embargo, aún hay muchas localidades que siguen con un rango de tiempo demasiado corto con este servicio, es por esta razón que surgen proyectos con Fuentes no Convencionales de Energías Renovables -FNCER- para poder cubrir la necesidad de electrificación. En las ZNI de la Zona Pacífico Sur, se viene desarrollando proyectos, programas y planes bajo la arquitectura de las fuentes no convencionales de energías renovables FNCER, con el objetivo de disminuir la falta de conectividad eléctrica en esta zona y ayudar al cumplimiento de los objetivos del Plan Energético Nacional, los cuales van encaminados a satisfacer la demanda energética del territorio nacional (Unidad de Planeación Minero Energética.).

1.2.2. PROYECTOS FNCER.

1.2.2.1 Planes de Energización Rural Sostenibles - PERS.

Estos son planes estructurados que parten de análisis de factores como: la productividad, el emprendimiento y la energización rural. Este estudio posibilita la formulación de estrategias para el desarrollo de proyectos energéticos sostenibles e integrales. Para el año 2018 no hubo proyectos FNCER estructurados que se implementarán. Varios de estos proyectos se encuentran en fase de preinversión, prefactibilidad y factibilidad. En 2015 se desarrollaron 3 proyectos de sistemas fotovoltaicos individuales y sociales los cuales fueron financiados por la Unidad de

Planeación Minero Energética -UPME- y otros inversionistas (Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central.).

Proyectos FNCER, PERS

*Tabla 3. Proyectos FNCER, PERS.
Fuente Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central.*

Fuentes de financiación	Tipo de proyecto implementados	Cantidad de proyectos zona pacifico sur.
UPME- IPSE-CCEP-UDENAR	Sistemas fotovoltaicos individuales y sociales	3
TOTAL		3

1.2.2.2 Proyectos IPSE.

Entre el año 2014 y 2017, el IPSE implementó un total de 342 proyectos a nivel nacional, de los cuales 7 de esos proyectos se desarrollaron en la zona Pacífico Sur, es decir un 2,1 %, los proyectos se desplegaron bajo la infraestructura de sistemas fotovoltaicos.

*Tabla 4. Proyectos FNCER, IPSE.
Fuente Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central.*

Fuentes de financiación	Tipo de proyectos implementados	Cantidad de proyectos zona pacifico sur
IPSE	Sistemas fotovoltaicos individuales -residenciales	7
TOTAL		7

1.2.2.3 Programa de energía limpia para Colombia- CCEP.

El CCEP es la actividad emblemática de energía limpia de USAID/Colombia. USAID es una agencia de los Estados Unidos para el desarrollo internacional y cuyo propósito del programa es aumentar el acceso a la energía renovable y mejorar las prácticas de eficiencia energética en Colombia. En el año 2017 antes de que este plan finalizara se pudieron desarrollar 3 proyectos los cuales beneficiaron al sector productivo y residencial mediante los sistemas solares híbridos y fotovoltaicos (Programa de energía limpia para Colombia-CCEP.), tal y como se muestra en la siguiente tabla 5.

Tabla 5 Proyectos FNCER, CCEP.
Fuente Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central.

Fuentes de financiación	Tipo de proyectos implementados	Cantidad de proyectos zona pacifico sur
CCEP-Otros	Sistemas híbridos solar-diésel-batería	1
CCEP-MRE	Sistemas fotovoltaicos para infraestructura residencial	1
CCEP-MRE	Sistemas fotovoltaicos para infraestructura social y productiva	1
	TOTAL	3

1.2.2.4 Plan fronteras para la prosperidad – PFP-

El PFP es un programa del Ministerio de Relaciones Exteriores de Colombia, el cual tiene como propósito implementar proyectos principalmente en zonas aisladas, con el fin de contribuir al desarrollo de estas poblaciones, entre los años 2013 - 2017 se llevaron a cabo 7 proyectos de sistemas fotovoltaicos para infraestructura social (Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central.), tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6 Proyectos FNCER, PFP.
Fuente Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central.

Fuentes de financiación	Tipo de proyectos implementados	Cantidad de proyectos zona pacifico sur
MRE- IPSE- USAID-otros	Sistemas fotovoltaicos para infraestructura social	7
	TOTAL	7

A nivel nacional se han realizado 544 proyectos para las zonas no interconectadas de los cuales 20 de ellos se desarrollaron en la zona Pacífico Sur, lo que podemos observar que la cantidad tan baja de obras desarrolladas y el año de ejecución de las mismas, por lo tanto, se encuentran en estudio la viabilidad de proyectos ejecutados por planes como: todos somos pazcífico, el Fondo de Energías no convencionales y Gestión Eficiente de la Energía FENOGE. De acuerdo a la evaluación y el monitoreo de estos proyectos, el IPSE adelanta investigaciones y estudios que permitan mediante el Centro Nacional de Monitoreo -CNM-, el cual cuenta con estaciones de

monitoreo de medición de potenciales eólico y solar en ZNI, realizando un diagnóstico óptimo de las necesidades y los recursos energéticos disponibles de cada región con el objetivo de generar soluciones tecnológicas sostenibles y apropiadas a las necesidades de la zona. El Ministerio de Minas y Energía está avanzando en garantizar la viabilidad de los proyectos FNCER, ya que, se han presentado algunos a través de mecanismos como Todos Somos Pazcífico durante el año 2018, los cuales no se han aprobado por falencias en esta etapa. También la auditoría realizada al programa Luces para Aprender ha dejado como enseñanza la importancia de realizar un trabajo integrado entre capacitor, ejecutor y comunidad beneficiada, antes, durante y después de la ejecución del proyecto, para garantizar su adecuado funcionamiento. En algunas localidades de la zona Pacífico Sur, se presentan promedios de horarios de suministro energético muy alejados a las 24 horas, por lo tanto, es necesario que la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios enfoque sus esfuerzos en vigilar y controlar la calidad y continuidad del servicio, ya que, es evidente la situación crítica en la que se encuentra esta región.

Colombia a comparación de otros países tiene una muy baja participación en las FNCER a pesar de que se ha definido el objetivo de apropiar un modelo energético limpio basado en fuentes renovables. Por su baja participación no ha sido posible, ya que, uno de los factores es la falta de personal capacitado para la instalación y mantenimiento de las diferentes tecnologías. Esta es una barrera para lograr el rápido desarrollo de estas iniciativas. Las FNCER no son lo suficientemente conocidas en el territorio nacional por lo que aumenta la percepción de riesgo para las entidades financieras, entonces sin ese apoyo económico queda muy difícil poder desarrollar estos proyectos (Fondo Fiduciario de Crecimiento Verde de Corea y el Departamento nacional de planeación del Banco Mundial.). Conociendo la información anterior nos damos cuenta la importancia de realizar un estudio y analizar de manera muy detallada todas las variables de la zona, en donde se pueda observar la mayor cantidad de factores que nos lleven a tener un buen éxito con el proyecto, por esta razón en el siguiente capítulo se realizará un estudio eléctrico de las variables más relevantes para la implementación del sistema híbrido eólico y solar más adecuado para las zonas no interconectadas del municipio de Guapi, departamento del Cauca.

CAPÍTULO II

ESTUDIO ENERGÉTICO DEL MUNICIPIO DE GUAPI, DEPARTAMENTO DEL CAUCA.

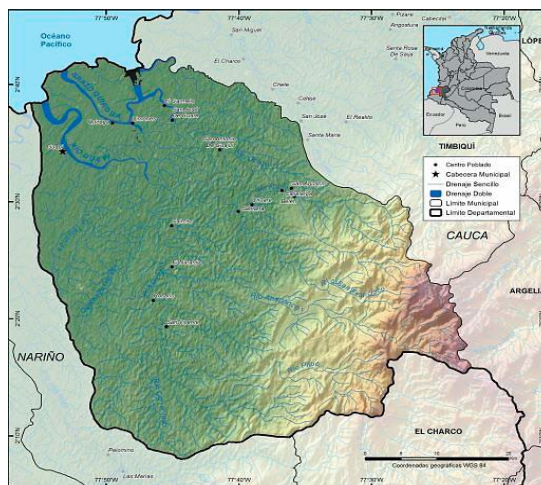
En este capítulo se especificarán todas las variables sociales, económicas, potencial energético renovable, normatividad vigente relacionada con las FNCER y la demanda energética actual.

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO

2.1.1 UBICACIÓN.

El municipio de Guapi se encuentra ubicado al sur occidente del departamento del Cauca, en el litoral pacífico colombiano. La cabecera municipal está ubicada a los 2°34' de latitud Norte y a los 75°54' de longitud occidental. Tiene una superficie de 2.688 Km², superficie 90% plana y se caracteriza por abundante vegetación. Está a una altura de 5 metros sobre el nivel del mar y una temperatura promedio de 29°C, limita al norte con el océano Pacífico y con el municipio de Timbiquí, al oriente con los municipios de Timbiquí y Argelia, al occidente con el océano Pacifico y al sur con el municipio de Santa Bárbara de Iscuande Nariño (Alcaldía Guapi, s.f.)

Ilustración 3 Mapa de Guapi, departamento del Cauca. Fuente DANE.



2.1.2. ECONOMÍA.

Las actividades productivas desarrolladas en este municipio están relacionadas con el

sector terciario con un 54,4% de participación, seguido de las actividades primarias con el 38,8% y por último las actividades secundarias con el 6,9 %. se destaca la agricultura, la minera artesanal, la explotación forestal, pesca fluvial y marítima. La falta de tecnificación limita el aumento de los rendimientos generados por cultivos tradicionales y obliga a los pequeños productores a comercializar sus cosechas a bajos precios. Por otro lado, la pesca es una de las actividades base de la economía local, en virtud de la extensa variedad de peces, moluscos y crustáceos, las poblaciones ubicadas en las riberas de los ríos generalmente están vinculadas con esta ocupación. El sector presenta varias falencias como la falta de organización, el elevado costo de los combustibles utilizados para los motores que impulsan las lanchas pesqueras, los altos costos de producción y la escasez de cuartos fríos para almacenamiento.

En las partes altas y medias de los ríos, la minería ocupa una posición importante, especialmente en la explotación de oro y platino. Está actividad realizada a lo largo de los ríos Guapi y Guaji, se desarrolla con métodos como: la extracción mediante minas de pozo y socavón, el baharequeo y excavación con maquinaria. La alta biodiversidad ha permitido que en los últimos años el turismo se convierta en un sector clave para la economía local y de gran potencial para la región, siendo esta actividad un objetivo estratégico del municipio de Guapi, en donde se busca impulsar el turismo con la ejecución de planes y programas de desarrollo para incluir a esta población en la oferta turística del departamento y el país.

2.1.3. TRANSPORTE.

En el municipio de Guapi, el transporte terrestre opera únicamente en la zona urbana, actualmente no hay carreteras para la comunicación intermunicipal, razón por la cual el transporte fluvial y marítimo es la principal vía para la movilidad, los lugares por donde transitan las lanchas, barcos, canoas y buques de cabotaje, no se encuentran en condiciones adecuadas por los sedimentos, material vegetal y por la deficiente infraestructura para el atraque de las embarcaciones. El transporte aéreo es el medio más rápido, este servicio es asistido por la aerolínea SATENA diariamente con un vuelo de Cali-Guapi-Cali, dos veces por semana la aerolínea no comercial TAC realiza el recorrido Popayán-Guapi-Popayán, a pesar de que se consideran constantes los vuelos el valor del pasaje es elevado (Alcaldía de Guapi., s.f.).

2.1.4. ENERGÍA ELÉCTRICA.

Como se mencionó en el capítulo 1, la cabecera del municipio de Guapi se encuentra interconectada al SIN, en la zona urbana la energía eléctrica es generada por la interconexión desde la ciudad de Popayán hasta el municipio de Guapi, teniendo como subestación principal la ubicada en la localidad de Bonanza, el recorrido de interconexión abarca 9 municipios 3 del departamento de Cauca y 6 del departamento de Nariño. La administración de la interconexión es responsabilidad de las empresas centrales eléctricas de Nariño CEDENAR y la comercialización en el casco urbano en responsabilidad de ENERGUAPI S.A E.S.P. En la zona rural de Guapi los corregimientos y veredas son alumbrados mediante plantas eléctricas administradas por ENERGUAPI para lo cual el Ministerio de Minas y Energía otorga un subsidio, sin embargo, muchas comunidades permanecen mucho tiempo sin el servicio eléctrico por tener sus plantas malas o por falta de combustible, situación que se hace urgente intensificar la interconexión rural o la implementación de energía limpia.

2.1.5. CONECTIVIDAD.

Actualmente en el municipio de Guapi el acceso a internet es escaso, la biblioteca pública municipal no cuenta con servicio a internet, el cual es muy importante para el desarrollo de los niños, niñas y jóvenes, pero en la zona rural la situación empeora. El acceso a servicios de internet cubre al 6,4% de las viviendas ocupadas, de los cuales el 10,3% están en zona urbana y el 0,9% en zona rural.

2.1.6. CLIMA.

En el municipio de Guapi se presenta un clima cálido muy húmedo, con precipitación elevada. Esta unidad climática ubicada principalmente al occidente del departamento se caracteriza por tener una altitud inferior a 1.000 msnm, temperatura media anual entre 25,8% y 27%. En la zona llueve un promedio de 250 días al año, con épocas de días consecutivos sin lluvia. Este municipio hace parte de la zona de convergencia intertropical o zona de baja presión atmosférica, presenta un alto porcentaje de humedad e inestabilidad en el aire, lo que genera la abundancia de precipitación y alta nubosidad, se destaca la circulación de vientos portadores de gran cantidad de masas de agua, las cuales se movilizan en sentido Sur-Norte y Norte-Sur, en ciclos enero-julio-

enero (Camargo, 2009)

2.1.7. HIDROLOGÍA.

En la zona hacen presencia las subcuencas de los ríos Guajú y Guapi, con sus respectivos afluentes, de estos ríos se derivan la mayor parte de quebradas presentes en el municipio. Están intercomunicadas en su parte baja por una red de canales naturales y gran cantidad de brazos con deltas formados en sus desembocaduras. Las mareas afectan la parte baja de los ríos, esta característica permite determinar los tiempos de navegación y pesca, los guapienses definen tres fases de marea, puja (marea alta), pujita (marea media) y quiebra (marea baja); para las partes altas de las quebradas la navegabilidad depende de los aguaceros. Las principales subcuencas hídricas son los ríos Guapi, Guajú y Limones, los cuales reciben quebradas como La Encarnación, El Atajo, Temuey, Caricia, Buenavista, Guare, La Trina, Chontaduro, Aguacatico, Mojarrera, Ceiba, Bandera, La Agustina y Guayacán. Algunas de estas fuentes hídricas se han visto afectadas por la contaminación ocasionada a causa del inadecuado manejo de vertimiento de residuos generados en viviendas, pequeñas industrias, sector minero, embarcaciones y en la producción de cultivos ilícitos y lícitos.

2.2. POTENCIAL DE FUENTES RENOVABLES EN LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO

Como se evidenció anteriormente el municipio de Guapi cuenta con una variedad de recursos y está ubicado en una zona de gran potencial, es por ello que a continuación se describirán aspectos importantes de las fuentes de energía renovable (eólica y solar) y la capacidad que tiene la zona para cada una de ellas.

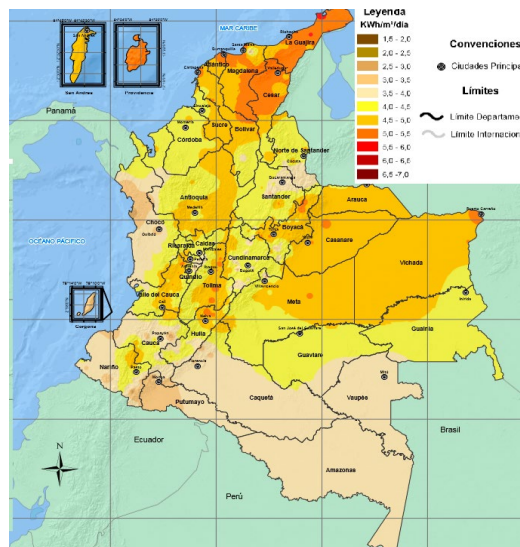
2.2.1 ENERGÍA SOLAR.

La energía solar es definida como “la energía que se genera por reacciones nucleares al interior del sol, las cuales son transmitidas por ondas electromagnéticas a través del espacio (radiación solar)”. Esta fuente de energía presenta dos características específicas: Su gran dispersión debido a su densidad que en condiciones favorables alcanza con dificultad los 1 kW/m^2 , por tal motivo para obtener altas densidades es necesario grandes superficies de captación o sistemas de concentración y la otra propiedad de la energía solar es su intermitencia diaria, esta

particularidad hace necesario implementar sistemas de almacenamiento para suplir la demanda energética en horas pico (Minero, s.f.).

La gran variedad en la cantidad de radiación solar recibida en determinada superficie está relacionada con las condiciones climatológicas, los cambios con la distancia al sol y la duración del día. Colombia cuenta con gran potencial de energía solar frente al resto del mundo según los datos de irradiancia solar comprobados por las 550 estaciones de medición ubicadas a lo largo del país, estos datos son ilustrados en el mapa 2.2. El país cuenta con una irradiación promedio de 4.5 kWh/m²/d superando al promedio mundial de 3.9 kWh/m²/d y al promedio recibido en Alemania (3.0 kWh/m²/d) país que ocupa los primeros lugares en el uso de energía solar fotovoltaica, el informe de registro de generación de electricidad elaborado por la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME-, señala que del total de proyectos vigentes -2018-2020-, el 68.26% son de tipo solar, de los cuales el 99% utilizan sistemas fotovoltaicos, los rangos de potencia alcanzados con generación solar se encuentran entre los 0-1 MW y los 20-50 MW, la capacidad de estos proyectos para el departamento del Cauca es de 1.6 MW (Energética, s.f.)

Ilustración 4 Atlas de radiación solar. Fuente IDEAM.



Características de la energía solar en guapi:

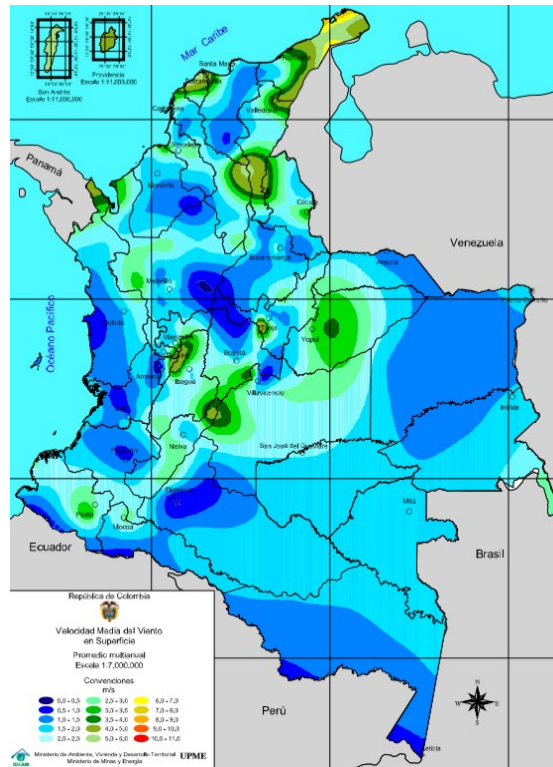
- **Potencial de energía solar en la zona de estudio:** Según el atlas de radiación solar nos podemos dar cuenta que en el municipio de guapi se presenta una radiación solar entre 3 y 4 kWh/m²

- **Proyectos ejecutados en Colombia de sistemas solares:** como se mencionó en el capítulo 1, las FNCER en las ZNI de Colombia se han desarrollado 544 proyectos, de los cuales 469 son sistemas fotovoltaicos y 38 sistemas de bombeo solar fotovoltaico y biomecánico, lo que equivale al 93.19% de proyectos desarrollados usando como fuente la energía solar, en la zona pacífico donde se encuentra el municipio de Guapi, se han desarrollado 18 proyectos de sistemas fotovoltaicos individuales y sociales.

2.2.2. ENERGÍA EÓLICA.

La energía eólica es la energía cinética de las moléculas de aire en movimiento. Los cambios en la distribución de presión y temperatura son ocasionados por la disposición desigual del calentamiento solar, el viento es generado cuando las temperaturas de zonas próximas difieren el aire frío por su densidad, suele descender en sentido del aire cálido, este simultáneamente asciende por ser menos denso, generando movimiento de las masas de aire; dicho recurso es aprovechado por medio de aerogeneradores, sistemas que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica (Arcilla., 2019). La estimación del potencial eólico se realiza a través de estudios meteorológicos de la velocidad del viento, para su correcta estimación es necesario conocer la frecuencia de este recurso (Hoyos., 2019). Según los datos presentados por el IDEAM, en Colombia se destacan 16 zonas con gran potencial eólico como la Isla de San Andrés, Riohacha, Soledad, Bucaramanga y Santa Marta, con velocidades de viento promedio entre los 4 y 5 m/s (C. R. Algarin, 2018)

Ilustración 5 Atlas de viento. Fuente IDEAM.



Características de la energía eólica en Guapi.

- **Potencial eólico en la zona de estudio:** según el atlas de viento de Colombia podemos ver que en el municipio de Guapi se presenta una velocidad media de viento en superficie que oscila entre 2 - 5 m/s.
- **Proyectos eólicos ejecutados en Colombia:** El parque eólico Jepirachi entró en operación en el año 2004, se encuentra ubicado en el departamento de la Guajira, cuenta con 15 aerogeneradores de 1.3 MW cada uno (Capacidad instalada total de 19.5 MW). Con respecto a las ZNI, según el diagnóstico de prestación de servicio, no se ejecutaron proyectos de energización utilizando esta fuente renovable para el corte 2019. De acuerdo con el informe mostrado por la UPME, de los 395 proyectos vigentes registrados a nivel nacional hasta la semana 31 del 2020, 17 de ellos son de tipo eólico, lo que equivale al 4,3% del total.

2.3. MARCO NORMATIVO DE LAS FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLES

En el transcurso del tiempo se ha promulgado el uso racional de energía y el direccionamiento del avance en pequeñas escalas, así como el incentivo de nuevas investigaciones aplicadas y básicas como la generación geotérmica, biomasa, solar y eólica. En cuanto a la normatividad existen varias leyes para la regulación de energías renovables FNER (Martínez, 2018), las cuales son:

Tabla 7 Normatividad de fuente de energía renovable.

Reglamentación	Año	Entidad	Descripción
Ley 167	2001	Congreso de Colombia	Se fomenta el uso de la energía de forma racional y se promueve el uso de energías alternativas.
Ley 1715	2014	Ministerio de minas y energía	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
Decreto 2469	2014	Ministerio de minas y energía	Establece los procedimientos energéticos, según la entrega de excedentes en la autogeneración.
Decreto 2492	2014	Ministerio de minas y energía	Por la cual se adoptan las disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda.
Resolución 0281	2015	UPME	Establece el límite de potencia requerido para la autogeneración de energía a pequeña escala en el SIN.
Resolución 024	2015	CREG	Regula la autogeneración a gran escala en el SIN.
Decreto 2143	2015	Ministerio de minas y energía	Define los lineamientos para emplear incentivos establecidos en el capítulo 111 de la ley 1715 de 2014.
Decreto 1623	2015	Ministerio de minas y energía	Establece los lineamientos de política para expandir la cobertura del servicio energético en el SIN y ZNI.
Resolución 143	2016	UPME	Define las exigencias para el registro de proyectos mediante fuentes no convencionales de energía.

Resolución 045	2016	UPME	Establece los lineamientos para emitir certificación y aval de proyectos mediante fuentes no convencionales de energía.
Decreto 348	2017	Ministerio de minas y energía	Establece lineamientos de la política pública bajo la gestión de energía eficiente y entrega de los excedentes de generación a una pequeña escala.

Exposición de las principales políticas públicas relacionadas con la cobertura energética renovable de zonas no interconectadas en Colombia. 2020.

2.4 LOCALIDADES DE MUNICIPIO DE GUAPI QUE ESTÁN EN LAS ZNI.

Según el último informe de telemetría entregado por la IPSE, en la siguiente tabla se encuentran las localidades que aun solo cuentan con unas cuantas horas del servicio eléctrico:

Tabla 8 Localidades del municipio de Guapi en ZNI

Localidad	Tipo de localidad	Estado de prestación de servicio	Rango de horas
Atajo II	4	con servicio	5-7 horas
Balsitas-Alfonso López	3	con servicio	5-7 horas
Belén	2	con servicio	8-12 horas
Boca de san francisco	4	con servicio	5-7 horas
Buenvista	4	con servicio	5-7 horas
Caimito	4	con servicio	5-7 horas
Calle	4	con servicio	5-7 horas
Calle Honda	4	con servicio	5-7 horas
Calle Larga	3	con servicio	8-12 horas
Carmen	3	con servicio	5-7 horas
Cascajero	3	con servicio	5-7 horas
Caucho	4	con servicio	5-7 horas
Chamon	2	con servicio	8-12 horas
Chico Perez	3	con servicio	5-7 horas
Chuare	3	con servicio	8-12 horas
Codicia	4	con servicio	5-7 horas
Concepción de guajui	3	con servicio	5-7 horas
Cuerval	3	con servicio	5-7 horas
El atajo I	4	con servicio	5-7 horas
El Carmelo	3	con servicio	5-7 horas
Firme chanzara	3	con servicio	5-7 horas
Guabal	4	con servicio	5-7 horas
Joanico I	4	con servicio	5-7 horas
Joanico II	4	con servicio	5-7 horas
La soledad	3	con servicio	8-12 horas
Las juntas	4	con servicio	5-7 horas

Llantin	3	con servicio	5-7 horas
Madre vieja	4	con servicio	5-7 horas
Naranjo (Uribe Uribe)	3	con servicio	8-12 horas
Obregones	4	con servicio	5-7 horas
Pampa I	4	con servicio	5-7 horas
Pampa II	4	con servicio	5-7 horas
Parcelas	4	con servicio	5-7 horas
Partidero	4	con servicio	5-7 horas
Pascualero	4	con servicio	5-7 horas
Penitente	3	con servicio	5-7 horas
Pueblo nuevo	4	con servicio	5-7 horas
Quiroga	3	con servicio	5-7 horas
Quiroga II	3	con servicio	5-7 horas
Robles	4	con servicio	5-7 horas
Rosario	3	con servicio	5-7 horas
San Agustín	4	con servicio	5-7 horas
San Agustín napi	3	con servicio	8-12 horas
San Antonio de napi	3	con servicio	5-7 horas
San José de guajui	3	con servicio	5-7 horas
San miguel y	4	con servicio	5-7 horas
pascualero	4	con servicio	5-7 horas
San pio	3	con servicio	5-7 horas
San Vicente (Benjamin			
Herrera)	4	con servicio	5-7 horas
Santa Ana	3	con servicio	5-7 horas
Santa Clara	4	con servicio	5-7 horas
Santa Gertrudis	3	con servicio	5-7 horas
Santa Rosa	4	con servicio	5-7 horas
Viento libre	3	con servicio	5-7 horas

Clasificación de localidades

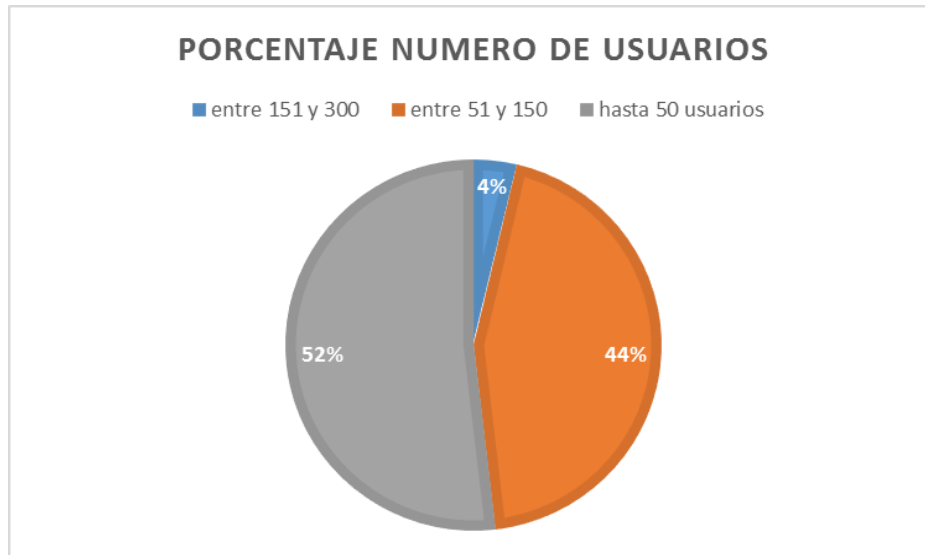
Las localidades se clasifican por número de usuarios de acuerdo con la resolución 181272 del 2011.

Tabla 9 Tipo de localidades.

TIPO	DESCRIPCIÓN
1	Más de 300 usuarios y/o cabecera municipal
2	Entre 151 y 300 usuarios
3	Entre 51 y 150 usuarios
4	Hasta 50 usuarios

Ilustración 6 Porcentaje de número de usuarios del municipio de Guapi.

Elaboración propia.



CAPÍTULO III

SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA HÍBRIDO EÓLICO - SOLAR

En este capítulo se dará a conocer el tipo de tecnología para el sistema híbrido eólico – solar que cumpla con las características dadas del municipio de Guapi expuestas en el capítulo anterior.

3.1. TECNOLOGÍAS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA.

3.1.1. AEROGENERADORES:

Un aerogenerador es un dispositivo que funciona convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice y posteriormente en energía eléctrica gracias a un alternador. Los aerogeneradores pueden trabajar de manera aislada o agrupados en parques eólicos o plantas de generación eólica, distanciados unos de otros en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas (Wikipedia., s.f.).

Si se clasifican a los aerogeneradores por sus características geométricas, serían de dos tipos de eje horizontal y eje vertical. Los de eje vertical se destacan por no necesitar el mecanismo de orientación y el generador eléctrico puede ir dispuesto en el suelo. Los de eje horizontal, son

los más usados y permiten cubrir un amplio rango de aplicaciones aisladas de pequeña potencia hasta instalaciones en grandes parques eólicos (Portillo, 2021).

Dada la amplia difusión de los aerogeneradores, (C. Espitia Caita, 2014) se ha establecido la siguiente clasificación entre ellos:

- Aerogeneradores grandes: aquellos equipos cuya potencia eléctrica nominal por unidad se encuentra entre 500kW y algunos megavatios.
- Aerogeneradores medianos: aquellos cuya potencia nominal se encuentra entre 100kW y 500kW. Las turbinas pequeñas son aquellas cuya potencia se halla entre las decenas de kilovatios y los 100kW.
- Turbinas eólicas micro o mini, aquellas con potencia nominal inferior a 10kW.

3.1.1.1. Aerogenerador de eje horizontal:

Son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al suelo, estos tienen las aspas como las hélices de los aviones, es la tecnología que se ha impuesto, por su eficiencia y confiabilidad, además cuentan con la capacidad de adaptarse a diferentes potencias (Wikipedia., s.f.). Los aerogeneradores pequeños se orientan mediante una veleta, mientras que los más grandes utilizan un sensor de dirección y se orientan por servomotores o motorreductores (Núñez., 2004).

Ilustración 7 Parque eólico de ultramar de Thorntonback en la costa belga, Mar del norte.



3.1.1.2. Aerogenerador de eje vertical

La principal característica de este aerogenerador, es que su eje de rotación se encuentra instalado en posición perpendicular al suelo, además de que tienen la capacidad de adaptarse a cualquier dirección de la corriente de viento por lo que se les conoce como **Panemonos** que quiere decir “todos los vientos”, eliminando los mecanismos de orientación, una de las ventajas

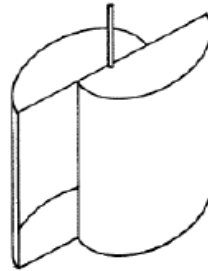
principales de este tipo de aerogenerador es que puede generar electricidad incluso en lugares con poco viento y zonas urbanas donde la normatividad de edificación prohíbe generalmente la instalación de aerogeneradores horizontales. Se emplean para generar potencias que van de los 200 a los 4 MW. Otras ventajas que tienen, (Muerza, 2010) es que no necesitan grandes inversiones, porque sus dimensiones pueden ser pequeñas y no exigen una torre potente o equipamientos como los de eje horizontal. Su instalación y mantenimiento es sencillo, y se pueden ubicar en cualquier lugar como en el suelo, un tejado o en una azotea.

Se puede aprovechar mejor los vientos turbulentos y de baja altura, así como las irregularidades del terreno, que incrementan la velocidad del viento. Los edificios lo redireccionan hacia arriba y puede llegar a doblar su velocidad y por eso la turbina aprovecha dichos vientos. Además de eso funcionan de manera silenciosa, algo que es indispensable en lugares habitados sean urbanos o rurales. A diferencia del eje horizontal, que se pone en marcha con pequeñas velocidades del viento y son más resistentes a los vientos fuertes. Por otra parte, su alineación vertical recibe al viento desde cualquier dirección y, por tanto, no requiere ningún sistema de alineamiento del aerogenerador, como los de eje horizontal. Actualmente existen tres tipos de aerogeneradores con eje vertical que son:

ROTOR SAVONIUS

Fue inventado por el ingeniero finlandés Sigurd J Saonius en el año de 1922. Es el más simple, consiste en un cilindro hueco partido por la mitad, en el cual sus dos mitades han sido desplazadas para convertirlas en una S, las partes cóncavas de la S captan el viento, mientras que los reversos presentan una menor resistencia al viento, por lo que giraran en el sentido que menos resistencia ofrecen. Este sistema tiene el inconveniente de presentar una sobrepresión en el interior de las zonas cóncavas al no poder salir el aire, perjudicando el rendimiento; el sistema queda mejorado separando ambas palas y dejando un hueco entre ambas para que exista un flujo de aire.

Ilustración 8 Rotor Savonius.



Debido a la gran resistencia al aire que ofrece este tipo de rotor, sólo puede ser utilizado a bajas velocidades. El uso para generación de energía eléctrica precisaría de multiplicadores de giro que reducirían el rendimiento.

ROTOR DARRIEUS

Este modelo es el más popular de los aerogeneradores de eje vertical. Es creado para evitar la construcción de hélices sofisticadas como las usadas en los aerogeneradores de eje horizontal. Permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, pero no alcanza a las de un rotor de eje horizontal. Consta de unas finas palas con forma de ala de avión simétricas, las cuales están unidas al eje solo por los dos extremos, con una curva especial diseñada para un máximo rendimiento entre las uniones del eje, al poseer una forma parecida a una cuerda para saltar, esto hace que los alerones experimentan una fuerte fuerza centrífuga. Este rotor presenta el problema de que no puede arrancar por sí mismo, teniendo que emplearse un sistema de arranque secundario, aunque una vez en marcha es capaz de mantenerse gracias a la aerodinámica de sus palas.

Ilustración 9 Generador vertical tipo Darrieus.



ROTOR DARRIEUS TIPO H O GIROMILL

La patente de Darrieus, también cubrió las turbinas con alerones verticales de eje recto

llamadas Darrieus H o Giromill, los alerones están orientados mecánicamente con el fin de cambiar el ángulo de ataque.

Ilustración 10 Rotor Giromill



PROTOTIPO WINDSIDE

Este novedoso aerogenerador de eje vertical es un prototipo concebido por la empresa finlandesa Windside. En la ilustración se puede apreciar un aerogenerador capaz de entregar 50 kW y que tiene la tarea de climatizar un centro comercial en las cercanías de Turku (Finlandia). Son más eficientes que las turbinas normales, pueden operar con vientos bajos desde 1m/s, además está construida para trabajar en condiciones extremas. Esta tecnología relativamente nueva y prometedora, con rendimientos similares a los aerogeneradores de eje horizontal, es aplicada para abastecer medianos y pequeños consumos. El concepto aerodinámico en lo que lo hace distinto e interesante respecto a los otros.

Ilustración 11 Prototipo Windside



3.1.2. MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL USO DE LA ENERGÍA EÓLICA:

Se considera viento a toda masa de aire en movimiento, que surge como consecuencia del calentamiento desigual de la superficie terrestre, siendo la fuente de energía eólica o, mejor dicho,

la energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento. En este capítulo se presentará toda la parte teórica necesaria para dimensionar matemáticamente el viento y su estructura:

3.1.2.1. Energía útil del viento

La energía cinética asociada al viento:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m_{aire} v^2 \quad (1)$$

- E_{cin} = Energía cinética del viento [J]
- m_{aire} = Masa del aire [Kg]
- v = velocidad del viento [m/s]

De la ecuación (1) se puede definir la potencia del viento como:

$$P = \frac{d E_{cin}}{dt} = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{d m_{aire}}{dt}\right) v^2 \quad (2)$$

- P = potencia del viento [W].

La potencia es definida respecto a la cantidad de aire (masa), que circula por un determinado sector del espacio. A su vez la masa puede ser expresada por:

$$m_{aire} = \rho V \quad (3)$$

- ρ = Densidad del aire [Kg/m^3].
- V = volumen del aire [m^3].

La potencia es definida respecto a la cantidad de aire (masa) que circula por el mismo espacio.

$$\frac{d m_{aire}}{dt} = \rho \left(\frac{dV_{aire}}{dt}\right) \quad (4)$$

A su vez el flujo está definido como:

$$F = \frac{dV_{aire}}{dt} \quad (5)$$

- F = flujo de aire [m^3/s].

También es válida la siguiente igualdad:

$$F = A * v \quad (6)$$

- A = sección ortogonal al vector de velocidad del *aire*² en [m^2].

Se puede definir la variación de volumen en el tiempo como:

$$\frac{dV_{aire}}{dt} = A * v \quad (7)$$

Sustituyendo 7 en 4 se obtiene:

$$\frac{d m_{aire}}{dt} = \rho * A * v \quad (8)$$

Luego, sustituyendo (8) en (2), se obtiene la ecuación que define el comportamiento de la potencia de una masa de aire (viento) que se desplaza con una cierta velocidad por unidad de superficie:

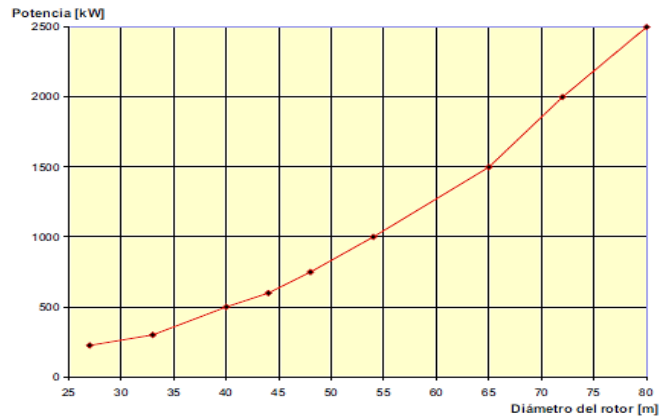
$$\frac{d m_{aire}}{dt} = \rho * A * v^3 \quad (9)$$

Podemos observar que los factores que definen esta potencia son:

- A = superficie [m^2].
- ρ = densidad del aire [Kg/m^3] (varía con la temperatura, la altura y la humedad).
- v = velocidad del viento [m/s].

La Ecuación 8 expresa la potencia en función del cubo de la velocidad del viento y proporcional a la superficie de la sección. La potencia sigue un comportamiento cuadrático respecto al diámetro del aerogenerador si se considera la velocidad del viento como constante. La ilustración 12 muestra la magnitud de potencia de un aerogenerador a dependencia de su diámetro.

Ilustración 12 Potencia vs Diámetro del aerogenerador.

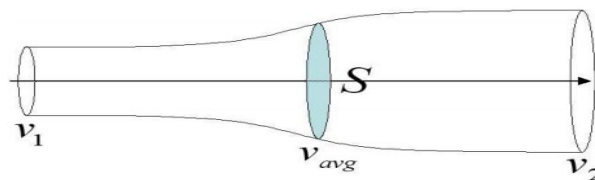


Se aprecia que la potencia crece proporcionalmente con el cubo de la velocidad y al cuadrado respecto al radio del aerogenerador(superficie).

3.1.2.2. La ley de Betz y la máxima eficiencia de conversión

La ley de Betz fue formulada por el físico alemán Albert Betz en 1919. En su libro "Wind-Energie", publicado en 1926, proporciona buena parte del conocimiento que en ese momento se tenía sobre energía eólica y aerogeneradores. Betz, define la potencia captada por un obstáculo que frena el libre movimiento del viento (tal como se ilustra en la ilustración 13). Por clara conveniencia se va a considerar un aerogenerador como obstáculo. Esta relación entre las velocidades es formalizada por la ecuación (10).

Ilustración 13 Velocidad antes y después del aerogenerador.



Considerando que la velocidad promedio del viento a través del área del rotor es el promedio de la velocidad del viento sin perturbar antes de la turbina eólica v_1 , y la velocidad del viento después de su paso por el plano del rotor v_2 , esto es $(v_1 + v_2) / 2$. (Betz ofrece una demostración de esto). La potencia captada por el aerogenerador se define como la diferencia instantánea de la energía cinética del viento antes y después de pasar por el obstáculo en un tiempo Δt .

$$P_{captada} = \frac{E_{cin1} - E_{cin2}}{\Delta t} = \frac{1}{2} * \frac{\Delta m_{aire}}{\Delta t} * (v_1^2 - v_2^2) \quad (10)$$

Una manera distinta para definir la masa de aire que pasa por el aerogenerador, se logra considerando el promedio de las velocidades antes y después del obstáculo:

$$\frac{\Delta m_{aire}}{\Delta t} = \rho * A * \frac{(v_1 + v_2)}{2} \quad (11)$$

Sustituyendo la masa del aire con lo expresado en la ecuación (10):

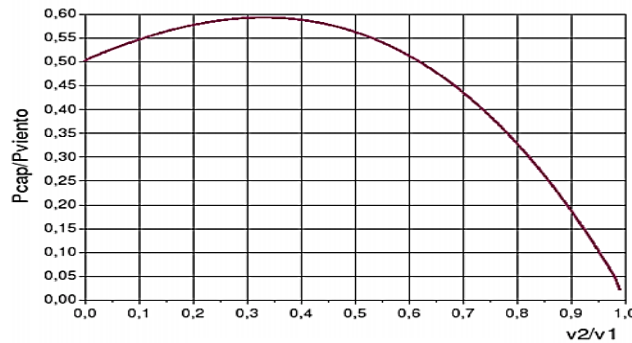
$$P_{captada} = \frac{1}{3} * \rho * A * (v_1^2 - v_2^2) * (v_1 + v_2) \quad (12)$$

Luego se define la razón entre la potencia captada sobre potencia del viento definida por la ecuación (9) donde v será v1:

$$\frac{P_{captada}}{P_{viento}} = \frac{1}{2} * \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right) * \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) \quad (13)$$

Lo anterior permite definir una función Pcaptado / Pviento vs una variable V2/V1 tal como se muestra en la ilustración 14.

Ilustración 14 Curva de eficiencia Betz



La curva obtenida anteriormente, define un máximo en $v_2/v_1 = 1/3$, con una potencia máxima captada de $P_{captada} = 16/27 * P_{viento}$. Como resumen de esto, se define la relación aproximada, con la ecuación que se muestra a continuación y se denomina, Ley de Betz y representa la máxima cantidad de energía del viento, que se puede transformar en energía mecánica rotacional:

$$P_{captada} = 0.59 * P_{viento} \quad (14)$$

Esta ecuación es un límite teórico ideal, ya que no considera los siguientes factores reales de operación:

- Resistencia aerodinámica de las hélices.
- La compresibilidad del fluido.
- La interferencia de las hélices.

3.1.3 SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD

Los aerogeneradores tienen un problema en su operación frente a la aleatoriedad del estímulo que el viento le ha otorgado, pues puede ser muy fuerte o muy débil o presentarse en forma de ráfagas. Esto conlleva a que las exigencias climáticas que sufren son notables. Este problema hace que la conversión energética sea una tarea compleja, pues las máquinas eléctricas necesitan algunas variables constantes como la velocidad de giro del rotor, la cual está directamente relacionada con la velocidad del viento. Para que se pueda lograr tener una velocidad constante en el eje del generador se utilizan diversas soluciones que van desde la intervención mecánica en la relación de amplificación de RPM (caja de cambio) hasta la alteración del comportamiento aerodinámico del aerogenerador frente al viento (variación del ángulo de ataque de las aspas y diseño de pérdida aerodinámica de las aspas).

Los aerogeneradores más modernos tienen sistemas de control mixtos que involucran la variación del ángulo de ataque de las aspas y adicionalmente sistemas de control sobre los parámetros eléctricos del generador. La idea es que los métodos utilizados para controlar los aerogeneradores, tiendan a aumentar al máximo la eficiencia y sobre todo que logren un control total y efectivo de la operación del aerogenerador y su seguridad.

3.1.3.1. Sistemas de Control Aerodinámico

El primer sistema de control aerodinámico utilizado es el que se aplicó en el Gedser y se denominó "pérdida aerodinámica". Esencialmente se diseñó el aspa de tal manera que al girar a una velocidad demasiado elevada se genera una discontinuidad en su aerodinámica que provoca una inmediata pérdida de velocidad debido a la turbulencia creada. En su momento fue un método bastante innovador y confiable ya que su funcionamiento radica en la forma de sus aspas y era independiente del operador.

Los aerogeneradores ya no ocupan este método debido a que este diseño de aspa no es el óptimo en lo que concierne a conversión energética. Por esto hoy en día se prefiere diseñar un perfil optimizado y luego dotarlo de movimiento axial longitudinal para cambiar la superficie del aspa que enfrenta al viento. Este método, conocido como cambio de ángulo de ataque, claramente

permite manipular la velocidad del rotor frente a las perturbaciones de la velocidad del viento y en caso de necesidad, se puede llegar a inmovilizar el aerogenerador aun estando dentro una tormenta.

3.1.3.2. SISTEMAS DE CONTROL MECÁNICO

El más rudimentario y poco eficiente de los mecanismos de control de velocidad es el freno mecánico el cual no hace nada más que mantener las revoluciones del rotor por debajo de un cierto límite. Este puede operar de forma autónoma o ser accionado por el operador que puede ser un humano o un microcontrolador. El que funciona de forma autónoma es el freno centrífugo el cual se activa mecánicamente cuando el rotor llega a determinadas velocidades.

El más usual de estos sistemas consiste en la clásica caja de cambio mecánica (gear box). Esta tiene la tarea de amplificar las revoluciones del rotor del aerogenerador para obtener las revoluciones necesarias en el eje del generador y así producir electricidad. Esta caja puede ser compleja y tener la posibilidad de cambiar la relación de amplificación con lo cual se logra operar en distintas condiciones de viento. De todas maneras, esta manipulación logra cambios discretos por lo que normalmente tiene que trabajar en conjunto a otro sistema de regulación.

3.1.3.3. SISTEMAS DE CONTROL ELÉCTRICO:

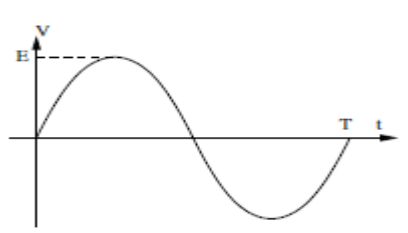
Las más notorias y variadas mejoras en la regulación de velocidad están ciertamente en la operación de las máquinas encargadas de la generación eléctrica. Para aquellos que otorgan su energía a una red continua se podrá contar con el control de la corriente de campo (si se trata de alternadores de rotor bobinado y con rectificación). Esto es correcto considerando que:

$$E = M * w * I_{\text{campo}} \quad (15)$$

Donde:

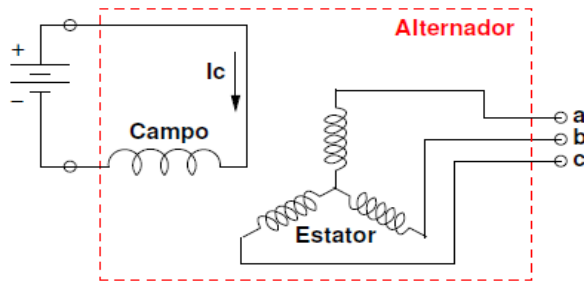
- E es el valor peak de la onda generada tal como se aprecia en la ilustración 15.
- I_{campo} Es la corriente que circula por el bobinado de rotor.
- **M** es una constante que involucra el número de vueltas del embobinado de estator y el porcentaje de flujo magnético generado en el rotor que efectivamente excita el estator.

Ilustración 15 Onda sinusoidal generada en cada enrollado del estator.



El siguiente esquema (ilustración 16) describe la estructura general de un alternador (o máquina sincrónica) la cual puede ser utilizada para aportar energía a un sistema continuo agregando una posterior etapa de rectificación. La fórmula (15) es general, pero al utilizar el alternador como máquina alterna trifásica (que aporta su energía a una red infinita de la misma naturaleza), con la corriente de campo se modifican las potencias activas y reactiva generadas y no el nivel de voltaje. Cabe destacar que el generador puede ser utilizado como freno eléctrico en caso de necesidad, disipando toda la energía en forma de calor emitido por una carga resistiva. Esto hace que el rotor del aerogenerador gire más lentamente.

Ilustración 16. Esquema general de un alternador.



3.1.4. TIPOS DE ALTERNADORES:

En la generación de electricidad a partir de la energía del viento se utilizan dos familias de máquinas:

- Generadores de corriente continua.
- Generadores de corriente alterna.

Los generadores de corriente continua (DC) puros, o dinamos, se utilizan en pequeños aerogeneradores, ya que, la estructura de delgas y múltiples enrollados los hace complejos y poco eficientes. Al aumentar la potencia generada, aumentan las pérdidas que se generan en la transición de las escobillas sobre las delgas. Obtener corriente continua es factible también trabajando con

máquinas alternas, gracias a los puentes rectificadores, compuestos por diodos en su forma más elemental. Hay varias técnicas de control que aprovechan los parámetros eléctricos del alternador para poder manejar las fluctuaciones de la potencia y consecuentemente del voltaje. Entre ellas se encuentran sistemas de control adaptativos y los siempre más frecuentes sistemas de lógica difusa.

3.1.4.1. SISTEMAS DC

Hay varias maneras de generar en continua:

- Con generadores de corriente continua,
- Con generadores síncronos de corriente alterna, con una posterior etapa de rectificación con semiconductores.

DINAMOS

Los generadores DC o dinamos convierten una energía mecánica de entrada en energía eléctrica de salida en forma de corriente continua. En la actualidad, estos generadores han caído en desuso y han sido sustituidos por rectificadores de silicio (diodos), que transforman la CA en DC en forma estática y con mayor rendimiento.

Consisten en un inductor (embobinado alimentado con DC) colocado en el estator el cual tiene la tarea de generar un campo magnético constante (idealmente podría ser un imán permanente). El rotor, y en este caso inducido giratorio, está provisto de un colector de delgas sobre el cual se deslizan las escobillas.

3.1.4.2. ALTERNADOR EN CONTINUA

Como se mencionó anteriormente es práctica común generar continua con máquinas alternas, típicamente alternadores (máquinas sincrónicas). Se puede afirmar que los pequeños aerogeneradores entregan su energía a una red DC y el generador de imán permanente. En el ámbito eólico, la tendencia es utilizar alternadores de múltiples imanes permanentes con igual número de bobinados de estator lo cual define un gran número de polos. El descubrimiento de materiales que manifiestan un poder magnético superior ha sido determinante en el desarrollo de pequeños y medianos generadores permitiendo disminuir considerablemente su tamaño sustituyendo a los electroimanes. Colocar un mayor número de imanes en el generador implica

rebajar su rango de operación considerando revoluciones en el eje. Rebajar el rango de operación del alternador tiene el objetivo de evitar el uso de una caja mecánica amplificadora de RPM. Dejar de lado componentes mecánicos significa evitar pérdidas que comprometan la eficiencia global de la conversión energética. En los últimos años se empezaron a construir enormes generadores con este mismo concepto para lograr una máxima eficiencia. Al tener rotores gigantes, se ha optado por colocar innumerables electroimanes. La magnitud de esto se puede apreciar en el rotor del alternador del Enercon E-112.

Ilustración 17. Alternador conectado a red continua

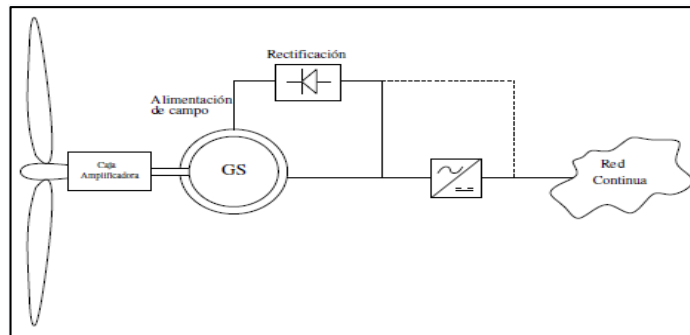


Ilustración 18 Generador de imán permanente conectado a una red continua.

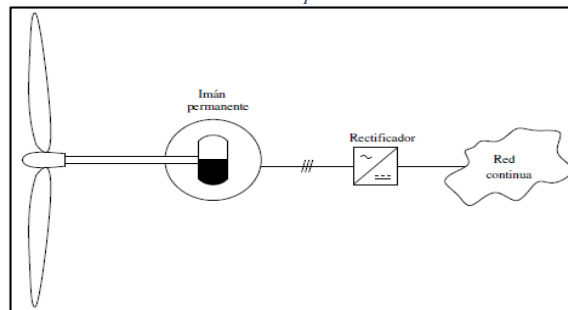


Ilustración 19 Rotor del alternador del E-112



Como se puede apreciar en la Ilustración 18, el sistema contempla una caja amplificadora de RPM. Si se diseña un alternador con un número de polos adecuado para que su velocidad de operación coincida con la velocidad rotacional de las aspas, entonces, se puede omitir la caja

amplificadora. Lo anterior es válido también para la configuración en donde el rotor está constituido por imanes permanentes. Se justifica el uso de estos imanes para lograr alternadores de múltiples polos con un rotor de diámetro razonable. Si se quisiera dotar al rotor de electroimanes manteniendo el número de polos, difícilmente se lograría mantener el diámetro de la máquina y se agregaría, de todas formas, una complejidad estructural importante. Construir alternadores de múltiples polos con electroimanes es sustentable únicamente para generadores donde es posible concebir un rotor de diámetro muy grande.

3.1.5. PANELES SOLARES:

Un panel solar o panel fotovoltaico es una estructura de aluminio formada por células solares compuestas de silicio, las cuales gracias al efecto fotovoltaico se convierte la radiación recibida del sol en energía eléctrica. El efecto fotovoltaico se produce cuando incide la radiación solar sobre un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada a un átomo, para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico. De esta forma se consigue la corriente eléctrica que hace funcionar el mundo (Damiasolar., s.f.)

Existen 3 formas de fabricar los paneles solares los cuales están definidos en función de cómo son sus celdas (Naturgy., s.f.)

- Monocristalinas.
- Policristalinas.
- Amorfás.

Células Monocristalinas

Los paneles fabricados con células monocristalinas son las que tienen un mayor rendimiento y son más estables a lo largo del tiempo. Lógicamente también suelen ser los más caros. Sus celdas se fabrican mediante un complejo procedimiento de cristalización controlado a altas temperaturas, cercanas a los 1500 °C, a partir de un solo germen que consigue un lingote cilíndrico formando una estructura cristalina única. Esta barra de cristalina se trocea en finas láminas u obleas de espesores que rondan los 0,3 mm.

Células Policristalinas

Las células policristalinas se fabrican a partir del silicio metalúrgico mediante procesos de solidificación menos exhaustivos. El crecimiento de los cristales de silicio no se controla por lo

que se forman distintas estructuras cristalinas. Esto permite la fabricación de lingotes de forma rectangular que facilita la posterior conformación de las celdas fotovoltaicas. Los paneles con células policristalinas tienen rendimientos un poco inferiores a costes más reducidos.

Células Amorfas

El tercer método de fabricación consiste en depositar de forma controlada delgadas capas de material fotovoltaico sobre distintos materiales que actúan como soporte. El silicio, telurio de cadmio, el cobre, galio o el selenio se fijan a plásticos, vidrios o tejidos permitiendo la fabricación de células flexibles o integradas en distintos materiales de construcción. Se reduce hasta cincuenta veces el espesor de las celdas lo que permite, además, ahorros considerables de materias primas. En la actualidad hay 3 tipos de paneles solares (Damiasolar., s.f.)

- Panel solar de 12V.
- Panel solar de 24V.
- Panel solar de 24V de red.

3.1.5.1 Panel Solar de 12V

Están compuestas por 36 células de silicio y abarcan un abanico de potencias desde los 5W hasta los 140W. Estas placas se suelen utilizar en instalaciones de baja o media potencia donde hay consumos reducidos o un uso esporádico. Para el funcionamiento de estos paneles es suficiente utilizar un regulador de carga normal, es decir los llamados PWM, que son los modelos estándar. Mientras que en lo que se refiere al almacenamiento de la energía generada, se deberá utilizar una batería solar de 12V o bien varias baterías de 12V conectadas en paralelo (con lo cual se mantiene el voltaje a 12V, pero se suma la capacidad de almacenamiento de las baterías conectadas). Las 36 células que componen este tipo de placa, están conectadas creando un voltaje de funcionamiento cercano a 18V. Esto se hace así, ya que, en el circuito eléctrico hay pérdidas de voltaje de este modo se asegura que cuando el voltaje llegue a la batería esté será superior a 12V y la energía se almacenará correctamente.

3.1.5.2. Panel solar de 24V

Están formadas por 72 células con lo cual su tamaño es mayor y generan potencias que oscilan desde los 150 hasta los 195 vatios -W-. Utiliza también un regulador convencional PWM y baterías conectadas a 24V, es decir, se utilizan batería de 12V conectadas en serie formando conjuntos de 24V. Las células de estas placas solares están conectadas creando un voltaje

aproximado de 37V, con lo cual se garantiza que la energía generada por estas placas solares llegará a las baterías a un voltaje superior a los 24V. Gracias a esto no sólo se realiza bien la carga, sino que además se ecualiza la batería limpiándose sus placas de corrosión y alargándose su vida útil. Las placas solares de 36 y 72 células (de 12 y 24V) se conocen como placas solares aisladas ya que, han sido diseñadas para uso en instalaciones aisladas o autónomas, es decir, en instalaciones que funcionan de forma autónoma con baterías.

3.1.5.3. Panel solar de 24V de red

Este tipo de paneles fueron diseñados inicialmente para uso en huertas solares de conexión a red, en donde la energía producida se distribuía directamente a la red eléctrica. Este tipo de paneles están compuestos por 60 células en lugar de 72, conectadas con el objetivo de producir una potencia alta penalizando un voltaje bajo cercano a 29V. En instalaciones solares autónomas, las placas de red no pueden utilizarse con reguladores normales PWM a causa de su bajo voltaje y de las pérdidas en el circuito eléctrico, pues la energía que llegaría a las baterías sería inferior a los 24V necesarios para su correcta carga. Para usar este tipo de placas es necesario instalar un regulador MPPT en lugar del clásico de PWM. La función del regulador MPPT es amplificar el voltaje hasta los 37V, igual que el que tendría un panel solar de 24V aislada. De este modo se realizará la carga correctamente y se ecualizarán las baterías.

3.1.6 BATERÍAS DE CARGA

Ilustración 20. Baterías de carga



Las baterías hoy en día son muy importantes, sobre todo porque son el elemento primordial al momento de una instalación de un sistema híbrido solar - eólico. Estas aumentan la capacidad

de ahorro energético, ya que, el almacenamiento de energía lo producen las placas solares y el aerogenerador eólico. Las baterías se cargan durante las horas de producción fotovoltaica y eólica y ponen a disposición la energía en las horas en las cuales el sol o el viento no está, es decir en las noches o días nublados (eólicos., s.f.). En la actualidad existen varios tipos de baterías, las cuales son:

3.1.6.1 Baterías de plomo ácido abierto

Las baterías de plomo de ácido abierto, son la tecnología más inferior, su vida útil es de 300 ciclos de carga aproximadamente, esto quiere decir que, si se carga y se descarga en el mismo día, la batería no durará más de un año. Están diseñados para pequeños consumos como alimentación para caravanas, estos se descargan a un 60%, pero las baterías fabricadas con alta tecnología se descargan por completo, están necesitan mantenimiento.

3.1.6.2 Baterías AGM

Estas tienen un ciclo de vida corto, pero cuentan con un poco más de ciclos de carga y descarga, aproximadamente de 500. También pueden usarse para cargar caravanas, y se descargan a un 60%. Su ventaja con respecto a la anterior es que esta no necesita mantenimiento.

3.1.6.3 Baterías de gel

Estas baterías pueden ser utilizadas para viviendas, siempre y cuando el consumo sea bajo. Su vida útil es un poco más larga, aguanta hasta 1200 ciclos, sin embargo, también se descargan a un 60%.

3.1.6.4 Baterías estacionarias

Estas cuentan con una tecnología mucho más superior donde ofrecen 3000 ciclos de carga y descarga, además, la batería puede descargarse al 80%, puede usarse en viviendas grandes.

3.1.6.5 Baterías de litio

Estas baterías ofrecen hasta 6000 ciclos de carga y descarga y llegan al 100% de consumo. Están diseñadas para viviendas de alto consumo o que están aisladas de la urbanización.

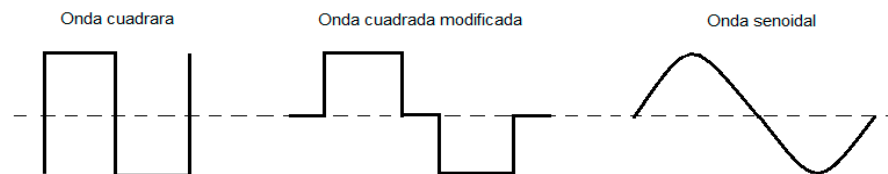
3.1.7 INVERSORES

Son dispositivos que convierten la corriente continua que proviene del sistema de almacenamiento en corriente alterna, por medio de una serie de circuitos electrónicos que además

aumentan la tensión. El uso de estos dispositivos aumenta el costo del sistema y reduce su eficiencia, pero es muy necesario cuando la carga solo puede funcionar con corriente alterna. La mayoría de los inversores tienen eficiencias entre el 85 - 90 % a plena carga, pero si se usan con cargas menores su eficiencia disminuye (Harper., 2011).

Los inversores se clasifican dependiendo de la forma de la onda que genera a la salida, los tipos de ondas son: senoidales, semisenoidales y de onda cuadrada.

Ilustración 21 Tipos de inversores.



3.1.7.1 INVERSORES SENOIDALES.

Corresponden a los que proporcionan una onda senoidal a la salida, similar a las de las redes eléctricas públicas. Con este tipo de onda es posible alimentar equipos con componentes de condición resistiva (lámparas incandescentes) e inductiva (electrodomésticos que incorporan motores). Tienen un rendimiento menor y un precio superior a los de tipo semisenoidal (Gallego N. S., 2016).

3.1.7.2 INVERSORES SEMISENOIDALES.

Entregan una onda en forma semisenoidal, más conocida como onda cuadrada o senoidal modificada. Tienen un alto rendimiento y son económicos, pero cuentan con una desventaja de tener incompatibilidad de funcionamiento con algunos equipos inductivos.

3.1.7.3 INVERSORES DE ONDA CUADRADA.

Son los inversores más económicos en el mercado, generan una señal de onda cuadrada que puede ser perjudicial para la operación de algunos aparatos electrónicos, ya que, presentan alta distorsión armónica en la onda de voltaje.

3.1.7.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Los inversores se definen por un conjunto de especificaciones técnicas, entre las más

importantes, se encuentran la forma de la onda de salida, la tensión nominal de entrada, de operación y de salida; la corriente de entrada y de salida, la frecuencia de la corriente alterna de salida, el rendimiento y la potencia nominal de salida. Esta última, es el parámetro bajo el cual se selecciona el inversor y se calcula como 1,2 veces la potencia instalada, así:

$$P_{inv} = 1,2 P_{ins}$$

La ecuación anterior aplica cuando se conectan al sistema todas las cargas al mismo tiempo, pero si por el contrario se conectan las cargas intermitentemente como por ejemplo en un proyecto para la electrificación de una vivienda, se puede tener como valor de la potencia nominal para la selección del inversor la misma potencia de la instalación.

3.1.7.5 COMPATIBILIDAD ENTRE TIPOS DE INVERSORES Y ELECTRODOMÉSTICOS.

Como se mencionó anteriormente, no todos los tipos de onda entregados por los inversores son compatibles con los equipos eléctricos y electrónicos. De allí la importancia de una buena selección para un óptimo funcionamiento tanto de equipos como de inversores. En la siguiente tabla se encuentra la compatibilidad de los tipos de inversores con los equipos y electrodomésticos comunes.

Tabla 10 Compatibilidad de los tipos de inversores con los equipos y electrodomésticos comunes.

Electrodoméstico o equipo	Onda Cuadrada	Onda cuadrada modificada	Onda senoidal
Refrigeradores, alumbrado, licuadora, aspiradoras, computadores	Aplicable	Aplicable	Aplicable
Bombas, lavadoras, ventiladores	Posibilidad de sobrecalentamiento	Posibilidad de sobrecalentamiento, corregible usando filtros	Aplicable
Televisores, sistemas musicales, radios y monitores	Posible interferencia	Posibles interferencias esporádicas	Aplicable
Hornos microondas, cargadores de baterías	Reducción en la potencia del horno y baterías sin carga completa	Hornos operando a menor potencia, baterías no cargadas	Aplicable

3.2. CONMUTADORES DE POTENCIA

Son sistemas ampliamente utilizados en el diseño de sistemas de generación eléctrica, en la mayoría de los casos, estos son dispositivos de construcción y funcionamiento simple, siendo de tipo mecánico o eléctrico, solo en casos muy específicos se requiere de soluciones más

complejas, acudiendo a la electrónica, los sistemas digitales e incluso la inteligencia artificial.

Para el sistema en concreto se considera la implementación de un sistema de conmutación de potencia, ya que, se cuenta con dos e incluso tres fuentes de potencia distintas y además de diferente naturaleza, provocando que se presenten interrupciones en el suministro de corriente eléctrica, fenómeno que es común en las fuentes de energía renovables, pues dependen estrechamente de las condiciones del medio ambiente en el cual se encuentren. De esta manera, se considera este mecanismo en procura de proporcionar energía de la forma más eficientemente posible, entendiéndose esto como el suministro de energía eléctrica de manera ininterrumpida.

En esta sección se detalla los sistemas de conmutación de potencia, su funcionamiento básico, los usos que se le da a estos, sus características, los tipos de conmutadores implementados en sistemas de generación eléctrica híbridos, además de las variables y métodos que implican su diseño.

3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS DE CONMUTACIÓN.

Un conmutador de potencia, también conocido como interruptor de potencia es un dispositivo eléctrico diseñado para controlar y gestionar el flujo de energía eléctrica de alto voltaje y alta corriente en sistemas eléctricos industriales o de distribución de energía. Su principal función es la de interrumpir o establecer la conexión eléctrica en condiciones de carga pesada y en situaciones donde se manejan niveles significativos de energía.

Los componentes típicos y las características de los conmutadores de potencia son:

- **Mecanismos de operación:** Los conmutadores de potencia suelen utilizar un mecanismo de operación manual, electromagnético o motorizado para abrir o cerrar el circuito eléctrico. Estos mecanismos están diseñados para soportar altas cargas y proporcionar un funcionamiento confiable.
- **Contactos principales:** son componentes conductores que se abren o cierran para permitir o interrumpir el flujo de corriente eléctrica. Estos contactos principales están diseñados para manejar corrientes eléctricas muy altas y deben ser capaces de soportar el calor y el arco eléctrico que se genera durante la apertura y cierre del circuito.
- **Sistema de aislamiento:** Los conmutadores de potencia están diseñados con materiales y tecnologías de aislamiento adecuados para evitar cortocircuitos y asegurar la seguridad

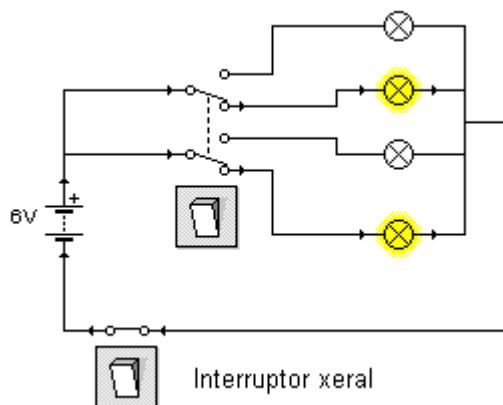
eléctrica. Esto puede incluir aisladores, materiales dieléctricos y sistemas de extinción de arco.

- **Mecanismos de protección:** la mayoría de los conmutadores de potencia están equipados con sistemas de protección que detectan condiciones anormales, como sobrecargas o cortocircuitos, y activan la apertura automática del conmutador para evitar daños en el sistema eléctrico y prevenir riesgos para las personas.
- **Indicadores y controles:** los conmutadores de potencia suelen contar con indicadores visuales y controles que permiten a los operadores supervisar su estado y realizar operaciones de apertura y cierre de manera segura.
- **Carcasas y sistemas de enfriamiento:** estos dispositivos suelen estar contenidos en carcasas robustas para protegerlos de condiciones ambientales adversas y mantener la seguridad. Además, algunos conmutadores de potencia incorporan sistemas de enfriamiento para disipar el calor generado durante la conmutación de alta potencia.

Existen dos tipos de conmutadores de potencia (FAS-Electricidad, s.f.):

- **Unipolares:** formados por una terminal de entrada y otra de salida.
- **Multipolares o de selección múltiple:** son aquellos en los que en su terminal de salida tengan varias conexiones. Estas están ligadas entre sí, garantizando que el sentido en la conmutación de las dos conexiones sea el mismo con respecto al terminal existente en la llegada.

Ilustración 22. Circuitos de Conmutación



3.3. SISTEMA INTELIGENTE DE GENERACIÓN HÍBRIDA.

En este apartado se dará a conocer el tipo de tecnología del sistema híbrido eólico - solar para la generación eléctrica que cumpla con las características particulares del municipio de Guapi, Departamento del Cauca. Teniendo en cuenta que este sistema se desea implementar en localidades del municipio de Guapi se listan los electrodomésticos que tienen en promedio estas viviendas, información conocida por una encuesta realizada en la localidad de Nueva Bellavista, municipio de Guapi (M. Rendon Leal, 2021) los cuales son:

Tabla 11 Electrodomésticos vivienda estrato 1

ELECTRODOMÉSTICO	CANTIDAD
Bombillos	3
Nevera	1
Celular	2
Televisor	1
Computador	1
Licuada	1
Plancha	1
Equipo de sonido	1
Total	10

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a calcular el consumo de potencia diaria y mensual de una vivienda, para realizar este cálculo se tuvo en cuenta las fichas técnicas de cada electrodoméstico con el fin de conocer la potencia unitaria. Los datos calculados se generaron a partir de los siguientes parámetros:

N = Número de dispositivos.

P = Potencia unitaria.

Td = Tiempo medido en horas de consumo por día.

Tm = Tiempo medido en días de utilización de la carga en un mes.

Cd = Consumo medio diario de la carga Wh/día.

- Donde $Cd = N * P * Td$.

Cm = Consumo medio mensual de una carga en Wh/mes.

- Donde $Cm = Cd * Tm$.

Entonces, los valores calculados en la tabla 12. hacen referencia a la potencia requerida por una sola vivienda.

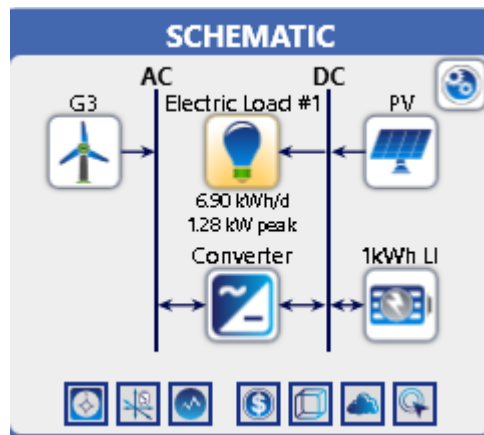
Tabla 12 Referencia a la potencia requerida por una sola vivienda

Electrodoméstico	N	Potencia W(P)	Tiempo Hora/Día (Td)	Tiempo Dia/Mes (Tm)	Consumo Wh/día (Cd)	Consumo Wh/mes (Cm)
Bombillos	3	20	8	30	480	14400
Nevera	1	200	24	30	4800	144000
Celular	2	5	2	20	20	400
Televisor	1	100	4	30	400	12000
Computador	1	70	2	5	140	700
Licuada	1	300	0.166	4.99	49.8	248.502
Equipo de sonido	1	100	2	2.5	200	500
Total	10	845	42.166	122.49	6089.8	172248.502

Según la potencia que fue hallada en la tabla 12 y la información compilada de las características de la zona objeto de estudio se procede a escoger cada uno de los componentes del sistema híbrido eólico - solar. Para realizar los cálculos del controlador y la escogencia de cada uno de los componentes del sistema híbrido se hará uso del software HOMER PRO, el cual a través de simulación nos permitirá saber con exactitud cada uno de los componentes del sistema dadas las condiciones meteorológicas de guapi.

Se implementa el sistema híbrido eólico solar en el software Homer pro con la respectiva carga diaria hallada anteriormente en la tabla 12.

Ilustración 23. Sistema híbrido en HOMER PRO



Se agrega la ubicación en donde se implementará el sistema para poder obtener los datos de la radiación solar y velocidad del viento en tiempo real.

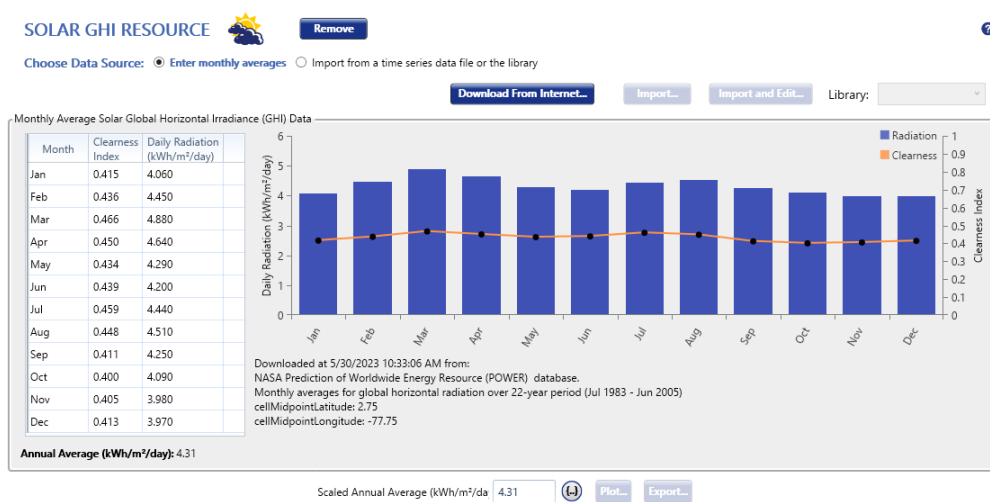
Ilustración 24. Ubicación Guapi, Cauca.



Ya teniendo la ubicación en el mapa el software nos permitirá tener los datos en tiempo real, los cuales son los siguientes:

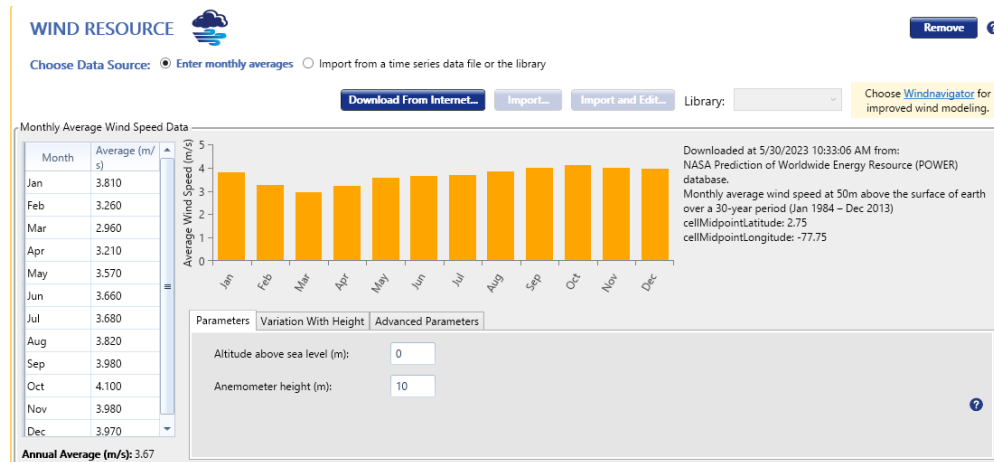
Radiación solar:

Ilustración 25. Radiación solar mensual en Guapi.



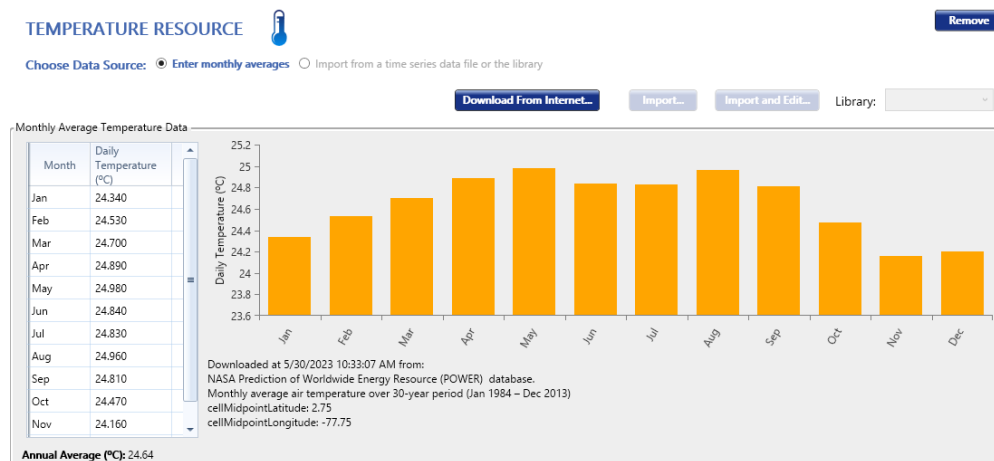
Velocidad de viento:

Ilustración 26. Velocidad de viento mensual en guapi.



Temperatura:

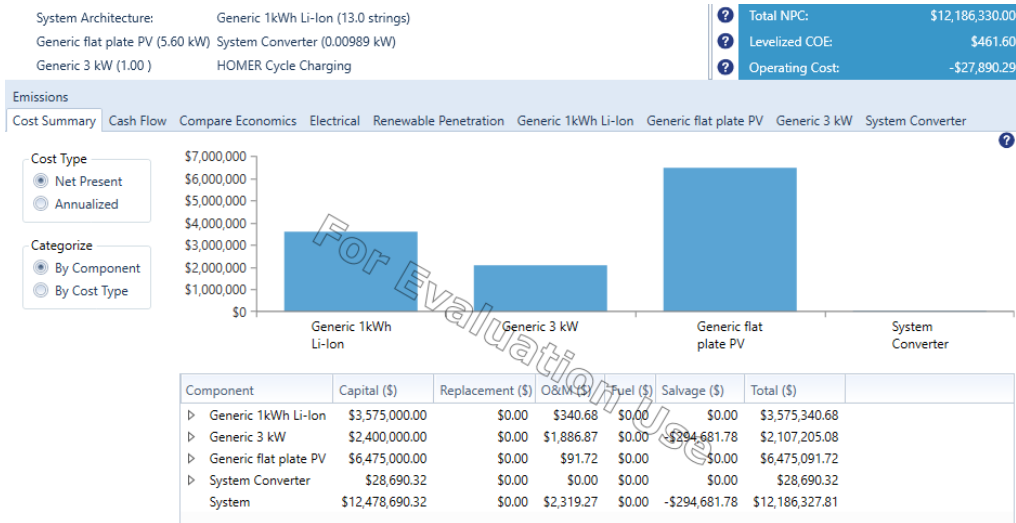
Ilustración 27. Temperatura mensual en Guapi.



Teniendo ya el sistema híbrido, la ubicación, la radiación solar, la velocidad de viento y temperatura procedemos a simular para obtener los resultados.

En la ilustración 28 se observa cada uno los componentes del sistema híbrido hallados por el programa, en donde cada componente tiene su valor económico y la potencia entregada:

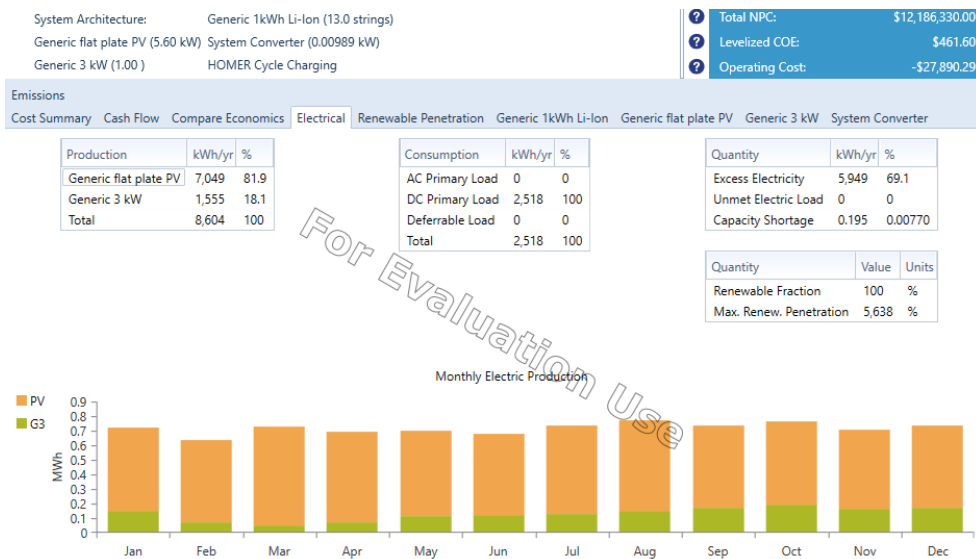
Ilustración 28. Costo total sistema híbrido en Homer Pro.



El sistema híbrido que se implementó en el software fue con componentes genéricos por lo que en la vida real no existen por lo tanto se procede a buscar los componentes comerciales que más cerca estén tanto en características de potencia como en precio, en la ilustración 28, se puede observar que el costo total del sistema es de 12'186.330, con un costo de operación de 27,890 pesos.

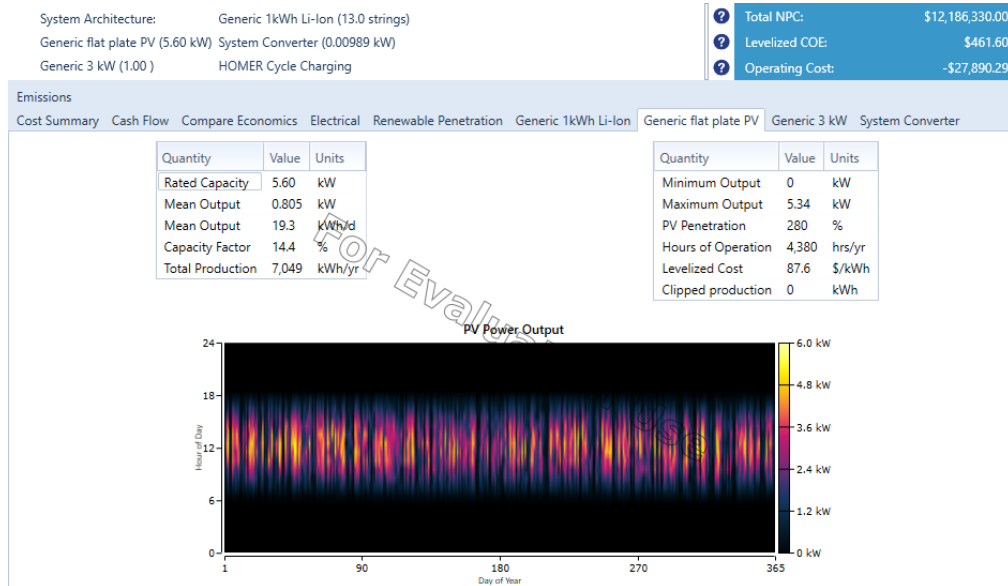
La generación mensual de energía por el sistema es:

Ilustración 29. Producción de energía mensual del sistema.



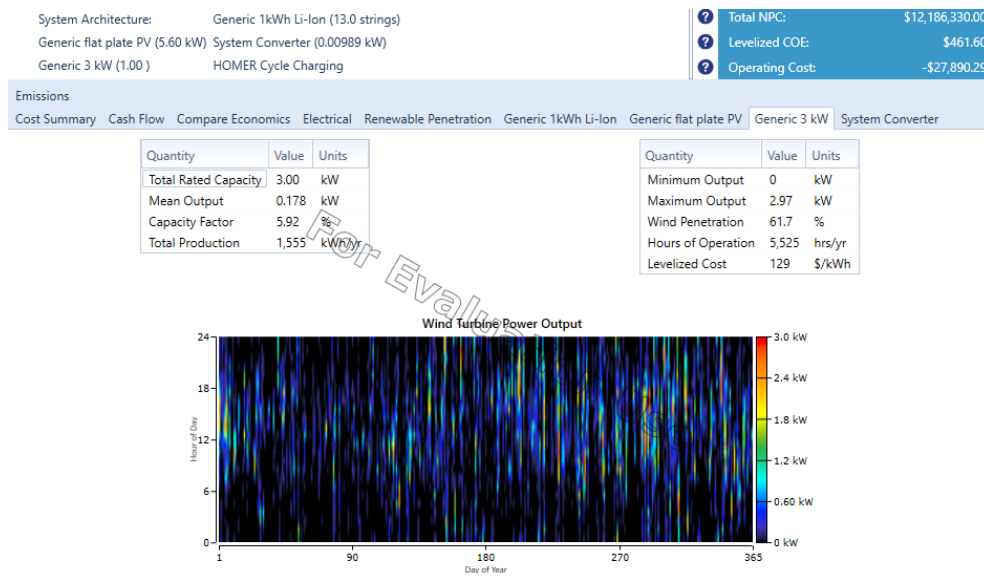
El software también entrega información de cada uno de los componentes, en la ilustración 30. Se puede ver la potencia generada por los paneles en cada hora del día:

Ilustración 30. Potencia generada por los paneles en horas del día.



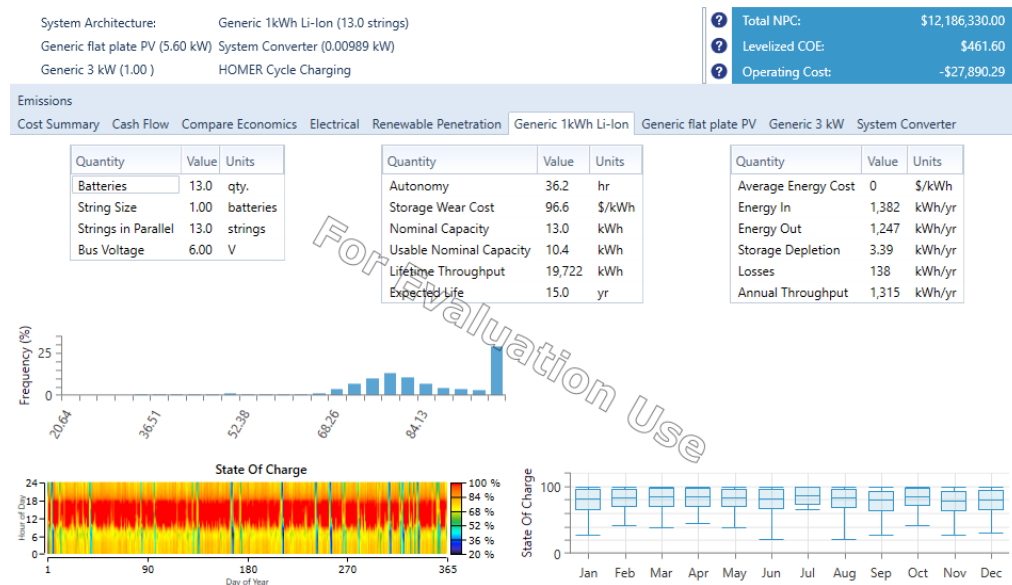
Potencia generada por la turbina en cada hora del día:

Ilustración 31. Potencia generada por la turbina en horas del día.



Potencia almacenada en las baterías:

Ilustración 32. Potencia almacenada en las baterías en horas del día.



Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a través del software procedemos a buscar cada uno de los componentes comerciales del sistema híbrido que más se acerquen a cada una de las características como la potencia generada y el precio.

Tabla 13. características de los componentes según HOMER PRO.

	Potencia	Precio
Turbina eólica	3.0 KW	2'400.000
Paneles solares	7.0 KW	6'475.000
Baterías	1 KW/h	3'575.000
Total		12'450.000

3.2.1 AEROGENERADOR

Dadas las velocidades de vientos en el municipio de guapi que son muy bajas y teniendo en cuenta los resultados de HOMER PRO se decide trabajar con un aerogenerador comercial tipo vertical (Windside), además que una de sus principales ventajas es trabajar a velocidades de vientos muy bajas, además de que también trabaja con cualquier dirección del viento como se pudo

ver en el capítulo anterior.

Ilustración 33. Aerogenerador comercial tipo vertical (Windside).



Características del aerogenerador Windside.

Tabla 14 Características del aerogenerador Windside (Aliexpress.com., s.f.)

Marca	FLTXNY
Tipo	FS-2000W
Potencia nominal	2000W
Potencia Máxima	2100W
Velocidad de arranque	1.5 m/s
Nominal de la velocidad del viento	11 m/s
Tensión nominal	24/48/96 V
Diámetro rueda	0.8 m
Sistema de control	electromagnetico

Altura de hojas	2 m
Numero de hojas	5
Material de cuchillas	Fibra de vidrio
Generador	Generador de Maglev.
Temperatura de trabajo	-50°C a 60°C

3.2.2. PANEL SOLAR Y BATERÍAS

Para escoger los componentes del sistema de paneles solares se tiene en cuenta los resultados de la tabla 13 dados por el software HOMER PRO.

No se pudo detallar en el software cuantos paneles y cuantas baterías se necesitan para el sistema, entonces lo que se hizo fue buscar el sistema de paneles solares comerciales que más cerca estuvieran tanto en potencia generada al día y en costo, por lo que se tuvieron en cuenta estas dos características, basados en estas condiciones se escogieron 4 paneles solares tipo monocristalinos:

Ilustración 33. Panel solar (Ficha-tecnica-amerisolar, s.f.).



Tabla 15. Características de los paneles solares.

Tipo de celda	Monocrystalina
Numero de celdas	144 (6x24)
Temperatura operación	-40 °C a 84°C
Voltaje corto circuito	49.8 V
Corriente corto circuito	10.32 A
Tensión a máxima potencia	41.4 V
Corriente a máxima potencia	9.79 A

Estos sistemas de paneles solares tendrán la capacidad de producir 6480 w al día, teniendo la capacidad de poder alimentar los electrodomésticos antes mencionados, la vida útil de los paneles solares esta entre 15 – 20 años.

Por otro lado, las baterías que se escogieron para el sistema híbrido la vida útil dependerá del use que el cliente le dé, sin embargo, solartex que es la empresa que fabrica estos elementos han creado inversores cargadores inteligentes que de forma automática no permitirán que las baterías se descarguen por encima del 50% de su capacidad, lo cual permitirá una vida útil de 15 años.

Ilustración 34. Baterías (Ficha-tecnica-bateria, s.f.)



Tabla 16. características de las baterías.

Tipo	Gel ciclo profundo
Voltaje nominal	12 V
Capacidad nominal	150 Ah
Temperatura operación	-25°C a 60°C
Resistencia interna	4.0mΩ

Estos fueron los componentes que más se acercaron a los de la simulación en el software HOMER PRO, el costo total de estos componentes comerciales fue de 13'787.393 pesos un poco más costosos con respecto a los genéricos, pero fueron los que más cercanos estuvieron respecto a la potencia generada que es lo más nos importa a la hora de implementarlo.

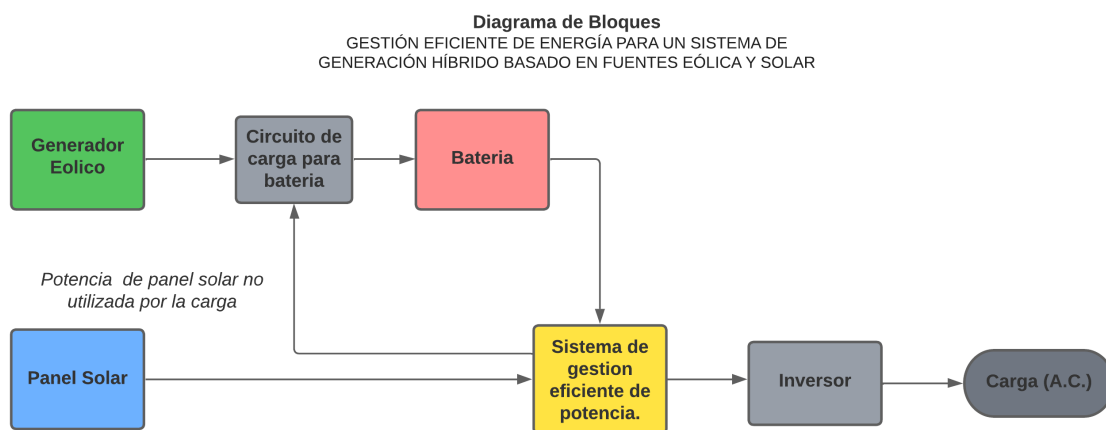
CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL CONMUTADOR DE POTENCIA E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA.

En este capítulo se da a conocer el proceso de elaboración para la implementación del sistema híbrido eólico solar, además del diseño de gestión de la potencia de los generadores eólico y solar junto con el banco de baterías seleccionado para alimentar una vivienda en una zona no interconectada en el municipio de Guapi, departamento del Cauca.

4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DE MODELO

Ilustración 35 Diagrama de bloques, gestión eficiente de energía.



La ilustración 36 corresponde a una representación del montaje completo del sistema a implementar, está representado en bloques, donde se puede observar las tres fuentes de potencia, los cuales son: los paneles solares, que se conectan con el sistema de gestión o conmutación de la potencia; El generador eólico está encargado de alimentar el paquete de baterías del sistema, el cual se conecta al sistema de gestión, a la salida del sistema de gestión se cuenta con un inversor, ya que la potencia entregada por los paneles solares y las baterías está en D.C., este inversor finalmente entrega la energía gestionada a la carga, que es de tipo A.C.

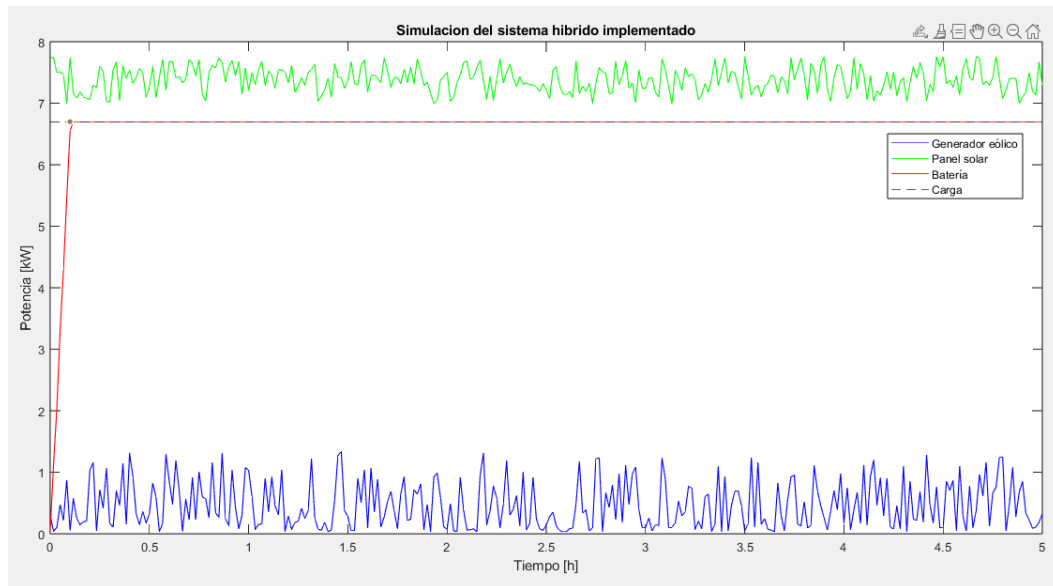
4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO EN MATLAB.

Para la implementación del sistema híbrido eólico-solar con baterías se da uso del software de ingeniería Matlab, en el cual se plantea los modelos matemáticos que representan el

comportamiento de los sistemas de generación eléctrica en un script, el código mencionado se encuentra detallado y explicado en el Anexo 1.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del código desarrollado para esta aplicación, el cual representa los modelos matemáticos que corresponden al sistema híbrido (eólico – solar).

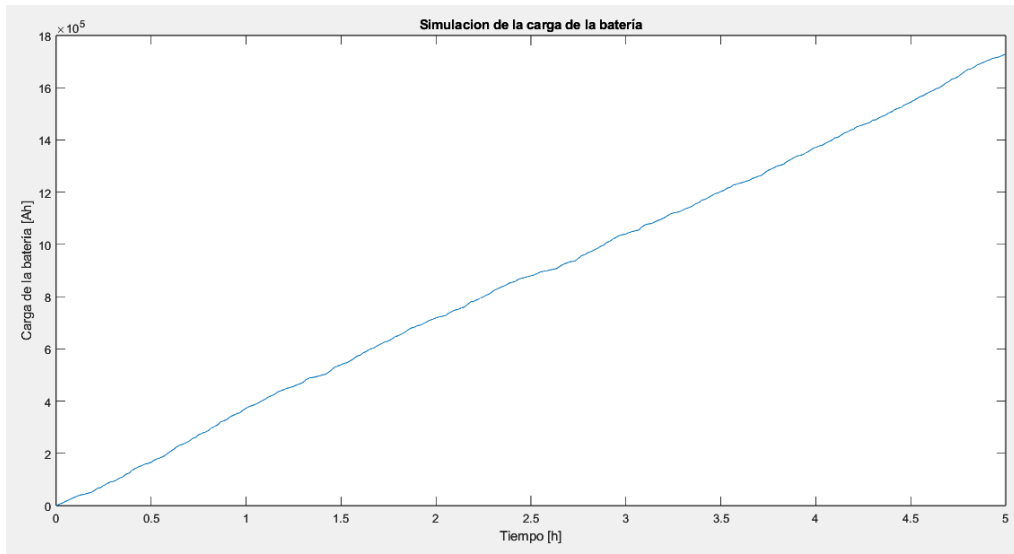
Ilustración 36. Curvas de Potencia vs Tiempo.



La ilustración 36. Se puede observar las curvas de potencias vs tiempo generadas por los paneles solares y turbina eólica o aerogenerador, con un tiempo de simulación de 5 horas, y la potencia almacenada en las baterías.

En la ilustración 37. se puede ver solo la curva de la potencia almacenada en el paquete de baterías en un tiempo de simulación de 5 horas.

Ilustración 37. Simulación de la carga de las baterías.



4.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA POTENCIA.

Para el diseño del sistema de gestión se propone un conmutador de potencia que usa lógica difusa para su funcionamiento, se desarrolla teniendo en cuenta los requerimientos de los sistemas basados en lógica difusa y los requerimientos propios del sistema de generación híbrido como de la naturaleza de la carga.

4.3.1. Entradas del bloque de lógica difusa.

A continuación, se presentan las siguientes entradas propuestas para el conmutador basado en lógica difusa, en su orden, con el nombre de la variable, los conjuntos difusos, las funciones de pertenencia y los parámetros:

1. Potencia entregada por los paneles solares (PV):
 - Conjunto difuso "Baja": Triangular, [0, 0, 2190]
 - Conjunto difuso "Media": Triangular, [1800, 3600, 5240]
 - Conjunto difuso "Alta": Triangular, [4800, 7800, 7800]
2. Potencia entregada por las baterías (BAT): Baja, Media, Alta.
 - Conjunto difuso "Baja": Triangular, [0 0 1900]

- Conjunto difuso "Media": Triangular, [1550, 3500, 5000]
- Conjunto difuso "Alta": Triangular, [4600 7000 7000]

3. Hora del día (Time):

- Conjunto difuso "Madrugada": Triangular, [0, 0, 6]
- Conjunto difuso "Mañana": Trapezoidal, [5, 9, 12, 14]
- Conjunto difuso "Tarde": Trapezoidal, [13, 15, 17, 19]
- Conjunto difuso "Noche": Triangular, [18, 24, 24]

Los conjuntos difusos de las entradas de ‘potencia entregada por los paneles solares (PV)’ y ‘potencia entregada por las baterías (BAT)’ se diseñaron teniendo en cuenta los rangos de potencia máxima que estas dos fuentes de energía entregan, según las características propias de los componentes escogidos para la implementación del sistema híbrido detallados en el capítulo 3 de este documento, por lo cual los rangos de los conjuntos están en términos de watts (w).

4.3.2. Salidas del bloque de lógica difusa.

En el caso de las salidas, se tiene en cuenta que la salida del conmutador basado en lógica difusa es la carga, es decir, la demanda de potencia por parte de la vivienda que se supone para el diseño y simulación del sistema, la carga dentro del proceso de diseño se subdivide en tres categorías:

- A. Tomacorrientes del área de cocina (Cocina).
- B. Tomacorrientes en el resto de la vivienda (Tomacorrientes).
- C. Iluminación general de la vivienda (Iluminación).

Lo anterior cabe dentro de las propuestas de diseño para el sistema de generación híbrido planteado en este documento, considerando que esto puede representar un aumento en la eficiencia energética y la optimización de recursos, ya que cada grupo puede tener diferentes patrones de consumo y requerimientos energéticos, de esta manera se puede tener una mejor gestión y priorización del suministro de energía a los subgrupos, así pues, se puede contar con una mayor flexibilidad y adaptabilidad del sistema según ciertas condiciones de demanda del sistema y condiciones de entrega de potencia dependientes de los recursos necesarios para la

generación de esta, permitiendo un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y minimizando el desperdicio de energía, todo lo anterior también se tiene en cuenta en las reglas de la lógica difusa del conmutador.

Para el caso concreto y para que la lógica difusa tenga sentido se debe considerar no solo los subgrupos de la carga si no las posibles conexiones útiles entre las dos fuentes de energía a conmutar y los subgrupos de la carga, por lo cual las salidas del conmutador basado en lógica difusa se presentan de la siguiente manera, teniendo en cuenta que está definido como el porcentaje de potencia entregado al subgrupo:

Conexión 1 - Potencia de paneles solares alimenta a Cocina (PV_COC):

- Conjunto difuso "Baja": Triangular, [0, 0, 0.3]
- Conjunto difuso "Media": Triangular, [0.15, 0.5, 0.83]
- Conjunto difuso "Alta": Triangular, [0.7, 1, 1]

Conexión 2 - Potencia de paneles solares alimenta a Tomacorrientes (PV_TC):

- Conjunto difuso "Baja": Triangular, [0, 0, 0.3]
- Conjunto difuso "Media": Triangular, [0.15, 0.5, 0.83]
- Conjunto difuso "Alta": Triangular, [0.7, 1, 1]

Conexión 3 - Potencia de baterías alimenta Cocina (BAT_COC):

- Conjunto difuso "Baja": Triangular, [0, 0, 0.3]
- Conjunto difuso "Media": Triangular, [0.15, 0.5, 0.83]
- Conjunto difuso "Alta": Triangular, [0.7, 1, 1]

Conexión 4 - Potencia de baterías alimenta Tomacorrientes (BAT_TC):

- Conjunto difuso "Baja": Triangular, [0, 0, 0.3]
- Conjunto difuso "Media": Triangular, [0.15, 0.5, 0.83]
- Conjunto difuso "Alta": Triangular, [0.7, 1, 1]

Conexión 5 - Potencia de baterías alimenta Iluminación (BAT_Ilum):

- Conjunto difuso "Baja": Triangular, [0, 0, 0.3]
- Conjunto difuso "Media": Triangular, [0.15, 0.5, 0.83]
- Conjunto difuso "Alta": Triangular, [0.7, 1, 1]

Conexión 6 - La suma de la potencia de baterías y paneles solares alimenta Cocina (SUM_COC):

- Conjunto difuso "Baja": Triangular, [0, 0, 0.3]
- Conjunto difuso "Media": Triangular, [0.15, 0.5, 0.83]
- Conjunto difuso "Alta": Triangular, [0.7, 1, 1]

Conexión 7 - La suma de la potencia de baterías y paneles solares alimenta Tomacorrientes (SUM_TC):

- Conjunto difuso "Baja": Triangular, [0, 0, 0.3]
- Conjunto difuso "Media": Triangular, [0.15, 0.5, 0.83]
- Conjunto difuso "Alta": Triangular, [0.7, 1, 1]

4.3.3. Reglas del bloque de lógica difusa.

Una vez están diseñadas y parametrizadas las entradas y salidas del sistema se presentan las reglas diseñadas para la lógica difusa del conmutador:

1. Si la potencia de los paneles solares es media, la carga de las baterías es baja y es de mañana, entonces el porcentaje de potencia de los paneles solares hacia la cocina es medio y el porcentaje de potencia de los paneles solares hacia los tomacorrientes es media.
2. Si la potencia de los paneles solares es alta, la carga de las baterías es media y es de mañana, entonces el porcentaje de potencia de los paneles solares hacia la cocina es alto y el porcentaje de potencia de los paneles solares hacia los tomacorrientes es baja.
3. Si la potencia de los paneles solares es alta, la carga de las baterías es alta y es de mañana, entonces el porcentaje de potencia de la suma de las baterías y los paneles solares hacia la cocina es alto y el porcentaje de potencia de la suma de las baterías y los

paneles solares hacia los tomacorrientes es media.

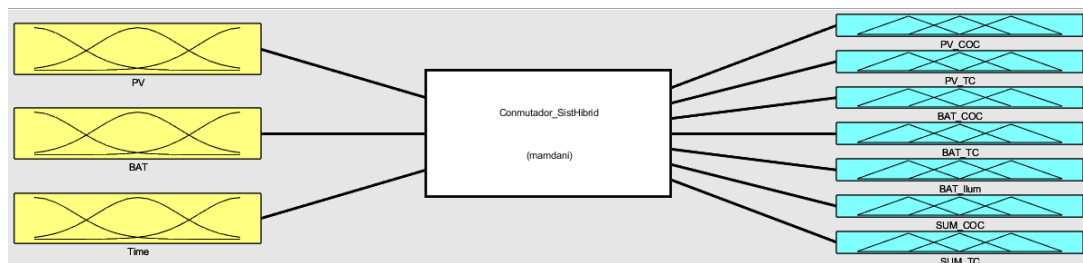
4. Si la potencia de los paneles solares es alta, la carga de las baterías es alta y es de tarde, entonces el porcentaje de potencia de los paneles solares hacia la cocina es alto y el porcentaje de potencia de los paneles solares hacia los tomacorrientes es alta.
5. Si la potencia de los paneles solares es media, la carga de las baterías es alta y es de mañana, entonces el porcentaje de potencia de la suma de las baterías y los paneles solares hacia la cocina es alto y el porcentaje de potencia de la suma de las baterías y los paneles solares hacia los tomacorrientes es alta.
6. Si la potencia de los paneles solares es media, la carga de las baterías es alta y es de tarde, entonces el porcentaje de potencia de la suma de las baterías y los paneles solares hacia la cocina es alto y el porcentaje de potencia de la suma de las baterías y los paneles solares hacia los tomacorrientes es alta.
7. Si la potencia de los paneles solares es baja, la carga de las baterías es alta y es de noche, entonces el porcentaje de potencia de las baterías hacia la cocina es alto, el porcentaje de potencia de las baterías hacia los tomacorrientes es alta y el porcentaje de potencia de las baterías hacia la iluminación es alta.
8. Si la potencia de los paneles solares es baja, la carga de las baterías es media y es de noche, entonces el porcentaje de potencia de las baterías hacia la cocina es medio y el porcentaje de potencia de las baterías hacia la iluminación es media.
9. Si la potencia de los paneles solares es baja, la carga de las baterías es alta y es de mañana, entonces el porcentaje de potencia de la suma de las baterías y los paneles solares hacia la cocina es alto y el porcentaje de potencia de la suma de las baterías y los paneles solares hacia los tomacorrientes es alta.
10. Si la potencia de los paneles solares es baja, la carga de las baterías es media y es de mañana, entonces el porcentaje de potencia de la suma de las baterías y los paneles solares hacia la cocina es alto y el porcentaje de potencia de la suma de las baterías y los paneles solares hacia los tomacorrientes es media.
11. Si la potencia de los paneles solares es baja, la carga de las baterías es alta y es de

mañana, entonces el porcentaje de potencia de las baterías hacia la cocina es alto, el porcentaje de potencia de las baterías hacia los tomacorrientes es medio y el porcentaje de potencia de las baterías hacia la iluminación es medio.

- Si la potencia de los paneles solares es baja, la carga de las baterías es media y es de mañana, entonces el porcentaje de potencia de las baterías hacia la cocina es medio, el porcentaje de potencia de las baterías hacia los tomacorrientes es bajo y el porcentaje de potencia de las baterías hacia la iluminación es medio.

4.3.4. Bloque de lógica difusa diseñado.

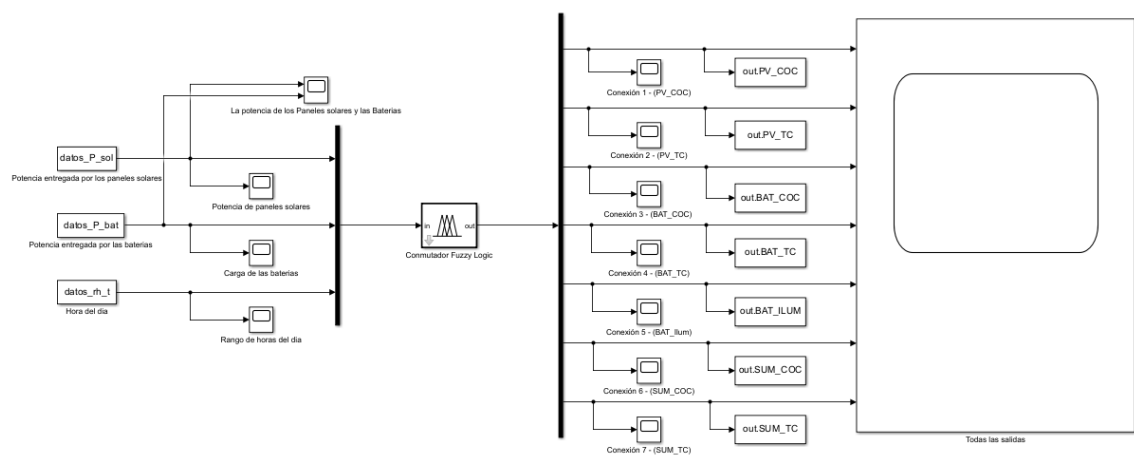
Ilustración 38. Bloque Lógica Difusa.



La anterior imagen ilustra el diagrama completo del bloque de lógica difusa del conmutador, el cual fue diseñado dentro de la herramienta fuzzy logic designer de Matlab, donde se pueden observar las entradas y las salidas del sistema de manera general.

4.3.5 Montaje del sistema completo en Simulink.

Ilustración 39. Montaje completo en Simulink.



En la anterior imagen se puede observar la implementación del sistema de generación

hibrido realizado en script de Matlab, junto con el conmutador de lógica difusa diseñado para el sistema propuesto, lo anterior se lleva a cabo en el área de trabajo de Simulink de Matlab, en donde se realizan las simulaciones para las pruebas, ajustes y resultados del diseño propuesto.

CAPÍTULO V

SIMULACIÓN DEL SISTEMA, RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

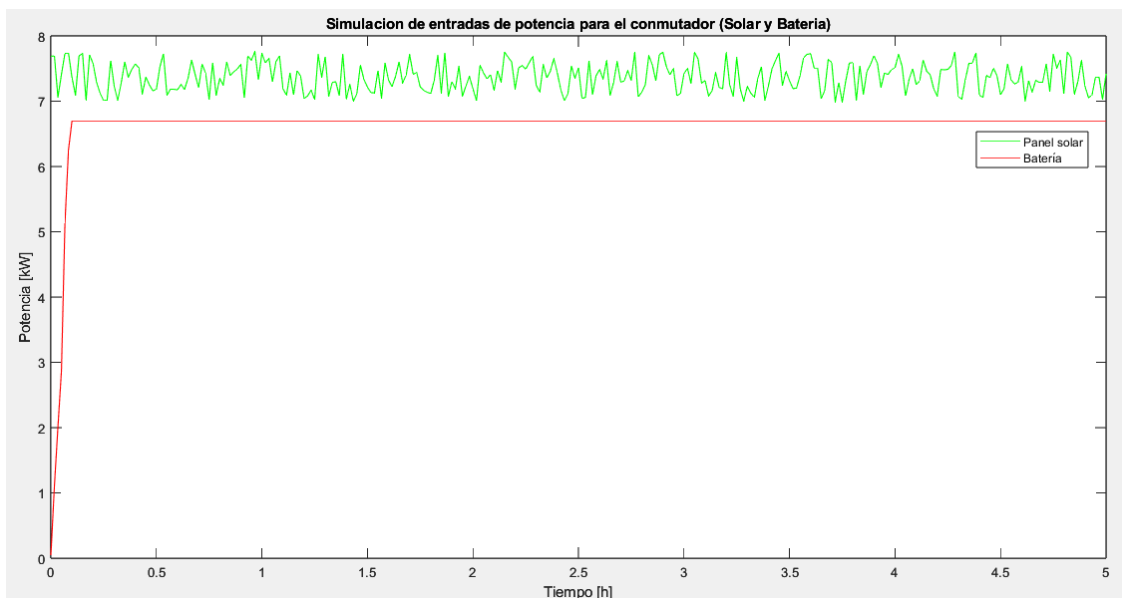
En este capítulo se presentan las simulaciones realizadas con el propósito de demostrar el comportamiento del conmutador de potencia ante ciertas condiciones de potencia de los generadores y las horas del día transcurridas, establecidas previamente en el script de Matlab, se analiza su comportamiento en diferentes condiciones y se evalúa la conmutación que realiza el diseño propuesto basado en lógica difusa presentado en este documento.

5.1 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONMUTADOR EN HORAS DEL DÍA.

Para la simulación que se expone a continuación, contamos con una potencia disponible en paneles solares de 7500 W aproximadamente y en las baterías una potencia de 6700 W, la hora del día en la que se realizó la simulación fue entre las 10:00 am y las 3:00 pm, por lo que la simulación se realiza durante 5 horas, en Simulink se simulan 18000 segundos.

5.1.1 Entradas del conmutador con lógica difusa

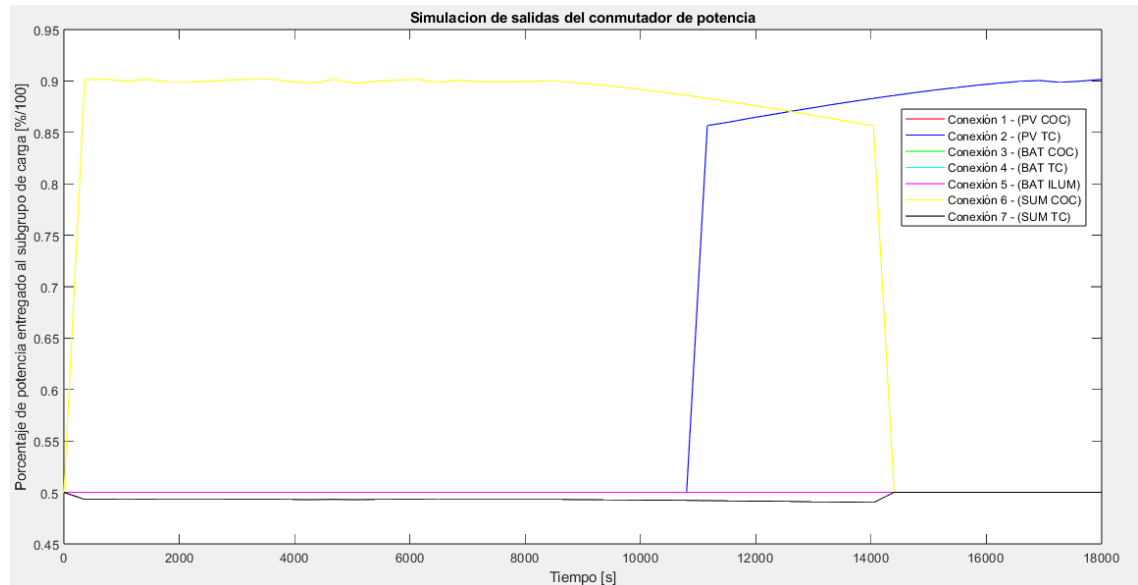
Ilustración 40. Simulación de entradas de potencia para el conmutador en horas del Día (Solar y baterías).



En la ilustración 40. se puede observar la potencia de los paneles solares y las baterías que ingresa al conmutador de potencia.

5.1.2 Salidas del conmutador con lógica difusa

Ilustración 41. Simulación de salidas del conmutador de potencia en horas del Día.

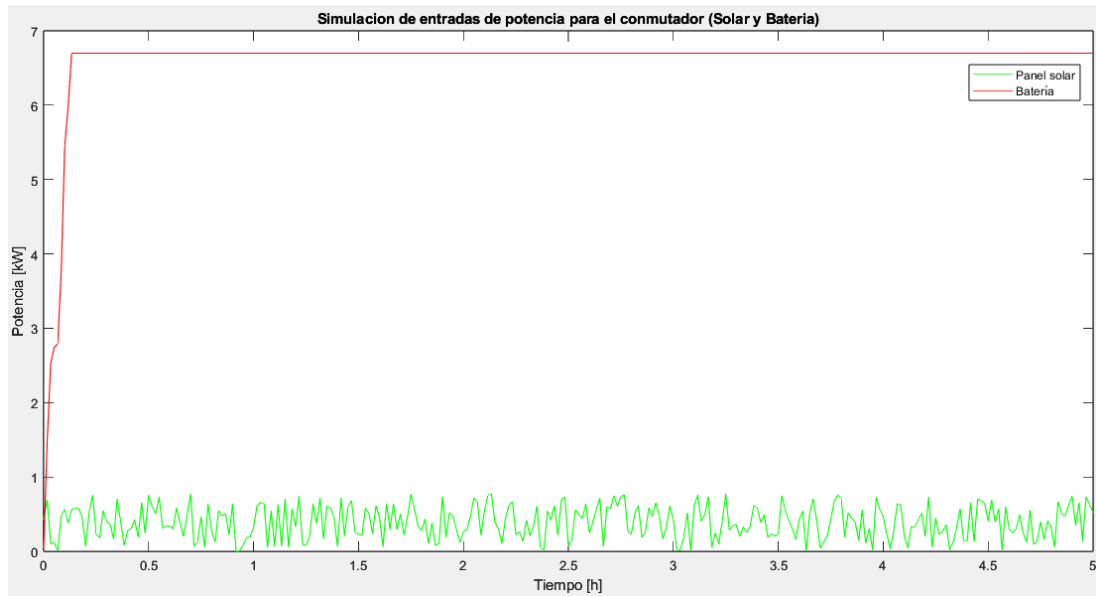


En la ilustración 41. se encuentran las salidas del conmutador de potencia en donde se puede observar la conmutación que realiza el conmutador fuzzy entre horas de la mañana y la tarde, en donde en horas de la mañana proporciona la suma de las potencias disponibles de las fuentes a los subgrupos de carga de la cocina y los tomacorrientes del resto de la vivienda, posterior a ello y de manera gradual a medida que el tiempo transcurre de la mañana a la tarde proporciona y sin generar corte, es decir de manera ininterrumpida la potencia generada por el panel solar a la cocina y los tomacorrientes, dejando las baterías sin proporcionar energía durante ese periodo de tiempo, de esta manera las baterías pueden reservar carga para la noche.

5.2 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONMUTADOR DURANTE LA NOCHE.

5.2.1 Entradas del conmutador con lógica difusa

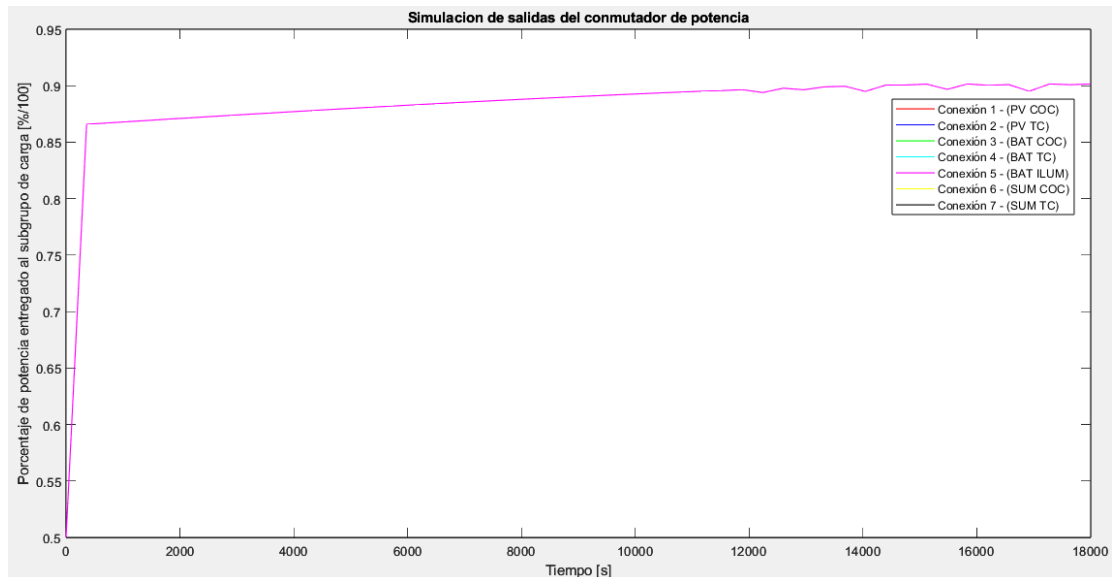
Ilustración 42. Simulación de entradas de potencia para el conmutador en la noche (Solar y baterías).



En la ilustración 42. se puede observar la potencia de las baterías que ingresa al conmutador de potencia, el gráfico de la potencia de los paneles se debe a la función rand() del script de Matlab.

5.2.2 Salidas del conmutador con lógica difusa

Ilustración 43. Simulación de salidas del conmutador de potencia en la noche.



En la ilustración 43. de las salidas del conmutador de potencia presentado anteriormente se puede observar como el conmutador de potencia proporciona toda la potencia disponible de las baterías a los tres subgrupos de la carga (cocina, tomacorrientes e iluminación), dentro de un

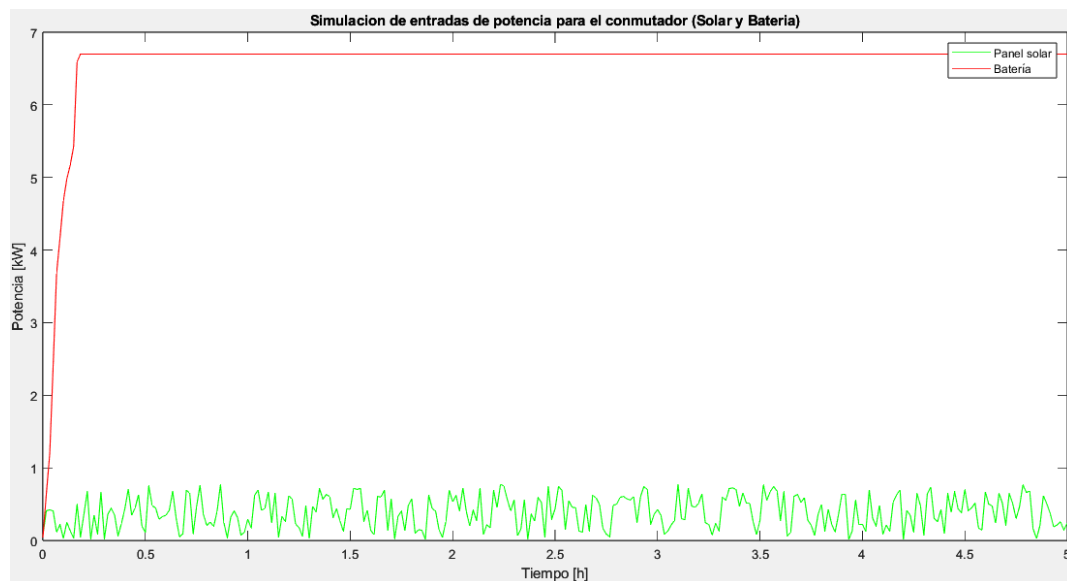
rango de 5 horas de la noche, en donde toda la potencia disponible del sistema de generación híbrido puede ser requerida por la carga.

5.3 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CONMUTADOR DURANTE LA MADRUGADA.

Esta simulación se realiza teniendo en cuenta las horas de la madrugada, concretamente entre la 1:00 am y las 6:00 am, en donde no se cuenta con potencia generada por los paneles solares y se debe contar únicamente con la carga disponible en las baterías, para el caso concreto se cuenta con una potencia disponible en las baterías de 6.900 W y se asume una potencia de los paneles solares prácticamente de 0 W, la simulación de Simulink se realiza durante 18000 segundos.

5.3.1 Entradas del conmutador con lógica difusa

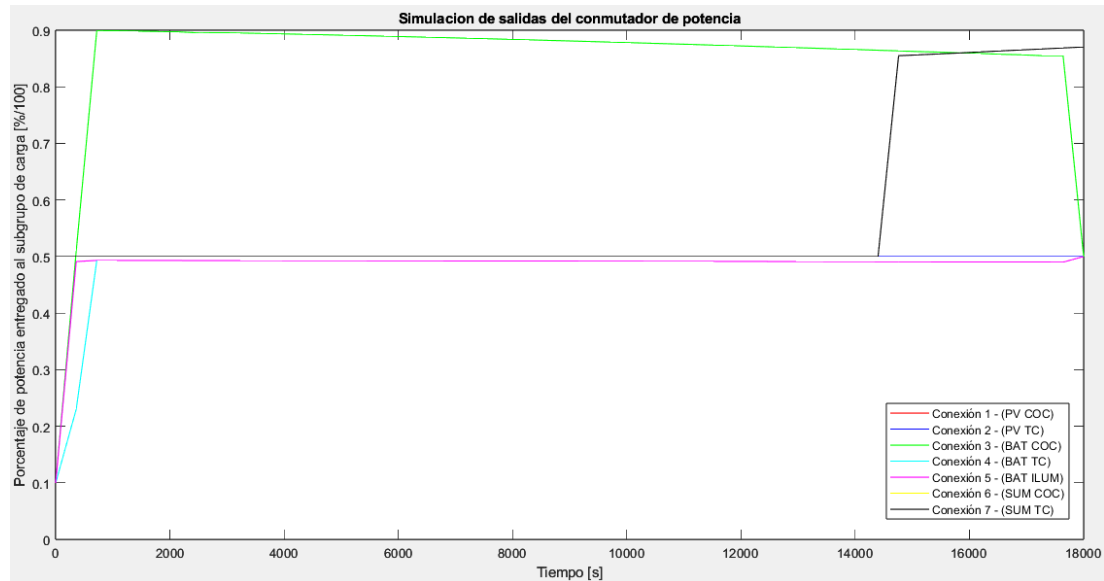
Ilustración 44. Simulación de entradas de potencia para el conmutador en la madrugada (Solar y baterías)



La ilustración 44. indica la potencia disponible de las baterías que ingresa al conmutador de potencia.

5.3.2 Salidas del conmutador con lógica difusa

Ilustración 45. Simulación de salidas del conmutador de potencia en la madrugada.



En la ilustración 45. se puede observar como el conmutador de potencia administra la energía disponible en las baterías a los subgrupos de la carga, mantenido la entrega de potencia a los tomacorrientes y la iluminación en (media), según las reglas de la lógica difusa, manteniéndola ligeramente por debajo del 50%, mientras que al subgrupo de la cocina proporciona toda la potencia disponible de las baterías.

5.2 CONCLUSIONES.

- Este trabajo de investigación busca impactar de manera positiva al alcance que puedan llegar a tener los habitantes de las zonas no interconectadas del país, concretamente de la zona pacífica del departamento del Cauca, a los recursos energéticos que pueden producir las fuentes de energía renovable, sus aplicaciones y diversas configuraciones dependiendo de los requerimientos energéticos y las capacidades económicas para adquirir estos sistemas. De esta manera poder provocar una transformación en el estilo de vida de los habitantes de dichas zonas en cuanto al acceso a los recursos tecnológicos que pueda traer el contar con una fuente de energía eléctrica constante.
- La propuesta de implementación del sistema de generación híbrido eólico solar presentada en este documento, fue llevada a cabo realizando análisis de viabilidad y robustez del sistema teniendo en cuenta que este no podía tener un costo

demasiado alto, pero que, a su vez tuviese la mayor capacidad posible para suministrar energía eléctrica de manera constante a los usuarios de las zonas no interconectadas del municipio de Guapi, Departamento del Cauca. Es por esta razón que, dentro del proceso de implementación y diseño del conjunto generadores y conmutador, el aerogenerador no suministra energía directamente a la carga, sino que la proporciona a las baterías para que estas se estén cargando siempre que se esté generando energía eólica. Podemos concluir que las fuentes de potencia para la carga son principalmente el conjunto de paneles solares y las baterías implementadas para esta investigación.

- El diseño de conmutador de potencia que fue llevado a cabo utilizando los principios de la lógica difusa, dentro de la ciencia de la inteligencia artificial, llevado a cabo dentro de esta investigación. Se propone una manera diferente e innovadora de abordar problemas tanto de conmutación como de control que se suministra a una carga a partir de dos o más fuentes de potencia. Además, nos permite escalar en complejidad y variabilidad del entorno a considerar, para hacer de estos conmutadores, aún más eficaces en su función de proporcionar energía de la manera más constante e ininterrumpida posible a la vez que permite extender la vida útil de los sistemas de generación eléctrica híbridos.
- La investigación realizada demuestra que el conmutador de potencia propuesto ha arrojado resultados altamente satisfactorios dentro de las pruebas y simulaciones llevadas a cabo. Este sistema ha logrado conmutar de manera eficaz la potencia disponible proveniente de los paneles solares y las baterías, distribuyéndola de manera óptima a los tres subgrupos de carga definidos para su aplicación.
- Al considerar los requerimientos específicos de cada subgrupo y teniendo en cuenta la hora del día y la disponibilidad de potencia, el conmutador ha logrado realizar transiciones suaves y sin interrupciones abruptas en la energía suministrada. Sin embargo, es importante resaltar que estas transiciones exitosas solo son posibles cuando existe suficiente potencia disponible para realizar la conmutación.
- Estos resultados confirman la viabilidad y efectividad del conmutador de potencia en el contexto de la aplicación propuesta. Además, destacan su capacidad para asegurar un suministro energético constante y estable, adaptándose de manera

inteligente a las necesidades cambiantes de los diferentes subgrupos de carga.

- Para tener un sistema híbrido que sea viable tanto en potencia como en costo para los habitantes de zonas no interconectadas se hizo uso del software HOMER PRO el cual nos brinda datos reales de radiación solar y velocidades de viento diaria del lugar, lo cual nos permitirá tener la mejor respuesta de cada uno de los componentes del sistema.
- Aunque el costo inicial de implementación puede parecer alto, se debe considerar que los beneficios a largo plazo son significativos. Al ser instalado en zonas no interconectadas, el sistema híbrido proporcionaría acceso a energía limpia y confiable a comunidades que actualmente carecen de servicios eléctricos adecuados, además es importante tener en cuenta que el apoyo de los proyectos FNCER son cruciales para hacer realidad esta implementación, estos proyectos ofrecen financiamiento, asesoría técnica y capacitación para impulsar el desarrollo de energía renovables en áreas rurales y de bajos recursos.
- En resumen, el conmutador de potencia desarrollado ha demostrado ser un componente clave en la gestión eficiente de la energía proveniente de los paneles solares y las baterías. Su capacidad para conmutar la potencia de manera satisfactoria y sin interrupciones bruscas es fundamental para garantizar un suministro continuo y confiable a los subgrupos de carga. Estos resultados respaldan su aplicación práctica y abren la puerta a futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la gestión inteligente de energía.

5.3 TRABAJOS FUTUROS.

Este estudio nos permitió determinar teóricamente y a través de simulación la viabilidad de un sistema híbrido eólico solar en localidades del municipio de Guapi, como trabajos futuros se plantea implementar el modelo físico del sistema para pruebas de laboratorio.

REFERENCIAS

- Alcaldía de Guapi. (s.f.). *Plan de Desarrollo Municipal “Guapi Somos Todos 2020 - 2023”*. Obtenido de https://alcaldiaguapicauca.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldiaguapicauca/content/files/000243/12122_pdm-guapi-final-2020-2023-de-18062020.pdf
- Fondo Fiduciario de Crecimiento Verde de Corea y el Departamento nacional de planeación del Banco Mundial. (s.f.). *Energy supply situation in Colombia*. . Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Energia/MCV%20-%20Energy%20Supply%20Si>
- Superintendencia de Servicio Públicos Domiciliarios. Zonas no interconectadas - diagnóstico de la prestación del servicio de energía eléctrica . (2019). Obtenido de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/publicaci>, accedido el 01-03-2022.
- Alcaldía Guapi. (s.f.). *Yo Amo a Guapi. “Plan de Desarrollo Territorial 2016 - 2019*. Obtenido de https://alcaldiaguapicauca.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldiaguapicauca/content/files/000021/1043_plan-de-desarrollo-guapi.pdf
- Aliexpress.com*. (s.f.). Obtenido de https://es.aliexpress.com/item/1005005066900234.html?spm=a2g0o.productlist.main.49.56506106pi8IHE&algo_pvid=37c0a9d7-df69-4340-ade0-620b03721249&algo_exp_id=37c0a9d7-df69-4340-ade0-620b03721249-25&pdp_npi=3%40dis%21COP%212305285.71%212305285.71%21%21%21%2
- Arcilla., J. R. (2019). Estudio del potencial eólico en Colombia: viabilidad de un parque eólico.
- Bustos Gonzalez Juan Felipe, S. A. (2014). Zonas no interconectadas eléctricamente en Colombia: problemas y perspectiva. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- C. Espitia Caita, L. J. (2014). Diseño y construcción de un mini aerogenerador de eje vertical”, Proyecto de grado.
- C. R. Algarin, O. R. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia.
- Camargo, D. N. (2009). Implicaciones Ambientales de la Política de biocombustibles en la región Pacífica caso de estudio proyecto de palma de aceite en el municipio de Guapi, Cauca.
- D. M. Molano Valderrama, W. R. (s.f.). Exposición de las principales políticas públicas relacionadas con la cobertura energética renovable de zonas no interconectadas en Colombia.
- Damiasolar. (s.f.). *Paneles solares*. Obtenido de https://www.damiasolar.com/actualidad/prova/prova-1-cas_1.3.

- Energética, U. d. (s.f.). *Registro de proyectos de generación julio 2020*. Obtenido de http://www.siel.gov.co/Generacion_sz/Inscripción/2020/Registro_jul_2020.pdf.
- eólicos., B. p. (s.f.). Obtenido de <https://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias/>
- Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central. . (s.f.). Obtenido de <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/04/ESTADO-DE-LA-COBERTURA-ELECTRICA-Y-LAS-ZONAS-NO-INTERCONECTADAS-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL-3-1.pdf>
- Ficha-tecnica-amerisolar.* (s.f.). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.solartex.co/tienda/wp-content/uploads/2021/07/Ficha-tecnica-amerisolar-AS-6M-HC.pdf>
- Ficha-tecnica-bateria.* (s.f.). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.solartex.co/tienda/wp-content/uploads/2021/12/CSBattery-HTB12-150-High-Temp-Deep-cycle-gel-battery-2.pdf>
- Gallego, N. S. (2016). *Diseño de un Sistema Híbrido Eólico Solar para el bombeo de agua*.
- Gallego, N. S. (s.f.). *Diseño de un sistema híbrido eólico solar para el bombeo de agua*.
- Harper., G. E. (2011). El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. págs. 293 - 302.
- Hoyos., B. G. (2019). Evaluación del potencial eólico basada en sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en el departamento de la Guajira, Colombia.
- Informe de prestación del servicio de energía eléctrica en localidades ZNI sin sistemas de telemetría. (s.f.). Obtenido de https://ipse.gov.co/documentos_cmn/documentos/informe_mensual_localidades_sin_telemetria/2021/12-INFORME%20LOCALIDADES%20SIN%20TELEMETR%C3%8DA%20ZNI%20DICIEMBRE-2021.pdf
- Iipse, G. (2020.). Obtenido de <http://www.ipse.gov.co/transparencia-y-acceso-a-informacion-publica/informacion-de-interes2/glosario#faqnoanchor>.
- J. D. Gallego Triana. (s.f.). Políticas para el aprovechamiento del potencial hidroenergético en Colombia mediante pequeñas centrales. *Escuela de Sistemas*.
- J. F. Bustos Gonzalez, A. L. (2014). Zonas no interconectadas eléctricamente en Colombia: problemas y perspectiva. Tech. Rep: Universidad Nacional de Colombia-FCE-CID.
- J. R. Lucero Revelo. (2014). Energías renovables y turismo comunitario: una apuesta conjunta para el desarrollo humano sostenible de las comunidades rurales Energética.
- J. Vivas. (2019). *El pacífico nariñense y choacoano, zonas del país con más rezago en el servicio de energía eléctrica*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los->

lugares-que-aun-viven-sin-energia

- Lucero Revelo, J. (2018). Análisis de la Interconexión al SIN y GD para los municipios pertenecientes a la ZNI de los departamentos del Cauca y Nariño. Colombia.
- M. Rendon Leal, E. A. (2021). Solucion Tecnologica para suministro energetico en la comunidad nueva bellavista del municipio de Guapi, Departamento del Cauca.
- Manzur, A. A. (2011). La ley 142 de 1994 y los servicios públicos domiciliarios. *Revista de Derecho, no. 6*.
- Martinez, P. C. (2018). Apoyo a la gestión regulatoria de intercolombia en el estudio de la incorporación de fuentes no convencionales de energías renovables (fncer) . *El seguimiento e implementación de la nueva normatividad aplicable a la remuneración de la actividad de transmisión de energía, el retie y el código de medida*.
- Minero, E. U. (s.f.). *Energías renovables: Descripción, Tecnologías y usos finales*. Obtenido de https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1260/1/upme_251_energias%20renovables_1999.pdfhttps://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1260/1/upme_251_energias%20renovables_1999.pdf
- Ministerio de Minas y Energía . (5 de agosto de 2011). *Resolución 181272. Por la cual se ajusta el procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las Áreas de Servicio Exclusivo de las Zonas No Interconectadas continentales*. Obtenido de <http://www.minenergia.gov.co.pdf>.
- Ministerio de Minas y Energía. Línea Cauca -Nariño. (2018). Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co./web/guest/histórico-de-noticias?idNoticia=24016530>.
- Muerza, A. F. (Abril de 2010). *Aerogeneradores de eje vertical*. Obtenido de <https://www.ecoticias.com/energias-renovables/24746/noticias-energias-renovables-verdes-limpas-alternativas-sostenibles-sustentables-eolica-geotermica-solar-termosolar-concentracion-eficiencia-energetica-definicion-tipos-ventajas-paneles-placas>
- Naturgy. (s.f.). *Paneles solares*. Obtenido de https://www.naturgy.es/empresas/blog/tipos_de_paneles_solares_fotovoltaicos_y_caracteristicas.
- Núñez., J. C. (2004). Diseño y construcción de un prototipo de generador eólico de eje vertical”, tesis pregrado.
- Perez, O. A. (Junio de 2020). Informe mensual de la prestación de servicios de energía eléctrica en las localidades sin sistemas de telemetría de las zonas no interconectadas – ZNI. *Centro Nacional de Monitoreo*.
- Portillo, G. (Julio de 2021). Aerogenerador vertical.
- Programa de energía limpia para Colombia-CCEP. . (s.f.). Obtenido de <http://rirc.itiud.org/Documents/1588200530.pdf>.

solartex.com. (s.f.). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.solartex.co/wp-content/uploads/2021/12/kit-solar-aislado-6480-watts-x-dia-solartex-2022.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética. . (s.f.). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Paginas/Plan-Energetico-Nacional-Ideario-2050.aspx

weather spark. (s.f.). Obtenido de https://es.weatherspark.com/y/20688/Clima-promedio-en-Guapi-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador

ANEXOS.

Anexo 1. Script de Matlab desarrollado para representar el sistema híbrido de potencia y realizar simulaciones.

En este anexo se detalla el script llevado a cabo en el software de ingeniería Matlab para la implementación del sistema de generación eléctrica híbrido, compuesto por un conjunto de paneles solares, baterías y un aerogenerador, para el diseño de los modelos matemáticos se tiene en cuenta las características de los componentes del sistema híbrido detallados en el capítulo 3 de este documento, además de secciones del script que se utilizan para ingresar datos de los modelos en Simulink para las simulaciones llevadas a cabo dentro del diseño del conmutador de potencia basado en lógica difusa.

Primera sección

Ilustración 46. Parámetros del sistema en script de Matlab.

```
%% Parámetros del sistema
A_eol = 2,274; % Superficie de barrido del rotor [m^2]
Cp_eol = 0.40; % Coeficiente de potencia del aerogenerador
A_sol = 7.761; % Superficie del panel solar [m^2]
eta_sol = 0.2; % Eficiencia del panel solar
Q_b0 = 200; % Carga inicial de la batería [Ah]
V_b = 12; % Tensión nominal de la batería [V]
P_carga = 6700; % Potencia eléctrica consumida por la carga [W]
t_sim = 5*3600; % Tiempo total de simulación [s]
dt = 60; % Intervalo de tiempo de simulación [s]
```

Esta sección establece los parámetros clave para la simulación del sistema híbrido de generación de energía. Los parámetros incluyen información sobre la superficie de los paneles solares y el rotor del aerogenerador, así como la eficiencia de conversión de energía. También se definen valores iniciales para la carga de la batería y se especifica la potencia requerida por la carga. El tiempo total de simulación y el intervalo de tiempo entre cálculos también se establecen aquí. Estos parámetros son esenciales para modelar y evaluar el funcionamiento del sistema durante la simulación.

Segunda sección

Ilustración 47. Modelos matemáticos de cada componente en script de Matlab.

```
%% Simulación del sistema
t      = 0:dt:t_sim; % Vector de tiempo
N      = length(t);  % Número de intervalos de tiempo
Q_b    = zeros(N,1); % Vector de carga de la batería [Ah]
P_eol  = zeros(N,1); % Vector de potencia eléctrica producida por el generador eólico [W]
P_sol  = zeros(N,1); % Vector de potencia eléctrica producida por el panel solar [W]
P_descarga = zeros(N,1); % Vector de potencia eléctrica suministrada por la batería [W]

for i = 1:N
    % Cálculo de la potencia eléctrica producida por el generador eólico
    V_eol = 4 + 10*rand(); % Velocidad del viento [m/s]
    P_eol(i) = 0.5 * 1.225 * A_eol * Cp_eol * V_eol^3;

    % Cálculo de la potencia eléctrica producida por el panel solar
    G_sol = 4500 + 500*rand(); % Irradiación solar incidente [W/m^2]
    P_sol(i) = A_sol * eta_sol * G_sol;

    % Cálculo de la carga de la batería
    if i == 1
        Q_b(i) = Q_b0;
    else
        Q_b(i) = Q_b(i-1) + (P_eol(i) + P_sol(i) - P_carga) * dt / V_b;
        if Q_b(i) < 0
            Q_b(i) = 0;
        end
    end

    % Cálculo de la potencia eléctrica suministrada por la batería
    P_descarga(i) = min(P_carga, Q_b(i) * V_b / dt);
end
```

En esta sección del código, se lleva a cabo la simulación del sistema híbrido de generación de energía a lo largo de un período de tiempo definido. A continuación, se detallan las acciones realizadas en esta sección:

- Se crea un vector de tiempo t que representa el intervalo de tiempo total de la simulación, dividido en intervalos más pequeños definidos por dt .
- Se calcula el número de intervalos de tiempo N basado en la longitud del vector

de tiempo t .

- Se inicializan varios vectores y matrices para rastrear y almacenar datos clave durante la simulación, incluyendo:
- Q_b : Vector que registra la carga de la batería en amperios-hora (Ah) en cada intervalo de tiempo.
- P_eol : Vector que almacena la potencia eléctrica generada por el aerogenerador en vatios (W) en cada intervalo de tiempo.
- P_sol : Vector que guarda la potencia eléctrica generada por el panel solar en vatios (W) en cada intervalo de tiempo.
- $P_descarga$: Vector que registra la potencia eléctrica suministrada por la batería en vatios (W) en cada intervalo de tiempo.
- Se inicia un bucle for que itera a través de cada intervalo de tiempo (i representa el intervalo actual).

Dentro del bucle, se realizan los siguientes cálculos:

- Se simula la velocidad del viento V_eol como un valor aleatorio dentro de un rango.
- Se calcula la potencia eléctrica generada por el aerogenerador P_eol utilizando la velocidad del viento y los parámetros de eficiencia.
- Se simula la radiación solar incidente G_sol como un valor aleatorio dentro de un rango.
- Se calcula la potencia eléctrica generada por el panel solar P_sol utilizando la radiación solar y la eficiencia del panel.
- Se simula la carga de la batería Q_b en función de la potencia generada por los dispositivos de generación (aerogenerador y panel solar), la carga y la tensión de la batería. Además, se asegura de que la carga no sea menor que cero.
- Se calcula la potencia eléctrica suministrada por la batería $P_descarga$ como la cantidad mínima entre la potencia de carga requerida y la capacidad de la batería disponible.

En resumen, esta sección simula el funcionamiento del sistema híbrido en cada intervalo

de tiempo, calculando la generación de energía por parte de los dispositivos y gestionando la carga y descarga de la batería para satisfacer las demandas de la carga. Los resultados de estos cálculos se almacenan en vectores para su posterior análisis y seguimiento del rendimiento del sistema a lo largo del tiempo de simulación.

Tercera sección

Ilustración 48. Datos a ingresar en Simulink para entradas de bloque fuzzy.

```
% Datos a ingresar en simulink para entradas de bloque fuzzy
h_1      = 10;                               % Hora inicial para simulacion (formato 24 horas)
h_2      = 15;                               % Hora final para simulacion (formato 24 horas)
rh_t     = ((h_2 - h_1) / t_sim) * t + h_1; % Representacion del rango de 5 horas
m_t      = transpose(t);                    % Se configura vector columna para datos de potencia
m_rh_t   = transpose(rh_t);                 % Se configura vector columna para rango de horas
datos_P_sol = horzcat(m_t,P_sol);           % Datos de la potencia de paneles solares
datos_P_bat = horzcat(m_t,P_descarga);     % Datos de la potencia de baterias
datos_rh_t = horzcat(m_t,m_rh_t);          % Datos del rango de horas
```

En esta sección del código, se realizan las siguientes acciones:

- Se establece una hora inicial h_1 y una hora final h_2 en formato de 24 horas, que indican el período de tiempo para la simulación.
- Se calcula el vector rh_t que representa un rango de 5 horas a lo largo del tiempo de simulación. Este rango se utiliza para representar las horas del día durante la simulación.
- Se configura el vector m_t como la transposición del vector de tiempo t . Esto se hace para adaptar los datos de potencia al formato requerido para Simulink.
- De manera similar, se configura el vector m_rh_t como la transposición del vector rh_t para adaptar los datos del rango de horas al formato requerido.
- Se crean matrices de datos $datos_P_sol$, $datos_P_bat$, y $datos_rh_t$ que combinan los vectores de tiempo m_t y los datos de potencia generada por los paneles solares P_sol , los datos de potencia suministrada por la batería $P_descarga$, y los datos del rango de horas rh_t . Estas matrices se utilizan posteriormente como entradas para los bloques en Simulink, lo que permite la simulación del sistema y la implementación de la lógica difusa.

Esta sección se encarga de organizar los datos necesarios para configurar y ejecutar la simulación del sistema dentro de Simulink, incluyendo las entradas que serán utilizadas en los

bloques de lógica difusa para controlar la conmutación de la potencia.

Cuarta sección

Ilustración 49. Código para inicialización de variables y Graficar las curvas.

```
%% Inicialización de variables
pv_coc = out.PV_COC; % Porcentaje de potencia entregada por los paneles solares al subgrupo de carga de la cocina.
pv_tc = out.PV_TC; % Porcentaje de potencia entregada por los paneles solares al subgrupo de carga de los tomacorrientes.
Bat_coc = out.BAT_COC; % Porcentaje de potencia entregada por las baterías al subgrupo de carga de la cocina.
bat_tc = out.BAT_TC; % Porcentaje de potencia entregada por las baterías al subgrupo de carga de los tomacorrientes.
bat_ilum = out.BAT_ILUM; % Porcentaje de potencia entregada por las baterías al subgrupo de carga de la iluminación.
sum_coc = out.SUM_COC; % Porcentaje de potencia entregada por la suma de las baterías y los paneles solares al subgrupo de carga de la cocina.
sum_tc = out.SUM_TC; % Porcentaje de potencia entregada por la suma de las baterías y los paneles solares al subgrupo de carga de los tomacorrientes.
tim_s = out.tout; % Tiempo de simulación [s]

%% Grafica de salidas del sistema de conmutacion inteligente de potencia
figure;
plot(tim_s, pv_coc, "r", tim_s, pv_tc, "b", tim_s, Bat_coc, "g", tim_s, bat_tc, "c", tim_s, bat_ilum, "m", tim_s, sum_coc, "y", tim_s, sum_tc, "k");
hold on;
title('Simulación de salidas del conmutador de potencia');
xlabel('Tiempo [s]');
ylabel('Porcentaje de potencia entregado al subgrupo de carga [%/100]');
legend('Conexión 1 - (PV COC)', 'Conexión 2 - (PV TC)', 'Conexión 3 - (BAT COC)', 'Conexión 4 - (BAT TC)', 'Conexión 5 - (BAT ILUM)', 'Conexión 6 - (SUM COC)',
```

En esta sección del código, se configuran las gráficas que representan las salidas del sistema de conmutación de potencia después de realizar cada simulación en Simulink. A continuación, se describen las acciones llevadas a cabo en esta sección:

- Se inicializan variables para almacenar los resultados de las simulaciones de cada conexión del sistema de conmutación de potencia. Estas variables incluyen pv_coc, pv_tc, Bat_coc, bat_tc, bat_ilum, sum_coc, sum_tc, y tim_s.
- Se utiliza la información almacenada en estas variables para configurar una gráfica que muestra cómo varía el porcentaje de potencia entregado a cada subgrupo de carga a lo largo del tiempo.
- Se crea una figura de gráfica y se utilizan las funciones plot y legend para representar los datos en la gráfica. Cada conexión del sistema se representa con un color diferente en la gráfica, y se etiquetan para facilitar la identificación.
- Se agrega un título a la gráfica que describe su contenido, y se etiquetan los ejes x e y con información relevante.

Esta sección es crucial para visualizar y analizar los resultados de las simulaciones, lo que

permite evaluar cómo el sistema de conmutación de potencia distribuye la energía a los diferentes subgrupos de carga según la hora del día. Las gráficas generadas son útiles para la interpretación de los resultados y la evaluación del rendimiento del sistema.

Anexo 2.

Ilustración 50. Cotización sistema solar (solar tex.com, s.f).



solartex
ENERGÍA PARA COLOMBIA

SOLARTEX COLOMBIA S.A.S.
NIT : 901.264.839-3
RÉGIMEN COMÚN
PBX : +57 604 431 0300
CALLE 31A #73-04 - BRR BELÉN ROSALES
MEDELLÍN - ANTIOQUIA

COTIZACIÓN
N° 11.689

Estimado(a) : CLIENTE SOLARTEX


Aquí está su cotización en tiempo record, esperamos que esta cumpla todas sus expectativas, nos esforzamos por entregar productos de primera calidad, a precios justos, la mejor garantía, rapidez y eficiencia al enviar los pedidos.

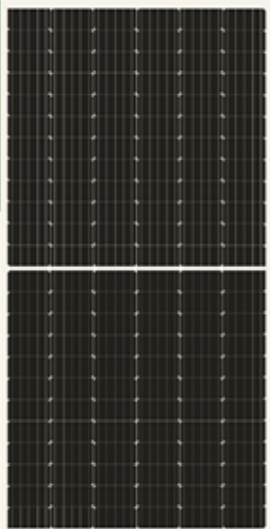
Un	Detalle de los Productos	PDF	Disp	IVA	Valor Unit	Valor Neto
1	Breaker 63 Amperes DC Siemens 72 Voltios	PDF	✓	19%	\$ 39.900	\$ 39.900
1	Conectores MC4 Dobles en Y	PDF	✓	19%	\$ 22.000	\$ 22.000
1	Inversor PV18-3048 LHM 3000W 48V 120V Must	PDF	✓	0%	\$ 2.890.000	\$ 2.890.000
4	Cable Extensión MC4 2 Metros 6mm	PDF	✓	19%	\$ 18.060	\$ 72.240
1	Kit Cables Banco de Batería 48V 4 Serie AWG N°6		✓	19%	\$ 92.500	\$ 92.500
1	Kit Cable Fotovoltaico 15mts 6mm conector en 1 extremo	PDF	✓	19%	\$ 169.600	\$ 169.600
1	Caja Fusible tipo Riel con Fusible 20A 1000V DC		✓	19%	\$ 69.300	\$ 69.300
1	Breaker DC 1P 250V 32A Worldsunlight	PDF	✓	19%	\$ 64.000	\$ 64.000
4	Batería Gel Ciclo Profundo 12V 150Ah CSBattery	PDF	✓	19%	\$ 1.099.000	\$ 4.396.000
4	Panel Solar 405 Watts Monoperc Amerisolar	PDF	✓	0%	\$ 659.000	\$ 2.636.000

NETO	\$ 10.451.540
IVA	\$ 935.853
TOTAL	\$ 11.387.393

Anexo 3. Ficha Técnica paneles solares.

Ilustración 51. Ficha técnica de los paneles solares.





AS-6M-HC


380W~410W

MONOCRYSTALLINE MODULE

ADVANCED PERFORMANCE & PROVEN ADVANTAGES

- High module conversion efficiency up to 20.36% by using innovative Half-cell design and five busbar cell technology.
- Low temperature coefficient and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- High reliability against extreme environmental conditions (passing salt mist, ammonia and hail tests).
- Potential induced degradation (PID) resistance.
- Positive power tolerance of 0 ~ +3 %.

CERTIFICATIONS



- IEC 61215, IEC 61730, UL 1703, IEC 62716, IEC 61701, IEC TS 62804, CE, CQC, ETL(USA), JET(Japan), J-PEC(Japan), KS(South Korea), BIS(India), MCS(UK), CEC(Australia), FSEC(FL-USA), CSI Eligible(CA-USA), Israel Electric(Israel), InMetro(Brazil), TSE(Turkey)
- ISO9001:2015: Quality management system
- ISO14001:2015: Environmental management system
- OHSAS18001:2007: Occupational health and safety management system

SPECIAL WARRANTY

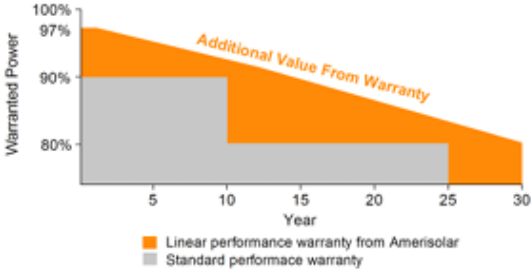
- 12 years limited product warranty.
- Limited linear power warranty: 12 years 91.2% of the nominal power output, 30 years 80.6% of the nominal power output.

Passionately

committed to

delivering innovative

energy solution



Year	Standard performance warranty (%)	Linear performance warranty from Amerisolar (%)
0	91.2	97.0
10	91.2	91.2
12	91.2	91.2
25	91.2	85.0
30	91.2	80.6

Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Ltd.
www.weamerisolar.com, sales@weamerisolar.com

EN-V1.0-2020

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT STC

Maximum Power (P_{max})	380W	385W	390W	395W	400W	405W	410W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	48.8V	49.0V	49.2V	49.4V	49.6V	49.8V	50.0V
Short Circuit Current (I_{sc})	9.97A	10.04A	10.11A	10.18A	10.25A	10.32A	10.39A
Voltage at Maximum Power (V_{mp})	40.4V	40.6V	40.8V	41.0V	41.2V	41.4V	41.6V
Current at Maximum Power (I_{mp})	9.41A	9.49A	9.56A	9.64A	9.71A	9.79A	9.86A
Module Efficiency (%)	18.87	19.12	19.36	19.61	19.86	20.11	20.36
Operating Temperature	-40°C to +65°C						
Maximum System Voltage	1000V DC/1500V DC						
Fire Resistance Rating	Type 1(in accordance with UL1703)/Class C(IEC61730)						
Maximum Series Fuse Rating	20A						

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT

Maximum Power (P_{max})	285W	289W	293W	296W	300W	304W	308W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	44.9V	45.1V	45.3V	45.5V	45.7V	45.9V	46.1V
Short Circuit Current (I_{sc})	8.06A	8.13A	8.19A	8.25A	8.30A	8.36A	8.42A
Voltage at Maximum Power (V_{mp})	36.8V	37.0V	37.2V	37.4V	37.6V	37.8V	38.0V
Current at Maximum Power (I_{mp})	7.75A	7.82A	7.88A	7.92A	7.98A	8.05A	8.11A

NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline
Number of cells	144 (6x24)
Module dimensions	2010x1002x40mm (79.13x39.45x1.57inches)
Weight	22kg (48.5lbs)
Front cover	3.2mm (0.13inches) tempered glass with AR coating
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP68, 3 diodes
Cable	4mm ² (0.006inches ²), 300mm (11.81inches)
Connector	MC4 or MC4 compatible

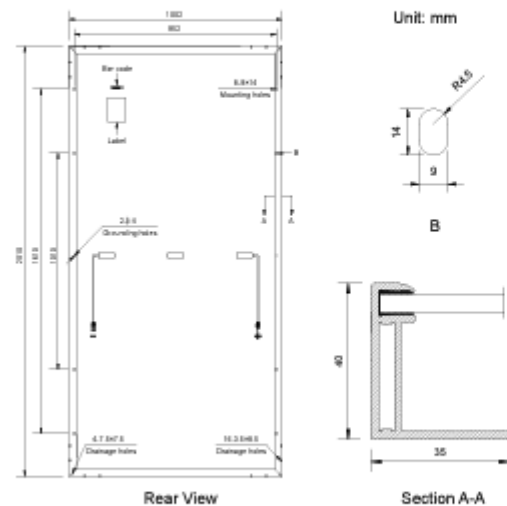
TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	43°C±2°C
Temperature Coefficients of P_{max}	-0.36%/°C
Temperature Coefficients of V_{oc}	-0.28%/°C
Temperature Coefficients of I_{sc}	0.05%/°C

PACKAGING

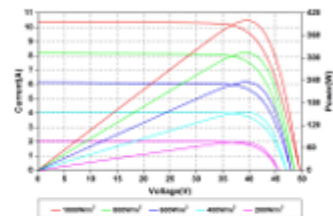
Standard packaging	27pcs/pallet
Module quantity per 20' container	270pcs
Module quantity per 40' container	594pcs(GP)/649pcs(HQ)

ENGINEERING DRAWINGS

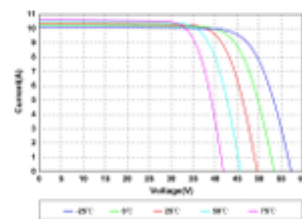


Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

IV CURVES



Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different Temperatures

Amerisolar and Amerisolar logo denoted with ® are registered trademarks of Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Ltd.

Anexo 4. Ficha técnica baterías.

Ilustración 52. Ficha técnica de las baterías.

Durable Battery *Choose* CSBattery



High-Temp Long Life GEL Deep Cycle Battery

HTB12-150

HTB series uses the newly developed nano gel electrolyte with super-C additive plus heavy duty plates design inside. The HTB series has a long service life and can provide optimum and reliable service under extreme condition such as high temperature and frequent power failure, This series is highly suited for tropical area in outdoor applications such as Telecom BTS stations and Off-grid PV system.

12V
150Ah

GEL
Technology

Deep
Cycle



COMPLIED STANDARDS

IEC 60896-21/22 JIS C8704
IEC61427 BS6290 part4
GB/T 19638 CE/ISO

Applications

- BTS Stations
- Solar & Wind energy system
- UPS system
- Telecom systems
- Wheel chair, Golf Car

General Features

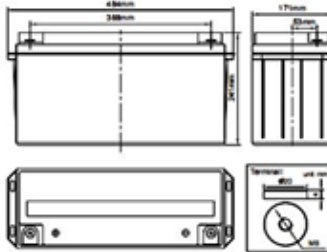
- ✓ Able to operate at 40-60°C
- ✓ DOD 50% 1500 times Cycles
- ✓ Integrated design to ensure the best Uniformity and reliability
- ✓ Long life and high stability under high temp. environment (no air-con needed)
- ✓ Use super-C additives: Deep discharge recovery capability

Dimensions & Weight

Length(mm)	484±1
Width(mm)	171±1
Height(mm)	241±1
Total Height(mm)	241±1
Weight(kg)	45.7±3%

Technical Specifications

Nominal Voltage		12V (6 cells per unit)
Design Floating Life @25°C		20 Years
Nominal Capacity @25°C(20 hour rate@7.5A,10.8V)		150Ah
Capacity @25°C	10hour rate (13.5A,10.8V)	135Ah
	5 hour rate (23.9A,10.5V)	119.5Ah
	1 hour rate (86.6A,9.6V)	86.6Ah
Internal Resistance	Full Charged Battery@25°C	≤4.0mΩ
Ambient Temperature	Discharge	-25°C~60°C
	Charge	-25°C~60°C
	Storage	-25°C~60°C
Max.Discharge Current@25°C		800A(5s)
Capacity affected by Temperature (10 hour)	40°C	108%
	25°C	100%
	0°C	90%
	-15°C	70%
Self-Discharge@25°C per Month		3%
Charge (Constant Voltage) @25°C	Standby Use	Initial Charging Current Less than 33.75A Voltage 13.6-13.8V
	Cycle Use	Initial Charging Current Less than 33.75A Voltage 14.4-14.9V



Battery Discharge Table

Discharge Constant Current per Cell (Amperes at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h	100h
1.60V	234.3	139.4	99.0	86.6	52.9	37.1	25.2	16.7	14.9	8.10	1.80
1.65V	230.0	136.9	97.2	85.1	51.9	36.5	24.8	16.4	14.6	7.95	1.76
1.70V	225.8	134.4	95.4	83.5	51.0	35.8	24.3	16.1	14.3	7.80	1.73
1.75V	221.5	131.8	93.6	81.9	50.0	35.1	23.9	15.8	14.0	7.65	1.70
1.80V	213.0	126.8	90.0	78.8	48.1	33.8	23.0	15.2	13.5	7.50	1.67

Discharge Constant Power per Cell (Watts at 25°C)

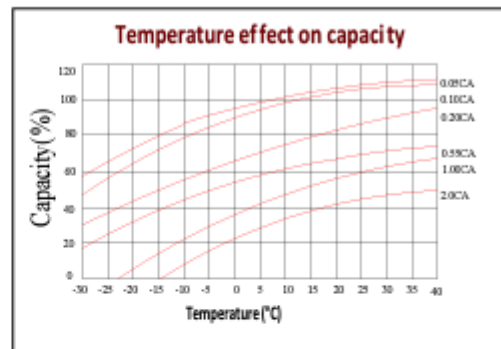
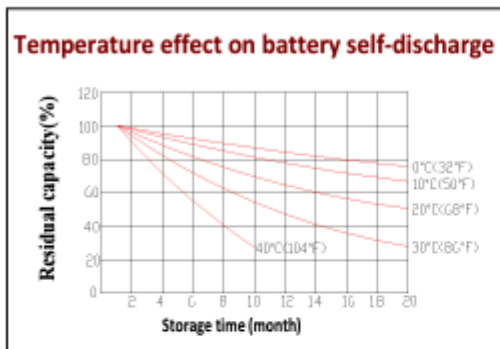
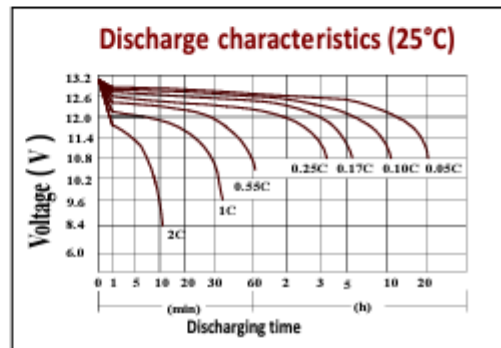
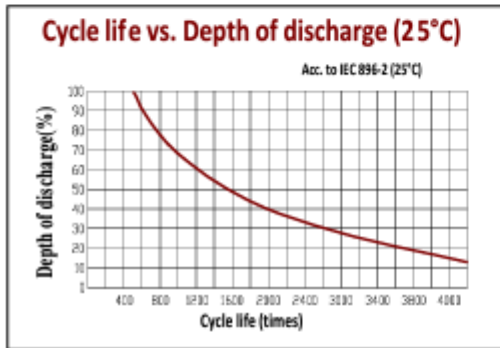
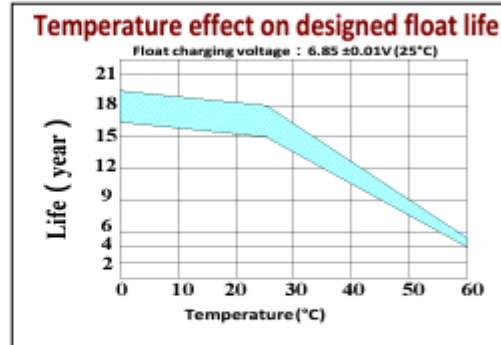
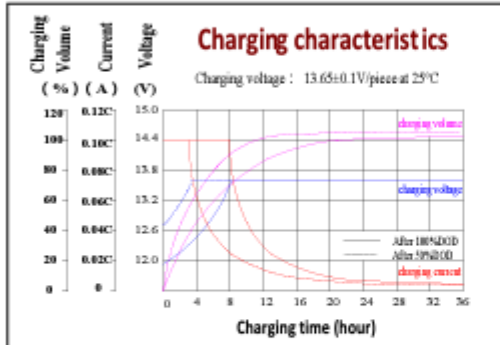
F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h	100h
1.60V	451.0	268.4	190.6	166.8	101.8	71.5	48.6	32.1	28.6	15.6	3.46
1.65V	442.8	263.5	187.1	163.7	99.9	70.2	47.7	31.5	28.1	15.3	3.40
1.70V	434.6	258.6	183.6	160.7	98.1	68.9	46.8	30.9	27.5	15.0	3.33
1.75V	426.4	253.8	180.2	157.7	96.2	67.6	45.9	30.3	27.0	14.7	3.27
1.80V	410.0	244.0	173.3	151.6	92.5	65.0	44.2	29.2	26.0	14.4	3.21

Note: The above data are average values, and can be obtained within 3 charge/discharge cycles. These are not minimum values. Cell and battery designs/specifications are subject to modification without notice. Contact CSBattery for the latest information.

High-Temp Long Life GEL Deep Cycle Battery

HTB12-150

Performance Characteristics



Battery Construction

Component	Positive plate	Negative plate	Container & Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte	Pillar seal
Features	Thick high Sn low Ca grid with special paste	Balanced Pb-Ca grid for improved recombination efficiency	Fire resistant ABS (UL94-V0 optional)	Flame SI-Rubber and aging resistance	Female Copper Insert M8	Advanced PVC /AGM separator for high pressure cell design	Silicon Gel	Two layers epoxy resin seal

Add: Building Evolution, Xingdong industry Park, NO.61, Liuxian 2nd Road, Baoan, Shenzhen, China.
Tel: +86-755-29123661 Email: Sales@CSBattery.cn, Support@CSBattery.cn
Website: www.CSBattery.cn

Copyright© 2016 CSBattery Energy Co., Limited