

DISEÑO DE MICRORED AISLADA USANDO ENERGÍAS RENOVABLES HÍBRIDAS CON CONVERTIDOR ELECTRÓNICO MULTIDIRECCIONAL Y MULTIPUERTOS PARA ALIMENTAR CENTROS DE SALUD ALEJADOS

ISOLATED MICRORED DESIGN USING HYBRID RENEWABLE ENERGIES WITH MULTIDIRECTIONAL ELECTRONIC CONVERTER AND MULTIPORTS TO POWER REMOTE HEALTH CENTERS

Juan Tisza-Contreras¹, David Ortega-Solozano¹

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido (Received): 01/12/2021 Publicado (Published): 20/12/2023

RESUMEN

El artículo presenta una propuesta de diseño de una micro red híbrida aislada con energías renovables fotovoltaica y eólica, que tiene un Bus DC como nodo central. El desarrollo metodológico incorpora los pasos a seguir considerando el análisis y diseño del sistema propuesto, a fin de suministrar la energía eléctrica a un centro de Salud alejado ubicado en el departamento de Huancavelica, Perú. Se usa el algoritmo para trabajar en los puntos de máxima transferencia de potencia conocido como MPPT en especial el tipo denominado "perturbar y observar" (P&O), todo esto en relación con la generación fotovoltaica. El sistema usa un convertidor bidireccional para cargar o descargar el banco de baterías y en la estrategia de control aplicada al inversor trifásico que alimenta a la carga, se utiliza la técnica del control predictivo basado en modelos en la modalidad de conjunto finito de conmutaciones (MPC-FCS). Los resultados presentan tres ensayos para tres diferentes condiciones de operación, que evidencian la capacidad del sistema de poder trabajar en diferentes condiciones meteorológicas, con lo que se eleva la confiabilidad del suministro energético al centro de salud. La propuesta presentada es validada a nivel de simulaciones realizadas con MATLAB Simulink.

Palabras Claves: Generación Fotovoltaica, generación eólica, convertidor bidireccional de potencia, carga de baterías, técnica MPC-FCS.

ABSTRACT

The article presents a proposal for the design of an isolated hybrid microgrid with photovoltaic and wind renewable energies, which has a DC bus as a central node. The methodological development incorporates the steps to follow considering the analysis and design of the proposed system, in order to supply electric energy to a remote health center located in the department of Huancavelica, Peru. The algorithm is used to work in the maximum power transfer points known as MPPT, especially the type called "perturb and observe" (P&O), all this in relation to photovoltaic generation. The system uses a bidirectional converter to charge or discharge the battery bank and the control strategy applied to the three-phase inverter feeding the load uses the model-based predictive control technique in the finite set of switching (MPC-FCS) mode. The results present three tests for three different operating conditions, which show the capacity of the system to work in different meteorological conditions, thus increasing the reliability of the energy supply to the health center. The proposal presented is validated at the level of simulations carried out with MATLAB Simulink.

Keywords: Solar energy, wind generation, power converter, battery charging, bidirectional converter

* Corresponding author:
E-mail: jtisza@uni.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto, en el aspecto tecnológico se desarrolla en el área de la electrónica aplicada, utilizando una gama mixta de conocimientos como: la electrónica digital, electrónica integrada, instrumentación, sistemas de control, telecomunicaciones y en especial de la electrónica de potencia y energías renovables.

En forma indirecta, pero bastante relacionada toca el tema de la optimización energética, (al desarrollar una investigación relacionada con la optimización tecnológica de los convertidores de potencia), aspecto importante teniendo en cuenta que alrededor del 40 por ciento de las necesidades de energía del mundo se satisfacen actualmente con la energía eléctrica y se espera que esa proporción aumente a medida que los países reducen las emisiones de carbono y cambian a fuentes de energía renovables.

2. ANTECEDENTES

En junio del 2018 de acuerdo a Gómez [1] en su publicación sobre el diseño de una micro red aislada con generación solar utiliza un convertidor SEPIC con un algoritmo MPP, este algoritmo será utilizado en esta investigación por su rendimiento y fácil implementación. En esta publicación se implementó el convertidor y se realiza un estudio de su comportamiento para las diferentes etapas del proceso. El uso del MPC en los convertidores de Potencia fue visto por Bordons en [2]

En noviembre del 2020 de acuerdo a Mejía [3] en la tesis de grado profesional estudió la factibilidad y diseño de una micro red conformada por paneles solares y turbinas eólicas, de este estudio se utiliza el Bus DC que es usado para interconectar los componentes generadores, almacenadores y convertidores. El uso de sistemas híbridos también fue explicado por Santa Cruz [4] en la tesis de grado profesional, en la cual dimensionó un sistema híbrido eólico fotovoltaico para suministrar energía eléctrica al centro poblado Nueva Esperanza localizado en el distrito de Catache perteneciente a la provincia de Santa Cruz en el departamento de Cajamarca.

En setiembre del 2017 M. Senthil Kumar, P. Rajakumar y P. Gokul, [6], publican e incorporan los aspectos de control en el funcionamiento de una fuente de suministro de energía fotovoltaica (PV), La técnica de rastrear los puntos de máxima potencia (MPPT), usando lógica de control difuso (FLC), modelan y buscan un funcionamiento óptimo de la fuente de generación PV, ante variaciones en las condiciones medioambientales como la temperatura, la radiación solar, y presentan simulaciones del sistema analizado.

3. METODOLOGÍA

La metodología a utilizar sigue el esquema clásico de empezar con analizar, configurar, seleccionar y diseñar los elementos primarios. En este caso, serán los paneles solares y los aerogeneradores eólicos con los sistemas auxiliares que son requeridos.

El segundo paso es desarrollar, analizar, configurar y seleccionar los convertidores de potencia necesarios. Una vez establecidos los bloques generales indicados anteriormente que consideran a los elementos primarios y los convertidores, se establece la primera estructura de la red básica de energía de generación distribuida representada en la figura 1, para satisfacer los requerimientos de consumo que necesita el centro de Salud de Villa Real Pacchapata ubicado en Huancavelica cuya ubicación es indicada en el artículo de Ruiz [7].

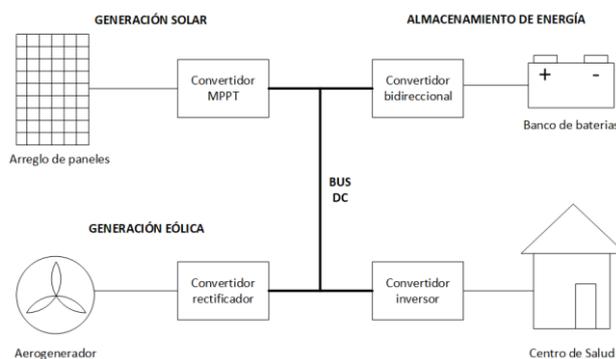


Fig. 1. Esquema de la micro red aislada.

3.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

El objetivo de este artículo es el diseño de una micro red aislada usando energías renovables híbridas para alimentar centros de salud alejados, en el caso específico se seleccionó el centro de salud Laguna Huanama ubicado en Villa Real Pacchapata en el departamento de Huancavelica con las siguientes coordenadas:

- Latitud Sur: 12° 29' 10.0" S (-12.486099)
- Longitud Oeste: 74° 58' 48.2" W (-74.980042)

El centro de salud mencionado tiene una potencia instalada de 2.5 KW y se calculó que tiene un consumo diario de 10 KW-Hr.

3.2 GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

En general, hay tres tipos de sistemas fotovoltaicos: sistemas aislados, sistemas híbridos y sistemas conectados a la red. Los dos primeros son independientes del sistema de distribución de

electricidad, y se encuentran a menudo en zonas alejadas.

Para diseñar el sistema de generación fotovoltaica se parte del consumo diario (10 KW-Hr), del panel solar escogido (LG320N1K-V5 de 320W) y de la irradiación solar mensual del sitio donde se encuentra en centro de salud (representada en la figura 2).

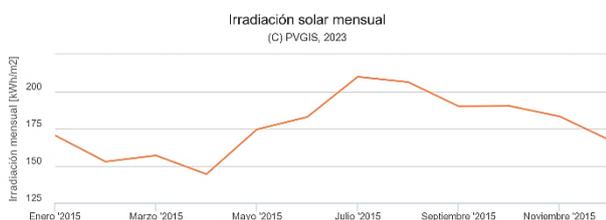


Fig. 2. Irradiación solar mensual de Villa Real Pacchapata. Obtenido de PVGIS.

Se escoge el caso más desfavorable, el cual sería el mes de abril con 144.4 KWh/m², esto se divide entre 30 días para obtener la irradiación diaria 4.81 KWh/m². Para hallar la producción de energía por panel es según [8]:

$$E_{panel} = W_{panel} \times Irradiación_{diaria} \times R_{eficiencia} \quad (1)$$

Reemplazando por los datos obtenidos y considerando una eficiencia del 70% del panel, la ecuación (1) queda:

$$E_{panel} = 320 \times 4.81 \times 0.7 = 1077.5 \text{ Wh/diarios} \quad (2)$$

Para hallar la cantidad de paneles se divide el consumo diario entre la producción de cada panel:

$$N_{paneles} = 10000 / 1077.5 = 9.28 \quad (3)$$

Se tendría entonces 10 paneles conectados en un arreglo de 5 en serie y 2 columnas, con el comportamiento a diferentes valores de irradiación representados en la figura 3.

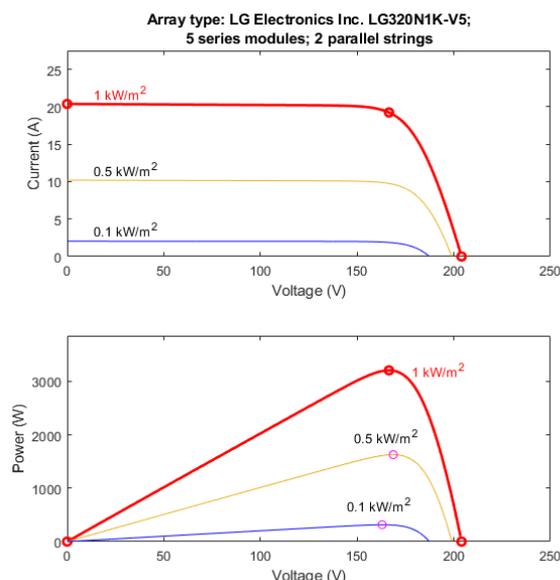


Fig. 3. Características del arreglo de paneles.

Para conectarlo al BUS DC de 500 voltios se debe diseñar un convertidor elevador con un algoritmo MPPT con una potencia de 3KW.

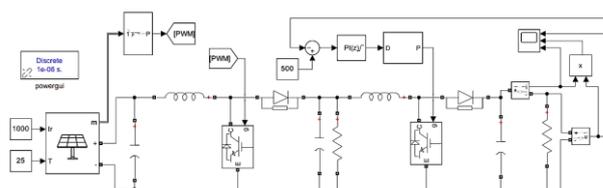


Fig. 4. Convertidor para el sistema fotovoltaico.

Este convertidor tiene dos partes representadas en la figura 4, la primera con el algoritmo MPPT (perturbar y observar) para conseguir la máxima transferencia de potencia, y la segunda es un convertidor elevador para lograr el acoplamiento en el BUS DC.

3.3 GENERACIÓN EÓLICA

Actualmente, la energía eólica ha demostrado su viabilidad técnica y económica, siendo una tecnología madura. Varias razones hacen de la eólica una de las energías renovables con gran desarrollo en los últimos años. Para este artículo se propone un sistema híbrido complementario por lo que la generación eólica debe producir una energía similar a la generación solar [9].

Se propone el aerogenerador de ENAIR de 3KW, una de las ventajas de este generador es tener un bajo viento de arranque (2 m/s) que tiene la curva de potencia representada en la figura 5, en donde se puede visualizar que el máximo coeficiente de potencia es de 0.419.

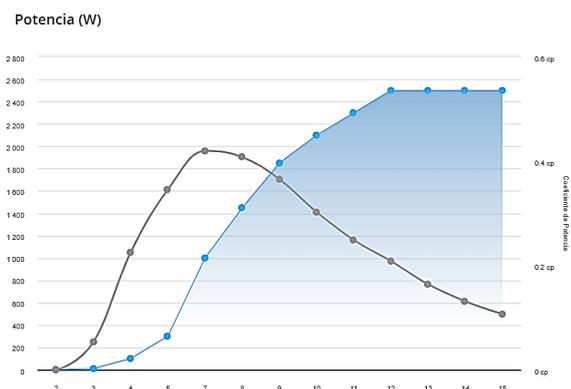


Fig. 5. Curvas de potencia del aerogenerador ENAIR 3KW. [10]

Para conectarlo al BUS DC de 500 voltios se debe diseñar un convertidor elevador con una potencia de 2.5KW representado en la figura 6, este convertidor posee un rectificador trifásico y un convertidor elevador similar al presentado en el artículo de Mariusz [11].

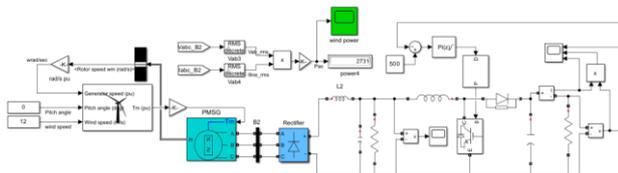


Fig. 6. Convertidor para el sistema eólico.

3.4 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Las baterías tienen el objetivo de acumular la energía eléctrica generada por las placas solares fotovoltaicas y por el aerogenerador para poderla utilizar durante la noche, en días nublados o sin viento.

Se calcula la capacidad de la batería necesaria con la ecuación (4):

$$C_{bateria} = \frac{Consumo_{total} \times Dias_{autonomia}}{Profundidad_{descarga} \times Tension_{sistema}} \quad (4)$$

De acuerdo con los datos de consumo diario (10 KW-Hr), asumiendo 2 días de autonomía, una profundidad de descarga del 50% (baterías de OPzV en gel) y una tensión de sistema de 48 voltios.

$$C_{bateria} = \frac{10075 \times 1}{0.5 \times 48} = 839.58 Ah \quad (5)$$

Para calcular la cantidad de baterías se escoge la batería HOPPECKE (12v 420AH) [12], con esto se calcula que sería necesario usar 8 baterías, 4 en serie y 2 columnas en paralelo.

Para conectarlo al BUS DC de 500 voltios se debe diseñar un convertidor bidireccional para la carga y descarga del banco de baterías representado en la figura 7.

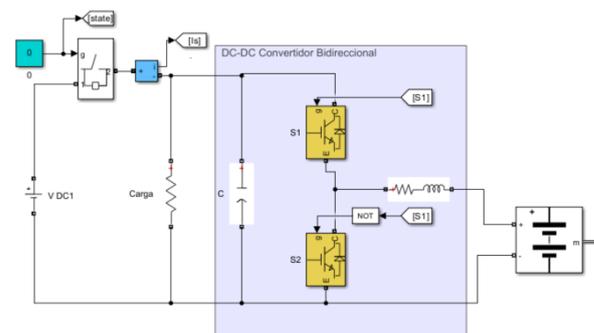


Fig. 7. Convertidor para el sistema de almacenamiento de energía.

3.5 INVERSOR TRIFASICO

Para utilizar la energía generada y almacenada se diseña un inversor trifásico (representado en la figura 8), el algoritmo de control usado es el control predictivo basado en modelos, en la modalidad de conjunto finito de conmutaciones (MPC-FCS), este control es similar al artículo de J. Tisza [13].

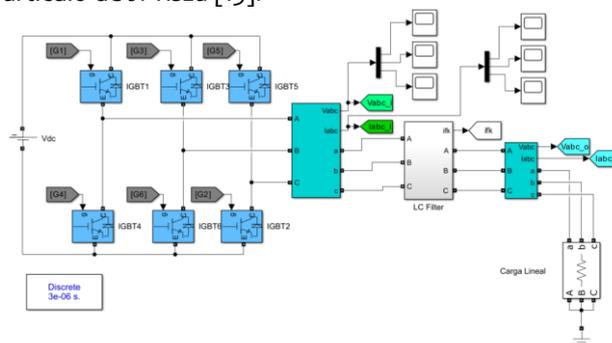


Fig. 8. Inversor trifásico.

El sistema de control calcula las predicciones del modelo a partir de la función predictiva y las mediciones actuales. El algoritmo calculará todas las posibles acciones de control (conjunto finito de conmutaciones representado en la tabla 1) que serán evaluadas por la función de coste para finalmente escoger la acción de control que minimice el error, comparándolo con la referencia, similar al artículo de Vitor [14].

TABLA I
Conjunto de conmutaciones posibles para el inversor

Vector	T1	T2	T3	Van	Vbn	Vcn
V0	0	0	0	0	0	0
V1	0	0	1	-V _{dc} /3	V _{dc} /3	2V _{dc} /3
V2	0	1	0	-V _{dc} /3	2V _{dc} /3	-V _{dc} /3
V3	0	1	1	-2V _{dc} /3	V _{dc} /3	V _{dc} /3
V4	1	0	0	2V _{dc} /3	-V _{dc} /3	-V _{dc} /3
V5	1	0	1	V _{dc} /3	-2V _{dc} /3	V _{dc} /3
V6	1	1	0	V _{dc} /3	V _{dc} /3	-2V _{dc} /3
V7	1	1	1	0	0	0

La acción de control elegida se manda al convertidor de forma que se consigue controlar la carga

de la manera requerida, todo este proceso se repite sucesivamente. El funcionamiento del sistema de control queda representado en la figura 9.

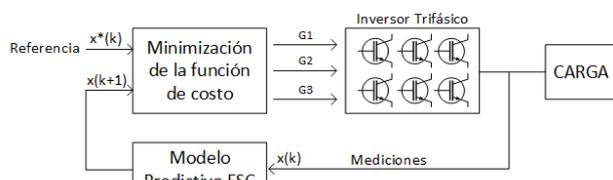


Fig. 9. Diagrama del algoritmo predictivo MPC-FSC.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados de las simulaciones realizadas. Inicialmente se simulan los sistemas de manera aislada y luego de manera conjunta con variaciones para probar los sistemas en diversos escenarios.

4.1 Sistemas de alimentación

Se configuraron los sistemas de alimentación del BUS DC de manera aislada con una carga de 1.5KW para comparar el tiempo de subida de cada fuente energética. Los resultados de las pruebas individuales se muestran en la figura 10, donde encontramos que el sistema más rápido es el conformado por el banco de baterías y el sistema mas lento es el eólico debido a su naturaleza mecánica. Es importante mencionar que los sistemas se simularon en sus condiciones nominales.

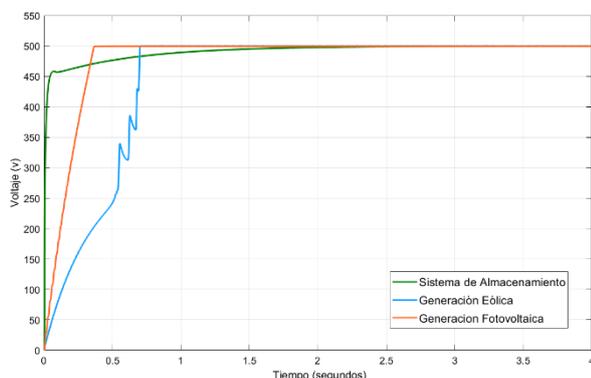


Fig. 10. Comparación de tiempos de subida de manera aislada.

4.2 Pruebas para la micro red

Luego de interconectar los sistemas mediante un BUS DC, se armó la matriz de pruebas de la tabla II, en donde se probó la micro red para diferentes condiciones, similar al artículo de Fanjun [15].

TABLA II
Matriz de pruebas para la micro red

Tipo de Prueba	Solar	Eólica	Baterías
Prueba full	100%	100%	100%
Prueba noche	0%	100%	100%

Prueba sin viento	100%	0%	100%
-------------------	------	----	------

4.3 Prueba full

El resultado mostrado en la figura 11 ilustra como varían los voltajes y corrientes de los sistemas conectados al BUS DC, se ve que la corriente inicial es proporcionada por el banco de baterías y que luego que los dos sistemas generadores se estabilizan proveen la energía a la micro red.

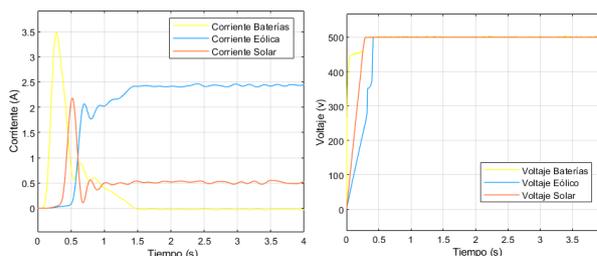


Fig. 11. Corriente y Voltaje de los sistemas.

En la figura 12 se muestra la salida del inversor trifásico, cabe indicar que se está realizando un control de corriente por eso la forma de onda de la corriente es mejor que la forma de onda del voltaje en la carga trifásica.

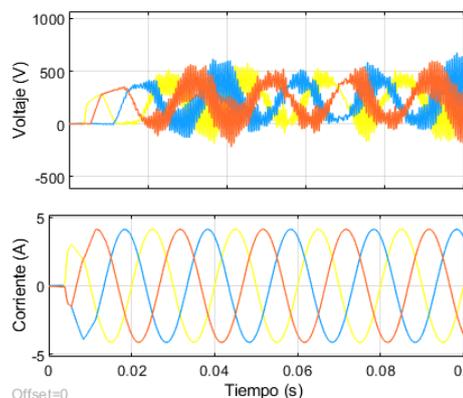


Fig. 12. Corriente y Voltaje en la carga trifásica.

4.4 Prueba noche

El resultado mostrado en la figura 13 ilustra como varían los voltajes y corrientes de los sistemas conectados el BUS DC, se ve que la corriente inicial es proporcionada por el banco de baterías y que luego que el sistema generador eólico se estabilice, es el que proporciona toda la energía, mientras las baterías entran en modo de carga.

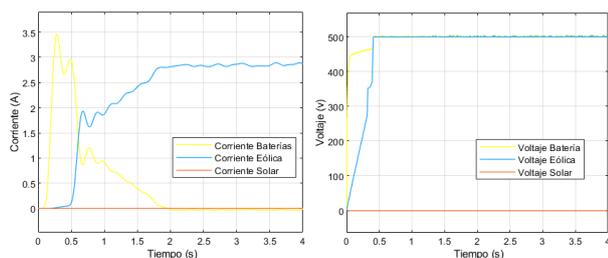


Fig. 13. Corriente y Voltaje de los sistemas de noche.

4.5 Prueba sin viento

El resultado mostrado en la figura 14 ilustra como varían los voltajes y corrientes de los sistemas conectados al BUS DC, se ve que la corriente inicial es proporcionada por el banco de baterías y que luego es proporcionado por el sistema solar luego que se estabilice el voltaje generado por este sistema.

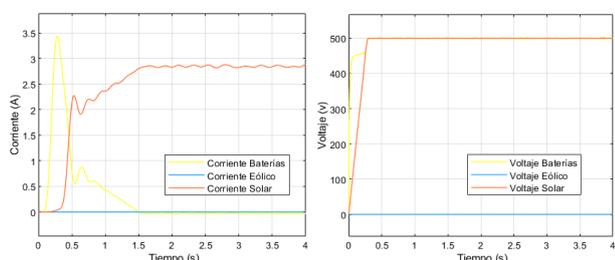


Fig. 14. Corriente y Voltaje de los sistemas sin viento.

CONCLUSIONES

- El sistema que se presenta en este artículo nos permite concluir que se puede suministrar con fuentes energéticas renovables la energía que requiere un centro de salud aislado y sin la posibilidad de conexión a la red pública comercial.
- Los sistemas de generación deben tener la suficiente capacidad de diseño en potencia para que puedan asegurar la confiabilidad del sistema.
- Se ha considerado la ubicación de una zona específica, para los efectos del diseño cuantitativo en la propuesta de solución, sin embargo, la metodología que se discute es válida para cualquier otra ubicación geográfica, con la única limitación que dicha zona tenga los recursos energéticos naturales que puedan ser utilizados.
- Un aspecto que no se ha indicado de manera explícita es la topología de la micro-red aislada que se implementa, a nivel de simulación, sin embargo, se entiende que la estructura que se propone a partir de la presentación que se hace en la figura 1.
- Se puede concluir que el tiempo de respuesta del sistema de generación fotovoltaicos es menor al sistema de generación eólico. Y que la

alimentación a partir del banco de baterías es la de menor tiempo de respuesta y brinda la energía inicial para el sistema.

REFERENCIAS

- [1] L. Gómez, et al., "Diseño de un regulador de carga para aplicación en una micro red aislada con generación fotovoltaica", *Scientia Et Technica*, vol. 23, núm. 2, 2018, Marzo-Junio, pp. 143-150. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/849/84958001003/>
- [2] C. Bordons, C. Montero, "Basic Principles of MPC for Power Converters: Bridging the Gap Between Theory and Practice", *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 9, no.3, Sep. 2015, doi: 10.1109/MIE.2014.2356600
- [3] M. Mejía, F. Bryan, Factibilidad y diseño de una micro red conformada por paneles solares y turbinas eólicas en la torre A del edificio McGregor de la PUCP", B.S. thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 2021. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/18491>
- [4] K. Santa Cruz, "Diseño de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica del centro poblado nueva esperanza ubicado en el distrito de Catache- Santa Cruz - Cajamarca", B.S. thesis, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú, 2018. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/2823>
- [5] S. Park, G. Cha, Y. Jung, C. Won, "Design and Application for PV Generation System Using a Soft-Switching Boost Converter With SARC", *IEEE transactions on industrial electronics*, vol. 57, no. 2, Feb. 2010, doi: 10.1109/TIE.2009.2036025
- [6] M. Senthil Kumar, P. Rajakumar and P. Gokul, "Modelling and simulation of Fuzzy logic based MPPT controller for Photovoltaic system," *Eco. Env. & Cons.*, vol. 23., no. 219, pp. S219-S224, Sep. 2017
- [7] M. Ruiz, "Diseño de un-Sistema Eólico para Suministrar Energía Eléctrica al Puesto de Salud Laguna Huanama- Salas 2018", B.S. thesis, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú, 2018. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/26954>
- [8] E. Crespo, "Estudio del Dimensionado de una Instalación Fotovoltaica de una Vivienda Unifamiliar", M.S thesis, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Santander, España, 2015. [Online]. Available: https://academica-e.unavarr.es/xmlui/bitstream/handle/2454/19005/64006Espieriz_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [8] J. Tisza, D. Ortega, J. Asencio, "Development of Subsystems for Renewable Generations Oriented to Implement a High-Reliability Micro-Grid DC", in *IEEE XXVIII International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, 2021, doi: 10.1109/INTERCON52678.2021.9532704
- [10] Enair Energía. "Información técnica del aerogenerador ENAIR 30 PRO". Desglose técnico de la serie Enair 30PRO punto por punto. [Online]. Available: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pro#:~:text=El%20aerogenerador%20Enair%2030%20PRO,este%20modelo%20son%20altamente%20satisfactorios.>
- [11] M. Malinowski, A. Milczarek, R. Kot, Z. Goryca, and J. Szuster, "Optimized Energy-Conversion Systems for Small Wind Turbines, Renewable energy sources in modern distributed power generation systems", *IEEE Power Electronics Magazine*, vol. 2, no. 3, Sep. 2015, doi: 10.1109/MPLE.2015.2447631
- [12] Monsolar. "Información técnica de batería HOPPECKE estacionaria 12V Power VL 2-325". Batería estacionaria 12V HOPPECKE Power VL 2-325 (6 OPzS 300) de 420Ah en C100. [Online]. Available: <https://www.monsolar.com/bateria-estacionaria-hoppecke-power-vl-12-325.html#:~:text=Bater%C3%ADa%20estacionaria%20Hoppecke%20de%2012V,Dise%C3%B1adas%20para%20durar%2020%20a%C3%B1os.>
- [13] J. Tisza, F. Santos, J. Arteaga, "Convertidor Trifásico Bidireccional y Bifuncional Usando Control FCS-MPC para Sistemas Híbridos

de Generación Distribuida”, in *The 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration*, Jul. 2020. [Online]. Available: <https://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/meta/FP418.html>

- [14] V. Monteiro, J. Ferreira, A. Nogueiras, J. Afonso, “Model Predictive Control Applied to an Improved Five-Level Bidirectional Converter”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.63, no.9, Sep. 2016, doi:10.1109/TIE.2016.2558141
- [15] F. Meng, et al., “Distributed Grid Intelligence for Future Microgrid with Renewable Sources and Storage”, in *North American Power Symposium 2010, USA, 2010*, doi:10.1109/NAPS.2010.5618963