

Control de factor de potencia en una red fotovoltaica en la Parroquia Vuelta Larga, Esmeraldas – Ecuador

Power factor control in a photovoltaic network in the Vuelta Larga Parish, Esmeraldas – Ecuador

Autores:

Ronny Joel Angulo Guerrero



Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas

País: Ecuador

Correo electrónico institucional: ronny.angulo@utelvt.edu.ec

Aileen Stephany Restrepo Pineda



Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas

País: Ecuador

Correo electrónico institucional: aileen.restrepo@utelvt.edu.ec

Citación/cómo citar este artículo:

Angulo, R. y Restrepo, A. (2022). Control de factor de potencia en una red fotovoltaica en la Parroquia Vuelta Larga, Esmeraldas – Ecuador: Revista Social Fronteriza, 2(2) 22-35 DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6429664>

Enviado: marzo 08, 2022

Aceptado: abril 09, 2022

Publicado abril 11, 2022



Resumen

El presente proyecto muestra el estudio de control de factor de potencia para un sistema solar fotovoltaico en la parroquia Vuelta Larga del Cantón Esmeraldas, donde se presenta una metodología aplicada de tipo cuantitativa, donde se estudiarán las condiciones climáticas y ambientales de la Parroquia Vuelta Larga como; el recurso solar disponible, así como también la curva de demanda eléctrica para el dimensionamiento de la central fotovoltaica y los valores de factor de potencia de la zona. Para lo cual se realizaron simulaciones a través de bloques funcionales en el software MATLAB/Simulink

Palabras clave

Control de Factor de Potencia; Simulación; Tensión.

Abstract

This project shows the power factor control study for a photovoltaic solar system in the Vuelta Larga parish of the Esmeraldas Canton, where an applied quantitative methodology is presented, where the climatic and environmental conditions of the Vuelta Larga Parish will be studied as ; the available solar resource, as well as the electricity demand curve for the sizing of the photovoltaic plant and the power factor values of the area. For which simulations were carried out through functional blocks in the MATLAB/Simulink software.

Keywords

Power Factor Control; Simulation; Tension.

Introducción

Actualmente, la energía eléctrica es una necesidad imprescindible para la humanidad, ha sido posible lograr avances tecnológicos, económicos y culturales, y por ello varios países han desarrollado exitosamente su economía gracias a sus capacidades energéticas y así poder aprovechar la potencia (Suárez y Ocampo, 2017).

La energía solar fotovoltaica se basa en la energía transmitida por los fotones de la luz solar a los átomos de los materiales semiconductores. Cuando estos átomos reciben energía del fotón, se desplazan produciendo electricidad. Este proceso de transmisión de energía se conoce como el efecto fotovoltaico y se observó para ambos en el siglo XIX.

Las energías renovables permiten la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contribuyen a los beneficios al medio ambiente. En Ecuador se han creado políticas, estrategias y medidas para incentivar a las personas a la utilización de energías limpias con micro generación que promuevan el bienestar de la sociedad y contribuyan al medio ambiente. Actualmente en Ecuador existe la regulación ARCERNNR 001/2021 que tiene como objetivo regular el autoabastecimiento a partir de fuentes renovables de energía, Arconel 005/18 menciona que el factor de potencia permitido es de 0.92 que establece el valor estandarizado para el factor de potencia (Fernandes, 2018).

Metodología

La metodología que se aplicó en esta investigación fue cuantitativa.

Delimitación:

- Espacial: Parroquia Vuelta Larga, Cantón Esmeraldas, Provincia de Esmeraldas.
- Temporal: Normativas nacionales e internacionales.

Tipo de investigación: Aplicada.

Métodos: Deductivo.

Se presenta una metodología aplicada de tipo cuantitativa, donde se estudiaron las condiciones climáticas y ambientales de la Parroquia Vuelta Larga como lo es el recurso solar disponible, así como también la curva de demanda eléctrica para el dimensionamiento de la central fotovoltaica, luego de ello se estudió el modelo de control PID en condiciones normales, luego aplicaremos el modelo matemático de la central fotovoltaica que utilizando la Interfaz de MATLAB, también se analizó la regulación del factor de potencia mediante un controlador PID y finalmente la distorsión armónica y sus características de acuerdo a las normativas y límites permisibles.

Se consideró como objetivo realizar control de factor de potencia para un sistema solar fotovoltaico en la Parroquia Vuelta Larga del Cantón Esmeraldas.

Población y Muestra

La parroquia Vuelta Larga se encuentra ubicada al noroeste del país en la provincia de Esmeraldas y limita, al norte con el Cantón Esmeraldas, sur con la Parroquia Tabiazo, al este con las Parroquias Tachina y San Mateo y al oeste con la Parroquia Tonsupa.

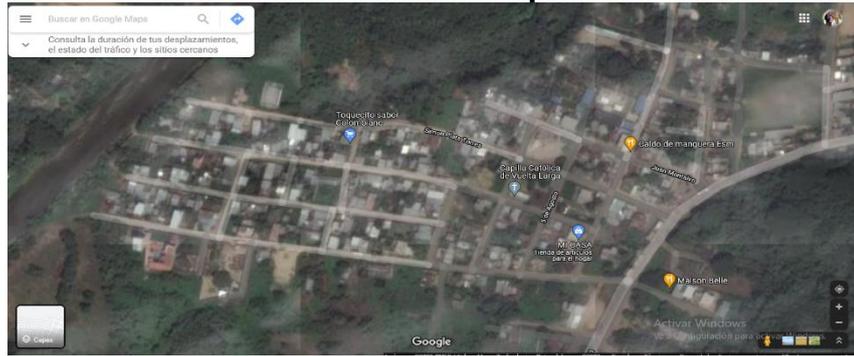


Figura 1 Parroquia Vuelta Larga, *Fuente Google Maps*

Técnicas e instrumentos

Modelo Matemático de la Central Fotovoltaica

Para el desarrollo del modelo matemático de la central fotovoltaica se utilizó la Interfaz de MATLAB llamada " Ident", donde la variable de entrada es la potencia aparente (S) del sistema y la función de salida es el factor de potencia, con los valores que podemos apreciar en la Tabla 4, vamos a aproximar a un modelo de planta con función de transferencia de primer orden estos valores fueron tomados de CNEL EP Unidad de Negocios Esmeraldas, que pertenecen a la parroquia Vuelta Larga , estos valores nos va ayudar a determinar nuestra variable de salida que en este caso es el factor de potencia.

$$\text{Margen de error} = \frac{\text{Valor Real} - \text{Valor Simulado}}{\text{Valor Real}}$$

Resultados

Se modeló en MATLAB/Simulink un sistema eléctrico de una central fotovoltaica en la parroquia de Vuelta Larga al sur de la ciudad de Esmeraldas, la cual suministrara de energía a una carga de 2.2 MW de potencia eléctrica, se ejecutó la simulación, se obtuvieron los resultados del factor potencia y gráficas, luego se halló la función de transferencia, para determinar un controlador que su comportamiento sea estable.

En la Figura 2 se muestra el esquema eléctrico de conexión de la planta solar la cual abastece de energía a una carga de 100 kW de potencia eléctrica.

El sistema funciona de la siguiente manera:

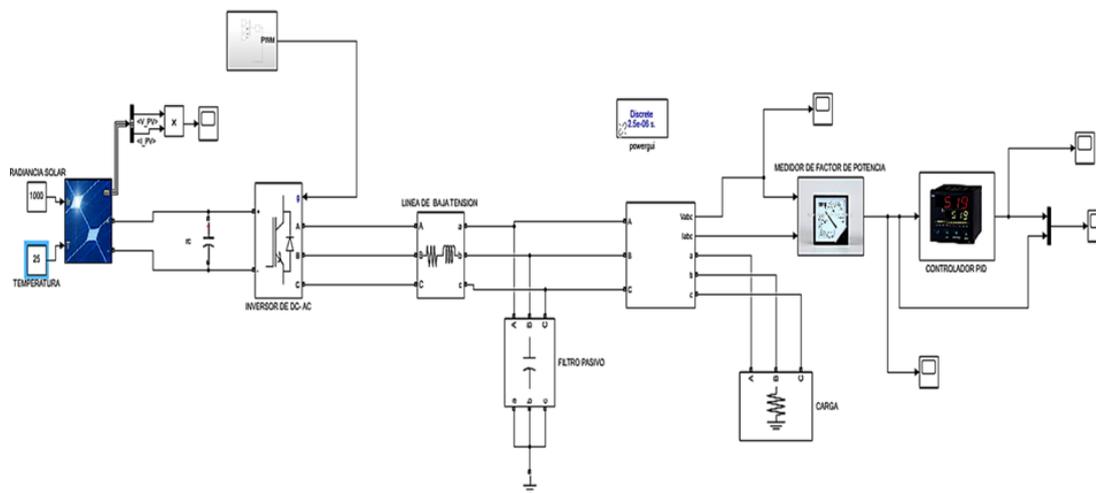


Figura 2 Diagrama del Sistema

Los paneles solares almacenan energía eléctrica en forma continua a 24 voltios DC, luego este este voltaje se convierte en AC mediante un inversor de DC en AC, adicionalmente realiza funciones tales como, limitar la corriente de salida, mantiene la tensión de salida y frecuencia dentro de los rangos permitidos, luego el sistema pasa por un transformador el cual eleva 12 V a 220 V la cual es el voltaje de la red de baja tensión.

Se colocó un filtro paso bajo en el sistema fotovoltaica, cuya finalidad es atenuar las frecuencias más altas así mismo permitirles el paso a las frecuencias más bajas, a su vez también ayuda a eliminar armónicos, una vez que se determinó la carga se procedió analizar y determinar un controlador que se adapte a los parámetros que se necesita en el sistema.

El controlador debe lograr que el sistema alcance un factor de potencia 0,92 FP, mediante un medidor de factor de potencia se determinó que el factor de potencia que ingresa a nuestro sistema, es decir la entregada por la planta que es de 0.86 FP.

Para la regulación del factor de potencia, se implementó un controlador PID el mismo que permitirá controlar tres variables, cuyas constantes K_p que es la constante proporcional que asegura el tiempo de estabilidad, la constante interactiva K_i que es el tiempo de sincronización del sistema y K_d constante derivativa el mismo es el tiempo de respuesta para mantener la estabilidad del sistema.

Como ya se dijo, la sintonía consiste en la determinación del ajuste de sus parámetros. K_p , K_i , K_d , para lograr un comportamiento del sistema aceptable y de conformidad con algún criterio de desempeño, es decir toma en cuenta en primer lugar las características estimadas del proceso. Los métodos habituales de sintonía consideran un modelo de

primer orden $G(s) = \frac{0.00013236}{1+2.8299 s}$ con retardo puro del tipo descrito. Se puede identificar

los valores más importantes del modelo. Esto se puede hacer por distintos caminos. Inclusive MATLAB está provisto de algoritmos que permiten realizar tal identificación a partir de las señales entrada – salida del proceso. Los mismo que tomamos en el método de lazo cerrado, Ziegler y Nichols permite ajustar o "sintonizar" un controlador

PID, cumpliendo todas las reglas que nos ayudan a identificar un valor característico del proceso, el Período natural P_n , llevando el proceso a un estado de oscilación. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Convertir el PID en un simple controlador proporcional, para lo cual:
Anular la ganancia integral, o lo que es lo mismo definir el tiempo integral (o de reset) en su valor más largo posible.
- Poner la ganancia derivativa (tiempo derivativo) en cero o su valor mínimo.
- Incrementar la ganancia (disminuyendo la banda proporcional) hasta que el lazo mantenga una oscilación sostenida pequeña. Obtenemos en esta circunstancia dos parámetros: la ganancia límite (o de oscilación) K_{cu} y el período de oscilación P_n , que es el valor más importante.
- Ajustar el controlador PID con los siguientes parámetros:

$K_p = 2.924$; $K_i = 0.6$; $K_d = 0$

Algunas aclaraciones importantes:

- a) Ziegler y Nichols definieron estas reglas para una estructura no interactiva de controlador. Si se está trabajando con otra configuración, deberán hacerse las conversiones respectivas.
- b) Debe tomarse un especial recaudo en trabajar con las mismas unidades definidas por el controlador usado. Así, por ejemplo, es muy habitual que la Ganancia del controlador esté definida por el fabricante del controlador.

Después de haber hecho la tabulación y viendo la gráfica, procederemos a la simulación para realizar el respectivo diseño y modelamiento de la central de generación fotovoltaica, así mismo controlaremos el factor de potencia en nuestro sistema, cumpliendo con los estándares del Ecuador, se procede a realizar el modelo matemático mediante función de transferencia $G(s) = \frac{0.00013236}{1+2.8299s}$ para demostrar que se cumple el objetivo de controlar y corregir el factor de potencia.

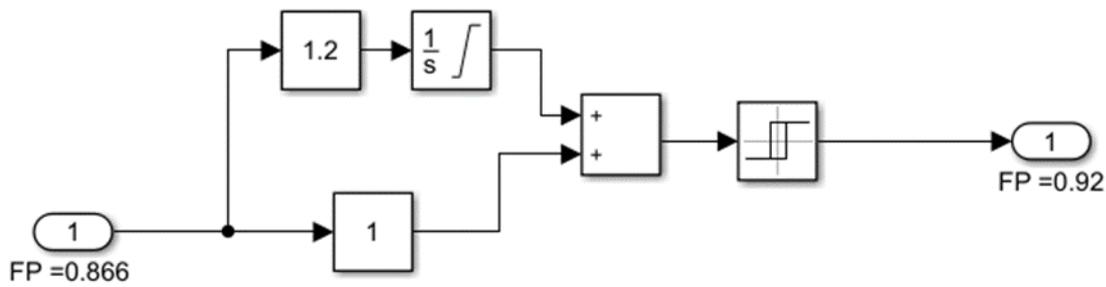


Figura 3 Diagrama de Lazo Cerrado

De los resultados obtenidos en esta investigación se puede deducir que existen varios métodos para el control de factor de potencia. Esto nos plantea la necesidad de buscar un método de poder controlar el Factor de potencia de nuestra central fotovoltaica, es allí donde optamos entre los distintos controladores por un PID, es necesario señalar y hacer énfasis en el por qué nos decidimos por este, aprovecha y nos permite simultáneamente poder controlar tres parámetros distintos todo esto atreves de un lazo de retroalimentación, calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada.

Es allí donde los sistemas P, PI e, PID, presentaron ciertas ventajas para el sector de la automatización y es por razón nos centramos en ellos para identificar mediante la información recopilada y los resultados obtenidos se observó su eficiencia a la hora de controlar la señal de entrada. El laso que de retroalimentación que existe, el control PID combina acciones proporcionales, integrales y derivadas para generar una única señal de control, donde cada acción tiene una característica fuerte que ayuda a controlar la salida. La acción proporcional hace que el sistema reaccione al presente error, permitiendo una acción inmediata ante variaciones o perturbaciones; La acción integral elimina los errores de estado estacionario a largo plazo, y la acción Derivativa anticipa el comportamiento del proceso. La variable que deseamos obtener es de 0.92 FP que es lo que estipula CONELEC-004-01, el factor de potencia que entrego la central fotovoltaica es de 0.86 FP.

Se analiza que el controlador deberá inyectar condensadores o a su vez cargas capacitivas también conocidas como potencia reactiva, de signo contrario a la potencia reactiva demandada por los receptores.

Conclusiones

Una vez realizado el estudio del control de factor de potencia para un sistema solar fotovoltaico en la parroquia Vuelta Larga del cantón Esmeraldas del presente proyecto, se cuenta con la información necesaria y suficiente que permite llegar a la siguiente conclusión el software MATLAB/Simulink es una herramienta que brinda la oportunidad de estudiar, analizar y modular sistema eléctrico de potencia, reduciendo el tiempo del cálculo por medio de iteraciones y métodos matemáticos.

En cuanto al definir un controlador idóneo para mantener el factor de potencia requerido para la Parroquia Vuelta Larga del cantón Esmeraldas, se implementó un controlador PID el mismo que permite controlar tres variables, cuyas constantes K_p que es la constante proporcional que asegura el tiempo de estabilidad, la constante interactiva K_i que es el tiempo de sincronización del sistema y K_d constante derivativa el mismo es el tiempo de respuesta para mantener la estabilidad del sistema.

Por otro lado, al determinar el potencial energético solar y las condiciones climáticas de la zona de estudio mediante a los datos obtenidos de POWER Data Access Viewer, la parroquia al igual que el cantón se caracterizan por ser un territorio húmedo, con una pluviosidad anual sobre los 700 mm metros sobre el nivel del mar; tiene una temperatura media anual que oscila alrededor de 25 °C con este valor se concluyó este sector brinda las facilidades para la implantar una central eléctrica con generación fotovoltaica, brinda condiciones climáticas apropiadas.

Para finalizar el objetivo, realizar un estudio detallado del funcionamiento de los controladores como mejoras en el factor de potencia para sistemas eléctricos

fotovoltaicos. Este objetivo se pudo cumplir a partir del desarrollo de un análisis general es necesario resaltar que los resultados de esta investigación arrojan que, compensando las cargas inductivas con cargas capacitivas, de tal forma es necesario inyectar $0,167$ F con el factor de potencia original y el factor de potencia deseado, el valor donde interceptan ambos valores de factor de potencia, es el que se multiplica por la potencia promedio para obtener la diferencia entre ambas reactancias proporcione menor potencia reactiva, y por lo tanto un mejor factor de potencia que es de $0,92$.

Referencias bibliográficas:

- Acosta, J. C. (2018). Los Paneles Fotovoltaicos Como Alternativa De Generación De Electricidad En Una Zona Residencial De Cartagena - Colombia. *E-Conversion - Proposal for a Cluster of Excellence*, 29–50.
- Asmel Marrero, V. (2013). *Universidad Central “ Marta Abreu ” de Las Villas Universidad Central “ Marta Abreu ” de Las Villas*. 30–34.
- Barrera, J. (2021). *Universidad de Ambato*. 33–35.
[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/5913/1/Tesis Lcda. Jeaneth Barrera Cueva.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/5913/1/Tesis%20Lcda.%20Jeaneth%20Barrera%20Cueva.pdf)
- Cáceres Chura, E. (2019). *Estudio y Análisis de Armónicos en Rectificadores Estáticos de Potencia Eléctrica utilizando Series de Fourier, para la región de Puno*. 194.
- Calvache Bonifaz, E. A. (2019). Diseño y simulación del sistema de control para la operación de tres plantas de generación: hidroeléctrica, eólica y fotovoltaica (Bachelor's thesis, Quito, 2019.). In : *hidroeléctrica, eólica y fotovoltaica (Bachelor's thesis, Quito, 2019.)*. (pp. 285–287). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-60984-5.00062-7>
- Chamorro, y Alba, C. B. (2020). *Trabajo Fin de Grado Ingeniería de las Tecnologías Industriales Gestión de Energía para la Microrred en Cuenca (Ecuador) usando Control Predictivo*.
- Conelec. (2001). *Ley orgánica de eficiencia energética Regulacion-No.-CONELEC-004-01, Calidad del servicio electrico de Distribucion* .
- Constante Segura, J., & Palacios Chacón, E. (2014). El Recurso Solar Para Generación

De Energía. In *Universidad Politécnica Salesiana*.
<http://www.dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6791>

- Cordero Paredes, V. (2014). Simulación mediante Psim de algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia en sistemas fotovoltaicos. *Grado En Ingeniería Electrónica Industrial y Automática Simulación*, 123.
- David, T. (2018). *Control de factor de potencia para conexión a red Granjas solares fotovoltaicas*.
- Domínguez Guamán, D. H., & Salvatierra Cánepa, B. G. (2016). *Análisis de calidad de energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos conectados a la red*. 93.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12710>
- Eniquez, G. (2019). *Diseño Y Simulación De Un Sistema De Previsión De Generación Fotovoltaica Basado En La Predicción Numérica Del Clima*.
- Fabian Malvaceda, D. O., & Palián Flores, R. C. (2019). Estudio de los armónicos y sus efectos en los transformadores de potencia.
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2316>
- Fernandes, R. L. (2018). *Smart Grid para integración de generación renovable y almacenamiento en un entorno industrial*. 296.
- Fernández García, L. G., & Cervantes Torres, A. (2017). Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira. *Centro de Investigación En Materiales Avanzados, S.C.*, 136.
<http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/1927>
- Gansino, S., & Marina, A. (2015). *Diseño de un sistema fotovoltaico con control de posicionamiento e implementación de luce tipo Led para un pasillo del bloque B de la universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Guayaquil*.
- Madero Zuluaga, S. M. (2017). E. de factibilidad para la implementación de un generador fotovoltaico de 10kw con conexión a la red de potencia en la planta de trituración y molienda S. (servicios mineros del T. (2014). *Proyecto Fin de Grado UN VEHÍCULO CLÁSICO Proyecto Fin de Grado*.
- Novoa, A. B. (2007). *Analisis de metodos de sintonizacion para controladores pi industriales*. 110. <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0039457.pdf>
- Sánchez López, D. (2019). I. de un sistema de control de velocidad para un prototipo de vehículo eléctrico autónomo. (2019). *Proyecto Fin de Grado AUTÓNOMO (Implementation of a Speed Control System for a Prototype of Autonomous Electric Vehicle)*.
- Suárez Farinango, W. A., & Ocampo Jiménez, F. O. (2017). *Diseño y simulación de la operación y control de los convertidores estáticos de energía en una micro-red*

eléctrica inteligente (Micro-Smart Grid) aplicado un sistema de alumbrado público a partir de fuentes de energía renovables (fotovoltaica y eólica).

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17520>

Vásquez, J. R. (1985). Factor de Potencia. *Barcelona: Ediciones Ceac SA*, 1-5.

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Factor+de+Potencia#8>

Vela Mosquera, M. E. (2016). *Instituto De Altos Estudios Nacionales*.

[https://repositorio.iaen.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/24000/3810/TESIS
MARITZA VELA..pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.iaen.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/24000/3810/TESIS%20MARITZA%20VELA..pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Villa, V., & Águila, A. (2017). *Óptima Gestión Y Regulación De Voltaje En Microredes De Distribución Con Generación Distribuida Y Almacenamiento De Energía*. 30.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que este trabajo no presenta conflicto de intereses