

Non-interconnected Photovoltaic System: case Old Providence Island

Juan Carlos Molinares Uparela, Electrical engineering student¹, Samuel David Olarte Hernández, Electrical engineering student¹, Ingrid Oliveros Pantoja, PhD¹, Jose D. Soto, MSc¹, Elvin Jimenez, MSc², Leandro Zurek, Electrical Engineer.

¹Universidad del Norte, Colombia, juanu@uninorte.edu.co, olartes@uninorte.edu.co, inoliver@uninorte.edu.co, jsoto@uninorte.edu.co, ²Instituto Técnico de Santo Domingo, Santo Domingo, jimeneze@egehaina.com, lzurekvarela@yahoo.com

Abstract– *Old Providence is an island where electricity generation comes mainly from diesel oil and the power system has neither voltage nor frequency control. This paper presents the current characteristics of the power distribution system in the Island. Then, the paper shows a technical analysis to determine the maximum possible penetration level of photovoltaic solar panels, to comply with stability conditions according to Colombian regulations. The changes that would occur in the network after the photovoltaic system is included are also presented. Results show that photovoltaic energy is a good alternative for Old Providence. Keywords-Stability, Voltage, Frequency, Operation scenarios, Photovoltaic generation*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.166>
ISBN: 978-0-9993443-1-6
ISSN: 2414-6390

Sistema Fotovoltaico No Interconectado: Caso Isla Providencia

Juan Carlos Molinares Uparela, Electrical engineering student¹, Samuel David Olarte Hernández, Electrical engineering student¹, Ingrid Oliveros Pantoja, PhD¹, Jose D. Soto, MSc¹, Elvin Jimenez, MSc², Leandro Zurek, Electrical Engineer.

¹Universidad del Norte, Colombia, juanu@uninorte.edu.co, olartes@uninorte.edu.co, inoliver@uninorte.edu.co, jsoto@uninorte.edu.co, ² Instituto Técnico de Santo Domingo, Santo Domingo, jimenez@eghaina.com, lzurekvarela@yahoo.com

Abstract— Providencia is an island where electricity generation comes mainly from diesel oil and the power system has neither voltage nor frequency control. This paper presents the current characteristics of the power distribution system in the Island. Then, the paper shows a technical analysis to determine the maximum possible penetration level of photovoltaic solar panels, to comply with stability conditions according to Colombian regulations. The changes that would occur in the network after the photovoltaic system are also presented. Results show that photovoltaic energy is a good alternative for Providencia.

Keywords—stability, voltage, frequency, operation scenarios, photovoltaic generation.

I. INTRODUCCIÓN

Las islas alejadas del territorio continental poseen características que establecen escenarios económicos, culturales y ambientales particulares. Especialmente, aquellas que tienen poca extensión, poseen recursos limitados, no pueden alcanzar economías de escala y son vulnerables ante fenómenos ambientales que año tras año son más frecuentes a consecuencia del cambio climático [1]. Los mayores retos que enfrentan estos territorios se centran en la capacidad de suplir su demanda de energía eléctrica, el suministro de agua potable, el manejo de basuras y el transporte [2]. La generación eléctrica insular está basada, en su gran mayoría, en la importación de combustibles fósiles que se traduce en una dependencia económica ante cambios en el precio del petróleo y sus derivados. Producir electricidad de esta forma no solo acarrea costos elevados en generación sino también un gran volumen de gases de efecto invernadero [3].

De forma indirecta, gran parte de los retos que afrontan las islas se relacionan con su capacidad de generar electricidad por lo que se hace necesario incentivar iniciativas que busquen una mayor eficiencia en la producción energética. Existen varios proyectos vigentes alrededor del mundo que han logrado disminuir la dependencia de combustibles fósiles en las islas al generar electricidad por medio de fuentes renovables de energía (RES) y se ha comprobado la capacidad de cubrir la demanda total de energía eléctrica con este tipo de fuentes [4].

Este artículo propone implementar un sistema de generación eléctrico basado en paneles solares distribuidos en nodos de carga, con el que se reducen las pérdidas en líneas de transmisión a la vez que se mantienen los límites de operación en tensión [5] y frecuencia [6] exigidos por la normativa colombiana. La generación fotovoltaica tiene características

técnicas que determinan su eficiencia tales como la radiación y la ubicación geográfica [7], que fueron contempladas en el estudio.

El estudio fue desarrollado para el sistema eléctrico de la isla Providencia, localizada en el mar Caribe con una población poco mayor a 4900 habitantes y 22 km² de extensión. Esta isla registró una demanda máxima de 1,8MW en 2016 [8]. Este sistema tiene una topología radial con dos circuitos de distribución que cubren la totalidad de los usuarios en Providencia y su isla vecina Santa Catalina por medio de un cable submarino. La tensión en distribución es de 13,2 kV/60Hz [9].

La importancia de este artículo radica en que presenta un modelo de generación que incluye energía solar fotovoltaica que permitirá modificar la matriz energética existente y determinar la máxima penetración de energía renovable no convencional que se puede incluir en la isla desde una perspectiva técnica. Se desarrolló un procedimiento en tres etapas: 1) Modelo del sistema actual: Se describe el modelo del sistema de potencia en la isla providencia con su respectivo análisis de flujo de carga. 2) Penetración renovable: Análisis de la penetración fotovoltaica a demanda máxima, mínima y promedio. 3) Análisis dinámico: Se determinaron los límites de estabilidad en frecuencia al monitorear la variación de la generación solar en distintos escenarios.

La metodología descrita se aplica al estudio del sistema eléctrico de la isla Providencia, un sistema con participación mayoritariamente diésel compuesto por cuatro generadores y una capacidad instalada de 4,5MW.

II. MODELO DEL SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL EN PROVIDENCIA.

El sistema de potencia de la isla Providencia está compuesto por cuatro unidades de generación diésel y dos circuitos de distribución llamados South West y Town con una topología radial. El circuito South West consta de 47 nodos y se conecta por medio de un cable submarino con la isla de Santa Catalina, mientras el circuito Town se distribuye en 67 nodos. El perfil de demanda en la isla presenta picos durante algunas horas de la noche. La Fig. 1 muestra las demandas registradas durante 10 días del mes de agosto (2017) por la empresa prestadora del servicio de energía. De igual forma la tabla 1 resume las características principales del sistema.

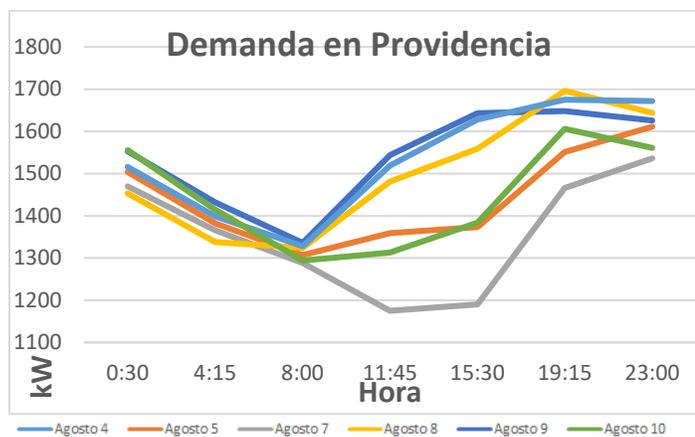


Fig. 1 Demanda registrada por horas en la isla de Providencia. Fuente: elaboración propia.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN
PROVIDENCIA

Niveles de tensión	13.200/380-240-120 V
Potencia de generación instalada	4,48 MW
Demanda máxima en 2016	1,8 MW

Los elementos principales que conforman el sistema fueron modelados con el software Digsilent, PowerFactory para determinar el flujo de carga. Este software utiliza el método Newton-Raphson para la solución de las ecuaciones no lineales [10] y así obtener los valores de magnitud y ángulo de las tensiones en cada nodo. La Fig. 2 muestra el esquemático del sistema actual. La subestación generadora se muestra en la parte superior y a cada lado se distribuyen los ramales de los dos circuitos que componen el sistema. De acuerdo con las convenciones los nodos más alejados de la generación presentan caídas de tensión tomando valores de 0,95 pu. Debido a la disminución de tensión originada por las pérdidas en las líneas y sus efectos en la potencia reactiva [11], se determinó incluir la generación fotovoltaica distribuida en cada uno de los nodos de carga. La carga estimada en cada rama del sistema se determinó de acuerdo con la capacidad instalada de transformación. Es decir, en cada nodo se calculó la potencia demandada en base al transformador conectado en ese punto y fue determinada como sigue:

$$C_x = (P_x * L) / P_T \quad (1)$$

donde,

C_x = Cargas en el nodo x donde x puede tomar valores de 1 a 91.

P_x = Potencia nominal del transformador en el nodo x.

P_T = Potencia nominal instalada de todos los transformadores en nodos de carga del sistema.

L = Demanda total en watts.

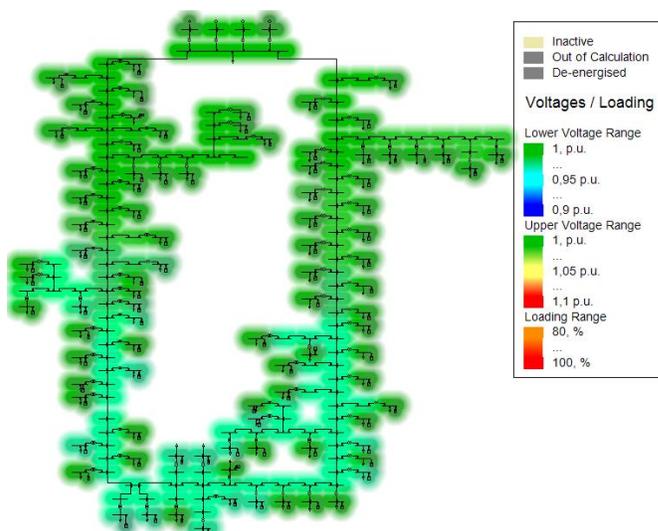


Fig. 2 Mapa de colores para el flujo de carga del sistema eléctrico actual. Fuente: elaboración propia.

III. PENETRACIÓN RENOVABLE

Con base en la demanda máxima registrada en la isla para el año 2016 (1,8MW) se incluyó la generación fotovoltaica ajustando la capacidad nominal de generación con el grupo de paneles solares a la mayor potencia demandada que registró la compañía prestadora del servicio eléctrico en la isla. Cada una de las unidades de generación fotovoltaica se adaptó con el modelo diseñado en PowerFactory. De esta manera se simuló la potencia generada por el grupo total de paneles solares al variar el porcentaje de unidades incluidas en la red del 10% al 90% como se muestra en la Fig. 3.

Con este análisis en estado estable se verificó la tensión en cada nodo y sus valores dentro del rango de operación exigido por las normas en Colombia. Las tensiones no deben ser menores a 0,9 pu, ni superior a 1,1 pu. [5]. En este punto se puso a prueba el sistema variando la capacidad de generación del grupo de paneles solares hasta determinar una capacidad instalada del 17% de la demanda máxima que se mantuvo en los límites de operación para los tres perfiles de demanda antes mencionados. Los valores de tensión en cada nodo obtenidos al simular con la demanda promedio en el sistema eléctrico de potencia se muestran en la Fig. 4 en donde se observa y comprueba la estabilidad del sistema.

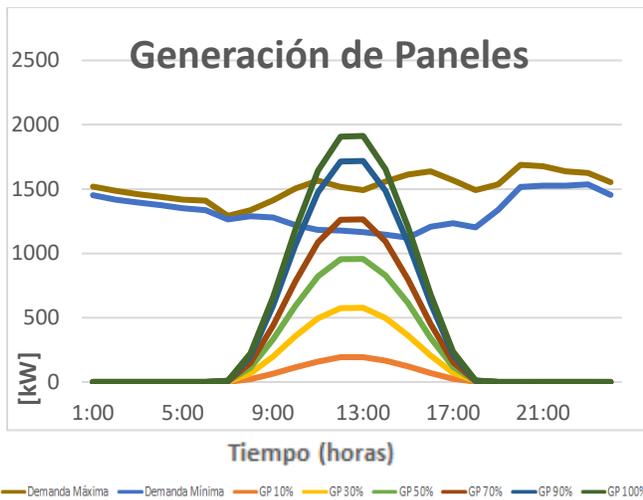


Fig. 3 Generación con paneles solares fotovoltaicos y curvas de demanda. Fuente: elaboración propia.

TABLA II CAMBIOS ABRUPTOS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Porcentaje de generación	Cambio de potencia generada [kW]	
	9:00-10:00	16:00-17:00
10%	50,997	-52,603
20%	117,294	-95,516
30%	157,364	-157,429
40%	209,424	-203,707
50%	261,675	-271,326
60%	313,931	-314,062
70%	345,796	-345,933
80%	414,793	-407,985
90%	457,921	-450,355
100%	523,167	-523,38

Con los datos anteriores se simuló en PowerFactory estos cambios de generación modelándolos como una rampa. Cabe mencionar que el modelo de generador diésel incluyó un control primario de frecuencia con la intención de estabilizar este parámetro luego de una perturbación [12]. Si el sistema era capaz de soportar ambas perturbaciones, de aumento y disminución de generación fotovoltaica repentino, se podría asegurar el número máximo de paneles que el sistema podía soportar y, por lo tanto, la penetración máxima de generación distribuida fotovoltaica.

Como resultado se encontró que este porcentaje máximo de inmersión fotovoltaica es de 17%, y corresponde a 1507 unidades de paneles fotovoltaicos. Con dicho porcentaje, el cambio de frecuencia para ambos, aumento y disminución de generación, es de 0,190 Hz, manteniendo la frecuencia en un rango de 59,805 – 60.190 Hz. Lo cual cumple con la normativa de estabilidad de frecuencia. En la Fig. 4 y 5 se muestra el comportamiento de la frecuencia cuando ocurre el aumento y disminución de generación, respectivamente.

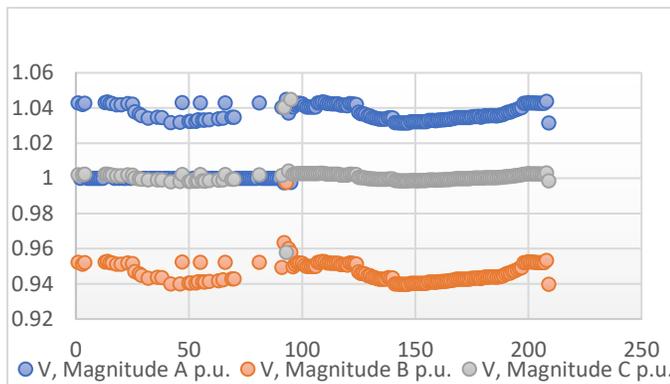


Fig. 4 Perfil de tensión en cada nodo con generación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia.

IV. ANÁLISIS DINÁMICO

Partiendo del hecho de que en algunas horas de la mañana y en otras por la tarde, hay cambios abruptos de generación fotovoltaica, como se puede ver en la Fig. 3, se realizó un análisis dinámico para vigilar la estabilidad de frecuencia en estas horas. Los cambios más abruptos de generación fotovoltaica se dan de 9:00 a 10:00 en la mañana y de 16:00 a 17:00 por la tarde, siendo estos cambios de aumento y disminución respectivamente. En la Tabla II, se muestran cuáles son estos cambios abruptos en generación para cada porcentaje de generación fotovoltaica.

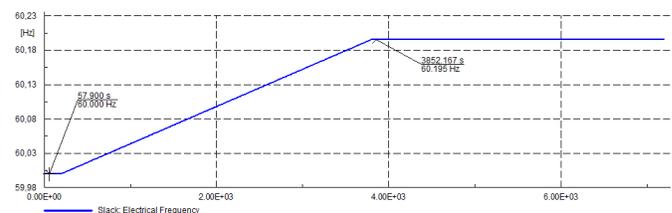


Fig. 5 Frecuencia cuando ocurre un cambio de 88,481 kW. Fuente: elaboración propia.

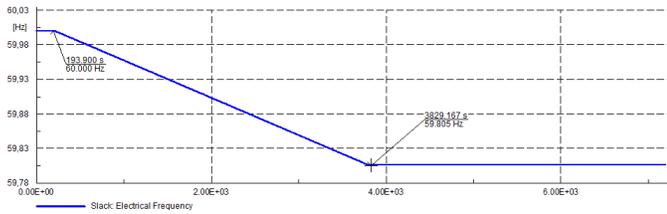


Fig. 6 Frecuencia cuando ocurre un cambio de -88,519 kW. Fuente: elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

La estabilidad del sistema se mantiene una vez se garanticen los rangos de operación en tensión y frecuencia exigidos al evaluar distintos escenarios de operación. Durante el análisis realizado estos límites de operación no fueron sobrepasados y se verificó, específicamente, los cambios al incluir generación fotovoltaica.

La premisa acerca de la estabilidad de los sistemas de potencia y su capacidad de mantenerse siempre y cuando se garantice el balance de generación y demanda, es solo uno de los factores que hay que tener en cuenta cuando se trabaja con energías renovables, dado sus comportamientos variables.

Este estudio pudo comprobar que cambios repentinos de radiación solar que ocurren en la mañana y en las horas de la tarde, son perturbaciones que se deben tener en cuenta a la hora de dimensionar la inclusión de energía solar en sistemas de potencia. En un sistema eléctrico sensible a las perturbaciones, como es el de Providencia, estos cambios de radiación solar pueden significar que el sistema se salga de estabilidad si no se dimensionan correctamente. En nuestro caso, se determinó que el cambio máximo de generación fotovoltaica, que el sistema puede soportar en una hora, es de 88,481 y -88,519 kW. Por lo que, si se presenta un evento atípico, como un eclipse solar, el sistema se saldría de estabilidad debido a que el cambio de generación sería mayor al mencionado anteriormente. Para evitar esto, se recomienda implementar un sistema de regulación secundaria en la isla, lo que también ayudaría a aumentar la inmersión fotovoltaica.

Finalmente, podemos destacar que el sistema de generación distribuida no solo beneficia al sistema, al eliminar la dependencia del combustible diésel, sino también ayuda a disminuir las pérdidas de potencia en las líneas y a mejorar la regulación de tensión en aquellos nodos alejados de las fuentes de generación diésel.

REFERENCIAS

[1] Ciriminna, S., Pagliaro, M., Meneguzzo, F., Pecoraino, M. "Solar energy for Sicily's remote islands: on the route from fossil to renewable energy," *Int. J. Sustain. Built Environ.* 2016, 5 (1), 132-140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.04.003>.

[2] Aguirre A., Díaz C., Pasqualino J. "Renewable energy potential analysis in non-interconnected islands. Case study: Isla Grande, Corales del Rosario Archipiélago, Colombia". *Ecological Engineering* (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.020>.

[3] N. G. Paterakis, M. Gibescu, A. G. Bakirtzis, and J. P. S. Catalao, "A Multi-Objective Optimization Approach to Risk-Constrained Energy and Reserve Procurement Using Demand Response," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 8950, no. c, 2017.

[4] O. Erdinc, N. G. Paterakis, and J. P. S. Catalao, "Overview of insular power systems under increasing penetration of renewable energy sources: Opportunities and challenges," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 333-346, 2015.

[5] Comisión de Regulación de Energía y Gas. Gobierno de Colombia, "Resolución CREG024-2005," *Diario Oficial* No. 45.904 de 10 de mayo de 2005, 2005. Disponible: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resolución-2005-CREG024-2005>.

[6] Comisión de Regulación de Energía y Gas. Gobierno de Colombia, "Resolución CREG070 - 1998," *Diario Oficial* No. 43.318 de junio 10 de 1998, 1998. Disponible: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resolución-1998-CREG070-98>.

[7] Sanchez M., *Energía Solar Fotovoltaica*, Ed. Limusa. Mexico DF. 2011.

[8] Informe mensual de Operación. Centro Nacional de Monitoreo. Ministerio de Minas y Energía. Gobierno de Colombia. Enero a diciembre, 2016.

[9] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. República de Colombia. Evaluación Integral de prestadores SOPESA. Noviembre 2016.

[10] Digsilent GmbH, *Digsilent PowerFactory 2017 User Manual*. June. 2017.

[11] A. Gomez-Expósito, et al., *Sistemas Eléctricos de Potencia*, Madrid. Prentice Hall. 2003.

[12] J. Grainger, W. Stevenson, *Análisis de Sistemas de Potencia*, Mexico, McGraw-Hill. 1996.