

ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN EN ESTADO ESTABLE DE UNA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN CON INYECCIÓN DE POTENCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático y la energía, se encuentran estrechamente relacionadas; ya que, buena parte de los gases del efecto invernadero que son liberados a la atmósfera provienen del sector energético.

La penetración de la energía solar fotovoltaica en los sistemas de distribución actual puede ocasionar diversos efectos, los cuales han sido abordados en estudios que describen y cuantifican la variación factor de potencia, perfiles de tensión, potencia activa, potencia reactiva, desbalance y distorsión armónica, entre otros.

El estudio del impacto de la integración de cuatro sistemas fotovoltaicos (SFV) en la calidad de energía de una red de distribución, a partir de mediciones de distorsión armónica total, se encontraron que la inclusión de fuentes dispersas en la red con baja potencia de cortocircuito podría comprometer la calidad de voltaje. Pillai y Yaqoob evaluaron el impacto técnico de la integración de un SFV de 1 MW en una red eléctrica de Bahrein. Hallaron que las pérdidas de energía se veían afectadas por la ubicación de los SFV y que había una reducción en la carga del alimentador a partir de la integración. Singh et al. Analizaron el impacto de la integración de SFV en una red de distribución IEEE de prueba de 13 nodos en términos del rendimiento de voltaje y las pérdidas en el sistema. Encontraron que bajos niveles de integración repercutían positivamente en la red al mejorar el perfil de voltaje y reducir las pérdidas globales de energía.

2. ANTECEDENTES

El efecto invernadero es un fenómeno natural que se ha desarrollado en el planeta para que exista la vida. El planeta está cubierto por una capa denominada atmósfera, misma que permite la entrada de rayos del sol que calientan la tierra, y esta emite calor en la cual la atmósfera se encarga de que este no se escape hacia el espacio y lo trae a la superficie terrestre como efecto invernadero, permitiendo que la tierra tenga una temperatura aceptable para el desarrollo de toda la vida en la Tierra. Los principales gases que componen el efecto invernadero se detallan en la tabla 1 la cual nos indica las principales fuentes de donde provienen dichos gases.

Tipos de gases	Fórmula química	Contribución al efecto invernadero	Origen
Dióxido de carbono	CO ₂	76,7	Energías fósiles, deforestación, calentamiento de los océanos.
Metano	CH ₄	14,3	Producción de alimentos, particularmente de ganado, vertederos, fugas en tuberías de gas natural.
Óxido de nitrógeno	N ₂ O	7,9	La transformación de fertilizantes químicos en el suelo, fuentes industriales, energías fósiles
CFC	Diversos	1,1	Refrigerante en refrigeradores y en acondicionadores de aire.
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	<0,1	Gas inerte e industria eléctrica.

Tabla 1. Gases del efecto invernadero. [1]

El aumento del efecto invernadero en el mundo produce un aumento de temperatura y este ha sido uno de los problemas que ponen en alerta al ser humano, es por ello que se han creado diversas maneras de disminuirlo, según la tabla 1 la mayor emisión es de dióxido de carbono y este proviene de energías fósiles, deforestación, entre otros. Una de las medidas que ha tomado el ser humano para ayudar en la disminución de dióxido de carbono es la generación de energía eléctrica con energías renovables como son la eólica, geotérmica, solar térmica, solar fotovoltaica, entre otras.

La energía solar ha sido aprovechada por los seres humanos desde siempre desde labores domésticas y también en la vida diaria. Los primeros registros que indican que la energía del sol se utilizó como fuente de calor y luz para las construcciones, están en la antigua Grecia por el año 400 A.C. Después en Roma se desarrollaron los primeros invernaderos con ventanas de cristal, para lograr que los alimentos crecieran correctamente utilizando la luz del sol. Para el siglo XIX, con el creciente desarrollo

industrial y de consumo, se aumentó el deterioro del medio ambiente debido a las emisiones de CO₂ y gases de efecto invernadero que destruyen la capa de ozono. Se realizaron investigaciones para desarrollar una tecnología que utilice la energía del sol como una fuente calórica y eléctrica a una escala comercial y masiva. Muchos países, a través de sus políticas energéticas, promueven el uso de energías renovables no convencionales, donde se destaca la energía solar fotovoltaica por su agresiva reducción de precios en la última década, además de la gran escalabilidad. Ecuador presenta un potencial importante para el uso de esta tecnología debido a su ubicación geográfica y altos niveles de radiación solar. A pesar de la alta disponibilidad del recurso solar en el país, aspectos como los reducidos costos de la energía eléctrica (con subsidios públicos), desconocimiento del tema y trámites administrativos complejos han sido solo algunos de los aspectos que han impedido, o al menos frenado, el desarrollo de proyectos fotovoltaicos.

3. DESARROLLO

La termografía infrarroja es un análisis instrumental con el cual se define y precisa las condiciones específicas de un equipo y sus partes, a través de los rangos de temperatura de operación, esta es una medición no destructiva que se programa y se ejecuta cada cierto periodo evaluado, este análisis se basa en la medida de longitudes de onda infrarrojas para determinar temperaturas desde una distancia segura mediante el uso de una cámara termográfica.

3.1. MODELADO DE LA RED ELÉCTRICA. La red eléctrica de baja tensión (BT) de referencia corresponde a una red residencial del municipio Bucaramanga, es radial y tiene un transformador ΔY trifásico tetra filar que alimenta tres ramales por medio de conductores de aluminio aislado TWH 1/0. EL transformador tiene una capacidad de 112.5 KVA y alimenta 98 clientes.

3.2. ELEMENTOS DE LA RED. Los elementos que componen la red eléctrica son: un transformador trifásico de 112.5 KVA, 13.2 KV /220/127 V, Dy5; 98 usuarios con factor de potencia 0.9; 42 luminarias de sodio de 70 W.220 V, FP 0.98 inductivo; conductores entre postes aluminio aislado ASC THW 1/0; conductores para luminarias en cobre aislado THW12; acometidas de usuarios en cobre aislado THW 8; y la red externa de media tensión (MT) de 13.2 KV.

Las luminarias del alumbrado público ubicadas en los postes son bifásicas y son encendidas entre 6 p.m. y 6 a.m.; lo que representa un consumo mensual de 25.2 kwh.

3.3. MODELADO DE LAS CARGAS. Los datos de potencia configurados en el software para cada una de las cargas corresponden al promedio de cinco meses de consumo. Los usuarios se modelaron como cargas generales de potencia constante; sin embargo, se varió la cantidad de potencia consumida en cada hora del día de acuerdo con las curvas de demanda diaria para cada tipo de usuario.

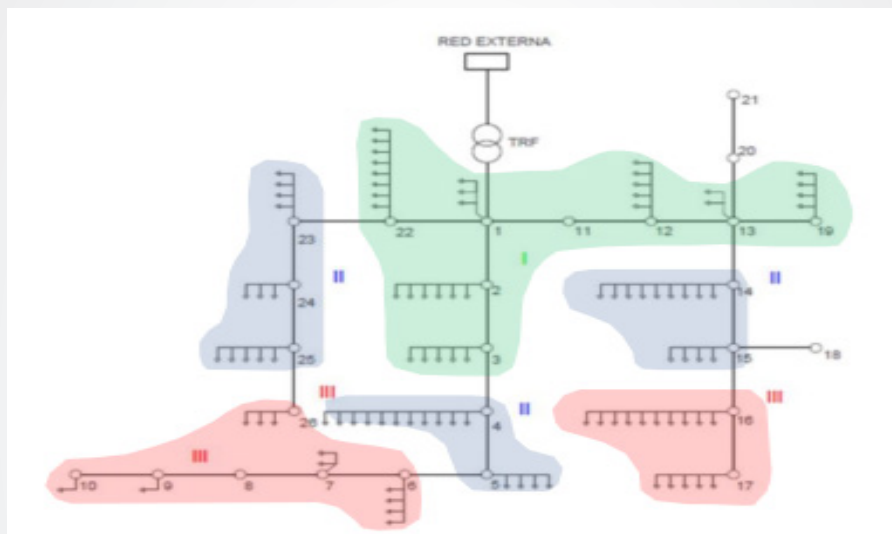


Fig. 1. Diagrama unifilar de la red

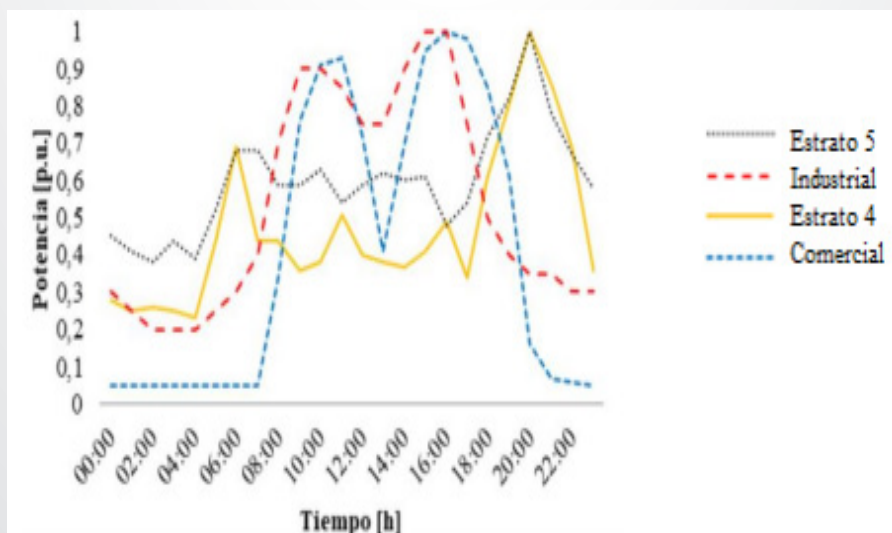


Fig. 2. Curvas de demanda según el tipo de usuario

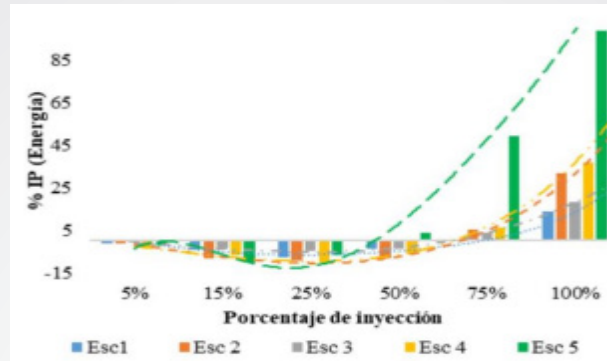


Fig. 3. Impacto en las pérdidas de energía

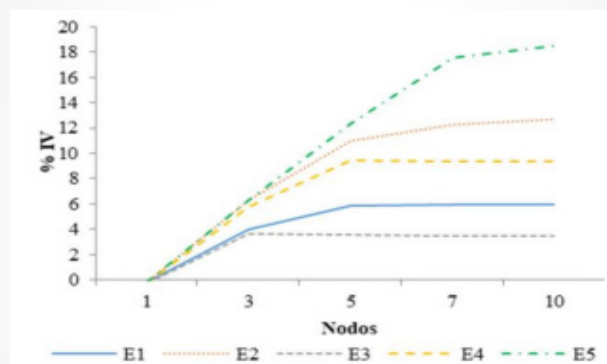


Fig. 4. Impacto en la tensión de la fase A

En la fase B, se observa que el nodo más alejado del TRF toma valores que se encuentran entre el 0% y 11% según el escenario; es decir, que la tensión de esta fase y para este nodo aumenta cuando la generación se concentra en este punto.

Para todos los escenarios, el valor del indicador aumenta con el incremento de la distancia desde el TRF.

En la fase C, se observa que la tensión decrece en todos los escenarios de los nodos, alcanzando un valor de indicador de -7% en el Escenario 2.

En general, al ser la red desequilibrada, las tres fases tienen un comportamiento distinto. El impacto varía en cada fase de tensión para cada nodo; el incremento o caída de tensión en estos puntos está relacionado a los SFV que se conectan en cada fase. La tendencia muestra que el impacto se va haciendo considerable en los nodos en los que la generación está conectada; por ejemplo, para la fase A en el Escenario 3, se observa que el crecimiento es lineal en los nodos donde se encuentran los autogeneradores, para los nodos posteriores, el impacto se mantiene constante.

Teniendo en cuenta los escenarios 1 y 2, con autogeneradores distribuidos a toda la red, se puede observar que el impacto en la tensión aumenta cuando se tiene un menor número de autogeneradores con mayor capacidad instalada de SFV.

4. CONCLUSIONES

- El impacto producido en el perfil de tensión es diferente en cada fase del sistema, debido al desbalance de la red eléctrica de BT. El impacto no es significativo cuando la generación FV es dispersa; sin embargo, aumenta a medida que el número de autogeneradores se reduce.
- Las pérdidas de potencia activa en los conductores presentan valores significativos en los diferentes escenarios para los porcentajes 75% y 100%. El Escenario 5 contiene las mayores pérdidas de potencia, debido a que los excedentes entregados a partir del 50% de generación FV deben recorrer mayor longitud de conductor, alcanzando un %IP de 1200% para un porcentaje de inyección FV del 100%. Lo mejor para este parámetro es que los autogeneradores se encuentren distribuidos y el porcentaje de capacidad instalada de FNCER no supere el 50% la capacidad del transformador.
- Se observa una relación entre las pérdidas, desbalance y cargabilidad analizados por escenario. La tendencia de cada parámetro es similar en los cinco escenarios, alcanzando el mínimo para el 25% de la capacidad instalada de SFV. Para porcentajes mayores al 25%, se mantiene un crecimiento proporcional a la inyección de potencia, aunque el crecimiento depende de la escala de cada indicador. Para el índice de valor de tensión por fase, se observa un comportamiento similar en cada escenario para el nodo del transformador. Las fases A y B tienden a tener un decrecimiento en el índice de valor eficaz, en cambio, la fase C tiende a crecer en los cinco escenarios. Las fases A y B alcanzan valores más altos en su indicador de tensión. También se observa una inflexión en ese indicador que acelera el impacto en el 25% de la penetración FV.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❑ <https://web.s.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=12&sid=a49bd604-2f76-453c-80a5-8f00a0bbe832%40redis>.
- ❑ IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, “Inventario Nacional y Departamental de Gases de Efecto Invernadero - Colombia”, en Tercera Comunicación Nacional del Cambio Climático, Bogotá D.C., Colombia, 2016.
- ❑ G. Pillai, H. Y. Naser, “Assessing the technical impact of integrating largescale photovoltaics to the electrical power network of Bahrain”, Sustain. Energy Technol. Assessments, vol. 20, pp. 78-87, 2017, doi: 10.1016/j.seta.2017.02.019.
- ❑ N. I. Zolkifri, C. K. Gan, A. Khamis, K. A. Baharin, M. Y. Lada, “Impacts of residential solar photovoltaic systems on voltage unbalance and network losses”, en IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON, 2017, pp. 2150–2155, doi: 10.1109/TENCON.2017.8228216
- ❑ R. Singh, P. Tripathi, K. Yatendra, “Impact of Solar Photovoltaic Penetration In Distribution Network”, en 3rd Int. Conf. Recent Dev. Control. Autom. Power Eng. RDCAPE 2019, pp. 551-556, doi: 10.1109/RDCAPE47089.2019.8979014.
- ❑ <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33564/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>

Autor : Miguel Huamaní, Jefe de pruebas de Laboratorio

Edición : Marycielo Bartolo, Responsable de Marketing e Imagen Institucional