

# OBTENCIÓN DE PERFILES DE CARGA RESIDENCIALES PARA ESCENARIOS BASADOS EN ALTA PENETRACIÓN DE CARGAS DIVERSAS Y GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Grande Vidal Emmanuel (1), Rodríguez Villalón Osvaldo (2)

<sup>1</sup>[Licenciatura en ingeniería eléctrica, Universidad de Guanajuato] | [mgrandev@hotmail.com]

## Resumen

El amplio y constante crecimiento del consumo de la energía eléctrica en el mundo varía de gran forma con el tiempo, lugar, nivel socio-económico, temperatura y tiempo, llevando a las empresas suministradoras a producir más energía y por ende a producir más gases de efecto invernadero que afectan al planeta. En el siguiente estudio se presenta el modelo y análisis de un perfil de carga típico en México de varios usuarios utilizando métodos "Bottom-up" para integrar los resultados con generación distribuida de una granja de paneles fotovoltaicos al "test feeder" de 13 nodos del IEEE y analizar los resultados por medio del método "Forward-Backward-Sweep" para simular y determinar su impacto en la red de distribución en condiciones de estado estable.

## Abstract

The broad and constant growth of the consumption of electrical energy in the world varies greatly with time, place, socio-economic level, temperature and time, leading to companies to produce more energy and therefore to produce greenhouse effect gases that affect the planet. The following study presents the model and analysis of a typical load profile in Mexico of several users using "Bottom-up" methods to integrate the results with distributed generation of a farm of photovoltaic panels to the "test feeder" of 13 nodes of the IEEE and analyze the results by means of the "Forward-Backward-Sweep" method to simulate and determine its impact on the distribution network under steady-state conditions.

## Palabras Clave

Método FBS; Métodos Bottom-up; condiciones de estado estable; décil

## INTRODUCCIÓN

### 1) Perfiles de carga

Una aproximación para obtener un perfil de carga es utilizando el método “Bottom-up”, la cual engloba todos los modelos el cual usa datos de un nivel jerárquico menor que del sector y lo toma como un todo. El modelo puede contar con un consumo de energía de un individuo o un pequeño grupo casas y luego extrapolarlo para representar una región [1]. En el modelado de cargas, la demanda es típicamente cuantificada en términos de un promedio para un determinado periodo de tiempo. La demanda puede ser medida por intervalos de 15 minutos, 30 minutos, horas o intervalos promedios de meses o años, llevándolos a una aproximación de 24 horas [2].

En este caso, basado en investigaciones anteriores [3], donde se realizó el análisis de los diversos electrodomésticos que se tienen en una casa en el estado de Guanajuato en base a datos del INEGI [4], estos electrodomésticos, junto con los datos socio-económicos, temperatura, ubicación y tamaño de la población, se integró al programa “Load profile generator” [5] donde por medio de métodos estocásticos, los cuales dentro del programa graban los datos durante un periodo de tiempo de 24 horas, caracterizando el uso de todos los electrodomésticos y cargas que se hayan introducido, decidiendo así, su uso y por ende caracterizar el perfil de carga, tal como se muestra en la figura 1 [1], donde se tiene el perfil de carga de un intervalo promedio de un mes para un grupo de 10 casas.

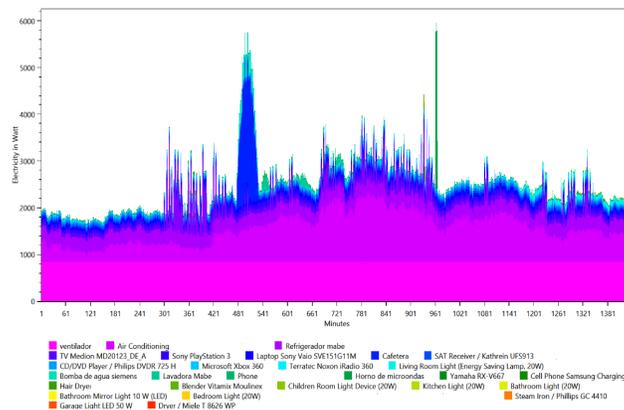


Figura 1. Perfil de carga para un grupo de 10 casas.

### 2) Generación distribuida y el modelo de panel fotovoltaico.

La generación distribuida, consiste en la producción de energía eléctrica por medio de fuentes alternas como la energía eólica, fotovoltaica o por gradiente salino, la cual se conecta a niveles de baja tensión cerca de los puntos de consumo para reducir pérdidas en la red, así como para suministrar potencia a usuarios residenciales para no depender en gran parte de las compañías suministradoras de energía eléctrica.

El modelo del panel fotovoltaico para la integración al método FBS, consiste en el modelo de un panel fotovoltaico de un diodo tal como se muestra en la figura 2.

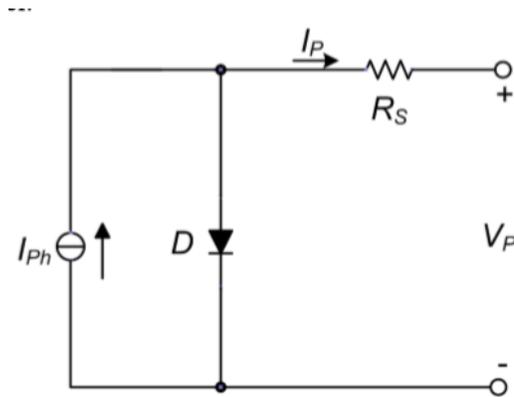


Fig. 2. Modelo de un panel fotovoltaico.

Donde  $I_p$  Es la corriente del panel,  $R_s$  la resistencia del panel y  $V_p$  el voltaje del panel en función del voltaje de la red. La corriente del módulo fotovoltaico puede ser expresada en función del voltaje por la ecuación 1 [7].

$$I_p = I_{sc} \left[ 1 - C_1 \left[ e^{\left( \frac{V_p}{C_2 V_{oc}} \right)} - 1 \right] \right] \quad (1)$$

Donde  $C_1$  y  $C_2$  se expresan como constantes en las siguientes ecuaciones.

$$C_1 = \left( 1 - \frac{I_{mpp}}{I_{sc}} \right) \cdot e^{\left( \frac{V_{mpp}}{C_2 V_{oc}} \right)} \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{\left( \frac{V_{mpp}}{V_{oc}} - 1 \right)}{\ln \left( 1 - \frac{I_{mpp}}{I_{sc}} \right)} \quad (3)$$

Donde  $V_{mpp}$ ,  $I_{mpp}$ , son datos obtenidos en las fichas técnicas de los paneles solares, los cuales indican el voltaje en condiciones de prueba estándar y la corriente en condiciones de prueba estándar respectivamente, La corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ) y el voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ), dependen de la temperatura ( $T$ ), irradiación ( $G$ ), temperatura en condiciones estándar ( $T_s$ ), irradiación en condiciones estándar ( $G_s$ ) y los coeficientes de corriente ( $\alpha$ ) y voltaje ( $\beta$ ) que se especifican en los datos de la fichas técnicas, las ecuaciones 4 y 5 que se presentan a continuación describen la corriente de corto circuito y el voltaje de circuito abierto respectivamente.

$$I_{sc} = I_{scs} \cdot \frac{G}{G_s} [1 + \alpha \cdot (T - T_s)] \quad (4)$$

$$V_{oc} = V_{ocs} + \beta \cdot (T - T_s) \quad (5)$$

La caracterización de perfiles de carga es un tanto complicada ya que cada usuario representa solo un punto en el universo del consumo de energía eléctrica, es por eso que una aproximación por métodos "bottom-up" muestra un camino adecuado para la caracterización de estos, gracias a esto, se puede realizar una simulación junto con la generación distribuida para completar un escenario donde se muestre el impacto que

tienen dentro de las redes de distribución con alta penetración de cargas diversas, y así, tener una referencia para el estudio de las redes inteligentes, esperando así, que se reduzca la potencia entregada por las compañías generadoras de energía eléctrica (nodo fuente), así como la reducción de las pérdidas en las líneas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

A fin de determinar el impacto de los usuarios tipo y los paneles fotovoltaicos dentro de las redes de distribución es necesario una herramienta de simulación a fin de realizar dicha simulación tal como lo es el programa Matlab® donde se realiza el programa de barrido FBS (Forward-Backward sweep) por sus siglas en inglés, el cual permite calcular todos los parámetros eléctricos tales como flujos de potencia, así como, parámetros de voltaje y corriente en estado estable. El programa calcula, corrientes de todos los elementos en paralelo en base a todos los modelos mencionados en [6], al elemento más alejado del sistema y a su parámetro inicial de voltaje para posteriormente actualizar parámetros de voltaje en cada elemento hasta llegar a un nivel de convergencia aceptable.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

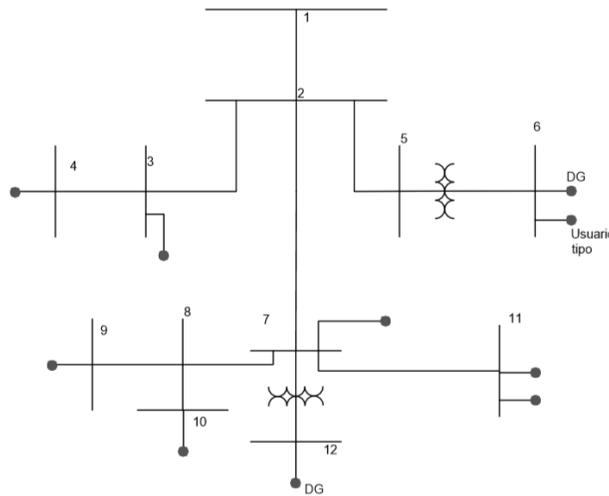
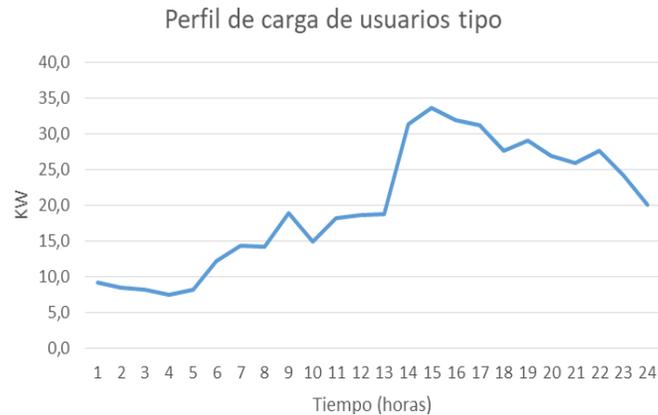


Figura 3. Esquema del alimentador de prueba de 13 nodos del IEEE

En base a las simulaciones obtenidas, integrando un grupo de 40 usuarios junto a la granja fotovoltaica con 300 y 100 paneles fotovoltaicos, los cuales se pueden consultar los datos en [8], en el nodo 6 y en el 12 respectivamente, dejando todos los datos del “test-feeder” del IEEE [9]. Teniendo así un perfil como se observa en la figura 4, el cual se extrapola de los datos obtenidos en [3] para así, tener una aproximación y a una carga más grande y representar una colonia, pudiera ser extraño tener tantos consumidores conectados a un solo transformador, sin embargo es importante señalar que el transformador es un transformador de 500 KVA por lo que no tiene problema alguno.



**Figura 4. Perfil de carga de 40 usuarios**

Simulando los datos de los usuarios y la granja fotovoltaica, durante un tiempo de 24 horas, se observa un decremento por parte de la potencia suministrada por parte del nodo fuente durante las horas de mayor intensidad, así como también durante las horas donde hay mayor actividad, sin embargo hay puntos donde la demanda es grande y no alcanza a abastecer a los usuarios tipo, así como también la irradiación no es la suficiente para abastecer los usuarios, esto se puede apreciar en la figura 5.



**Figura 5. Potencia de la red suministrada al nodo 6**

Este perfil se puede suavizar más, mediante el modelado de baterías para el almacenamiento de energía, sin embargo para fines de este estudio queda fuera del alcance, sin embargo se puede apreciar que la potencia entregada por la red es completamente innecesaria en las altas demandas ya que la irradiación es alta en ese intervalo de tiempo.

Es trivial que si existe un elemento de generación de potencia, este se verá reflejado en el nodo fuente, es decir, la potencia que suministra la red será menor, tal como se muestra en la figura 6.



**Figura 6. Potencia suministrada por el nodo fuente**

Con esto se comprueba que es viable, en estado estable tener granjas de paneles fotovoltaicos, en puntos estratégicos de la red de distribución, ya que estos ayudan a entregar potencia a la red o bien a disminuir el suministro de potencia.

Además que con este tipo de simulaciones se puede tener un enfoque del nivel de pérdidas en la línea y decidir que tantos paneles se pueden instalar en determinado punto. Con la generación distribuida se tienen pérdidas en las líneas desde el nodo fuente de 46,737 watts mientras que sin generación se tienen de 48,373 watts, se podría decir que no es mucha la reducción de pérdidas, sin embargo, la diferencia significa mucho cuando el sistema se vuelve más grande.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a nivel simulación dan una aproximación del impacto que tienen los paneles fotovoltaicos en la red de distribución, estos son buenos ya que se puede apreciar la reducción de potencia entregada por la red principal gracias a la contribución de potencia suministrada por los paneles fotovoltaicos, los cuales contribuyeron en gran parte a suministrar la potencia necesaria para el grupo de usuarios tipo en el lapso de tiempo de 24 horas, así, disminuyendo los gases de efecto invernadero por la reducción de potencia generada en el nodo fuente.

Las pérdidas en las líneas, aunque no muy satisfactorias ya que no se redujeron en gran medida, se puede esperar que en un sistema mucho más grande y con mayor nivel de penetración de cargas, estas pueden ser significativas para el nodo fuente, así también con un nivel de generación distribuida, estas pérdidas pueden disminuirse aún más si es que estas están más cerca, de esta forma ayudando a cubrir la demanda de potencia exigida por las cargas y contribuyendo en gran medida a la reducción de generación del nodo fuente. Cabe mencionar que la red de prueba del IEEE es bastante robusta y aunque el nivel de carga demandada en los nodos es bastante elevada y con un nivel de desbalance considerable, la respuesta ante la generación distribuida y la integración de los usuarios tipo fue bastante buena ya que los resultados obtenidos fueron los esperados al principio de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Luo Chuan, Abhisek Ukil. 2015. Modeling and Validation of electrical load profiling in residential buildings in singapore. IEEE transactions on power systems. 30
- [2] Preez, Vermeulen. Development of a Bottom-Up Methodology for Modelling Electrical Residential Load from Event Data. IEEE transactions on power systems. Pp. 1-3.
- [3] Grande, Villalón. 2017. Obtención de perfiles de carga de usuarios individuales de baja tensión utilizando métodos Bottom-Up. Verano de la investigación científica. Volumen 3. Pp. 1-4.
- [4] Encuesta intercensal 2015. 7-10. Recuperado de [http://www3.inegi.org.mx/sistemas/componentes/previsualizador/vista.aspx?arch=/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825078966.pdf&tipo=1](http://www3.inegi.org.mx/sistemas/componentes/previsualizador/vista.aspx?arch=/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825078966.pdf&tipo=1)
- [5] Página de descarga del programa. Recuperado de <http://www.loadprofilegenerator.de/>
- [6] Kersting. Distribution System Modeling and Analysis. New Mexico. CRS Press.
- [7] Bellini, Bifaretti, Iacovone, Cornaro. 2014. Simplified Model of a Photovoltaic Module. IEEE transaction on power systems. Pp. 1-6.
- [8] Modulo policristalino Phono. 1-1. Recuperado de. [http://www.conermex.com.mx/hojas-tecnicas/01\\_Modulos/ps-250p.pdf](http://www.conermex.com.mx/hojas-tecnicas/01_Modulos/ps-250p.pdf)
- [9] Datos de la red de distribución de prueba del IEEE. Recuperado de. <http://sites.ieee.org/pes-testfeeders/files/2017/08/testfeeders.pdf>