

Simulación Cuasidinámica de un Sistema Fotovoltaico Residencial en PowerFactory

Henry Vivas
Departamento de Energía Eléctrica
Escuela Politécnica Nacional
Quito- Ecuador
henry.vivas@epn.edu.ec

Juan David Ramírez
Departamento de Energía Eléctrica
Escuela Politécnica Nacional
Quito- Ecuador
juan.ramirez@epn.edu.ec

Darwin Pozo
Departamento de Energía Eléctrica
Escuela Politécnica Nacional
Quito- Ecuador
darwin.pozo@epn.edu.ec

Resumen—Este estudio presenta la simulación de un sistema fotovoltaico (FV) a escala residencial integrado con la red de distribución utilizando DigSILENT PowerFactory. Las entradas del sistema FV se derivan de datos de irradiancia solar global horaria GHI recopilados de varias estaciones meteorológicas de la Escuela Politécnica Nacional. Aprovechando las capacidades de la simulación cuasidinámica, se llevaron a cabo simulaciones para capturar el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo. Se incorporó el perfil de carga residencial y se realizaron simulaciones durante 365 días, y se extendieron a un horizonte de 25 años. El objetivo principal del estudio fue determinar la configuración adecuada de paneles solares para minimizar la dependencia de la red eléctrica y, al mismo tiempo, satisfacer la demanda energética residencial. A través de simulaciones se identificó el número adecuado de paneles necesarios para lograr un consumo energético mínimo anual por parte del usuario final. Esta investigación contribuye al campo al ofrecer una metodología para simular sistemas fotovoltaicos a pequeña escala. Las ideas obtenidas de las simulaciones ofrecen orientación práctica para mejorar la autosuficiencia energética en entornos residenciales y sirven como base para la toma de decisiones informadas al adoptar soluciones energéticas sostenibles.

Keywords—sistema fotovoltaico, simulación cuasidinámica, perfil de carga, autosuficiencia energética.

I. INTRODUCCIÓN

En Ecuador la inclusión de la generación eléctrica distribuida, por medio de sistemas fotovoltaicos FV está creciendo día a día. La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables ARCERNNR ha emitido en la actualidad la Regulación 001/2021 en la que se permite a los usuarios finales la instalación de sistemas FV conectados a la red eléctrica de la empresa distribuidora con una concesión de 25 años. Durante este tiempo con un medidor de energía bidireccional se cuantifica la energía neta consumida por el usuario mediante la diferencia entre la energía consumida de la red eléctrica y la energía suministrada por el sistema FV [1].

El objetivo de este estudio es determinar cuántos paneles FV se deben conectar en una residencia bajo el esquema de generación conectada a la red en Quito, para que en los 25 años de concesión del sistema la carga no consuma energía neta de la red de la empresa distribuidora.

Los métodos de dimensionamiento de los sistemas FV se clasifican en dos categorías: los de simulación y los analíticos. Los métodos analíticos suelen ser utilizados en las etapas preliminares de los diseños por su menor complejidad, y a su vez, los métodos analíticos pueden dividirse en tres categorías: de irradiación y cargas, con

áreas disponibles, y por probabilidad de pérdida de carga [2].

Por otra parte, los métodos de dimensionamiento por simulación requieren una mayor complejidad en su ejecución, y consideran más a detalle los parámetros de los paneles fotovoltaicos, por lo que existen diferentes modelos aplicables e incluso softwares de diversos fabricantes dedicados a este fin [3]. Si bien estos métodos requieren de más complejidad, brindan al usuario muchas ventajas como la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial para la optimización de la cantidad de paneles de un sistema FV [4].

En este artículo se utiliza un método de simulación en el que se incorpora la Irradiancia Solar Global Horaria (GHI) que se obtiene de estaciones meteorológicas, y un modelo de sistema FV basado en los parámetros de los paneles fotovoltaicos y modelos de irradiación disponibles en PowerFactory [5].

La utilidad de la simulación cuasidinámica en PowerFactory radica en la facilidad de la incorporación de la curva de demanda de la carga en el tiempo, y la posibilidad de realizar simulaciones en periodos que abarcan desde días hasta los años, por lo que es una simulación ideal para analizar el comportamiento energético del sistema FV.

Este artículo presenta la metodología de simulación en la Sección II, los resultados obtenidos se presentan en la sección III, la discusión de los resultados en la Sección IV y finalmente las conclusiones obtenidas en la Sección V.

II. METODOLOGÍA

El modelo implementado en PowerFactory se aprecia en la Fig 1. Para la simulación se utiliza una carga de bajo voltaje de PowerFactory a la que se le incluye una curva de carga típica residencial en Quito que cumple lo descrito en [6] que se aprecia en la Fig. 2.

La red eléctrica se modela como un equivalente de red, y el sistema FV se modela por medio de la GHI con datos medidos y obtenidos del año 2022 en Quito de las estaciones meteorológicas del grupo Scinergy de la Escuela Politécnica Nacional [7]. El modelo del sistema FV estima la Irradiancia Difusa por medio del modelo de Liu-Jordan, que de acuerdo con la investigación de [5] es el modelo que menor errores presenta. Los modelos de generación del sistema FV se detallan en la documentación de PowerFactory [8].

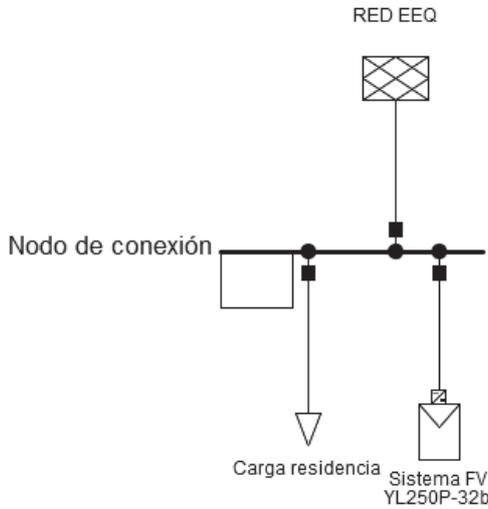


Figura 1. Modelo de Simulación implementado en PowerFactory

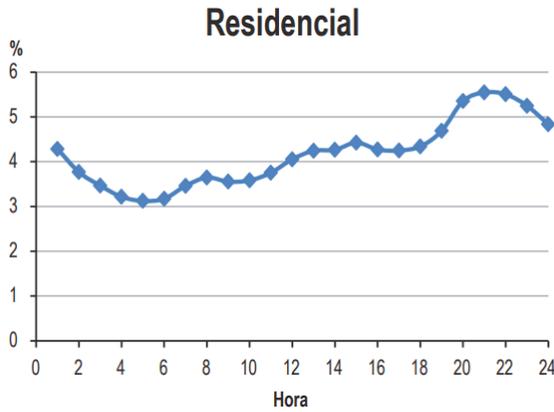


Figura 2. Perfil de carga residencial en la Empresa Eléctrica Quito [6]

Se utiliza la herramienta de simulación cuasi-dinámica de PowerFactory para simular en intervalos de tiempo seleccionables los flujos de carga que responderán a la curva de carga y a la GHI ingresada en cada momento del día, de acuerdo con los siguientes pasos.

1. Se ejecuta una simulación de un mes sin el sistema FV con el fin de ajustar el parámetro de potencia activa de la carga que genere el consumo deseado de la residencia en kWh. Para este estudio se seleccionaron los consumos de: 100, 200, 300, 400 y 500 kWh.
2. Una vez ajustada la carga se activa el sistema FV con una cantidad de paneles ajustable, y se simula un mes, un año, y 25 años. Se analiza que en los tres casos la generación del sistema FV exceda al consumo de energía de la carga desde la red, es decir que la energía consumida de la red sea negativa. Se realiza por medio de prueba y error y observando cuando al retirar un panel del sistema FV la energía consumida desde la red se vuelve positiva, en ese momento se conoce que se ha hallado el número mínimo de paneles que se

puede usar para no consumir energía desde la red en 25 años.

Los parámetros de los paneles fotovoltaicos utilizados en este estudio se detallan en la Tabla 1.

TABLA 1: PARÁMETROS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Parámetro	Panel 1	Panel 2	Panel 3
Potencia Pico (MPP) (W)	250	280	500
Voltaje nominal (MPP) (V)	32.3	35.5	53.94
Corriente nominal ((MPP) (A)	7.7	7.9	9.27
Voltaje de circuito Abierto (V)	40.9	45	65.92
Corriente de corto circuito (A)	8.33	8.5	9.77
Coefficiente de Temperatura P (%/°C)	-0.42	-0.42	-0.42
Temperatura nominal de operación de la celda NOCT (°C)	46	46	45
Material	Silicio Policristalino	Silicio Policristalino	Silicio Monocristalino

III. RESULTADOS

En la Fig. 3 se aprecia el resultado de la simulación de un día, en este ejemplo, del 22 de agosto de 2022. En la simulación se pueden tomar intervalos desde un minuto, considerando que los datos medidos de GHI también están disponibles cada minuto, se realiza la simulación con ese intervalo de tiempo. Sin embargo, para las simulaciones anuales se cambia a 10 minutos, y para la simulación de 25 años se cambia a un intervalo de 1 hora para reducir la carga de simulación en el CPU. En la Fig. 3 se puede apreciar en rojo la generación del sistema FV que para este caso consiste en 8 paneles de 250 Wp, y despacha un máximo de 1.5 kW a las 11:01 am. En azul se aprecia el consumo de carga por parte de la residencia, y en verde se aprecia la potencia consumida de la red que es negativa cuando ingresa el sistema FV.

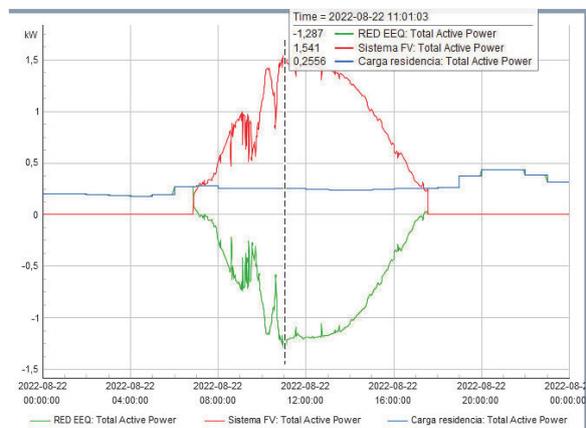


Figura 3. Ejemplo de simulación de generación FV de un día.

En la Fig. 4 se presenta la simulación del mes de agosto de 2022, se puede apreciar de manera similar a la Fig. 3, en rojo la producción FV, en verde el consumo de la red y en azul la carga. Se puede observar cómo la generación del sistema FV cambia cada día. Así mismo, en la Fig. 5 se puede apreciar la simulación de un año.

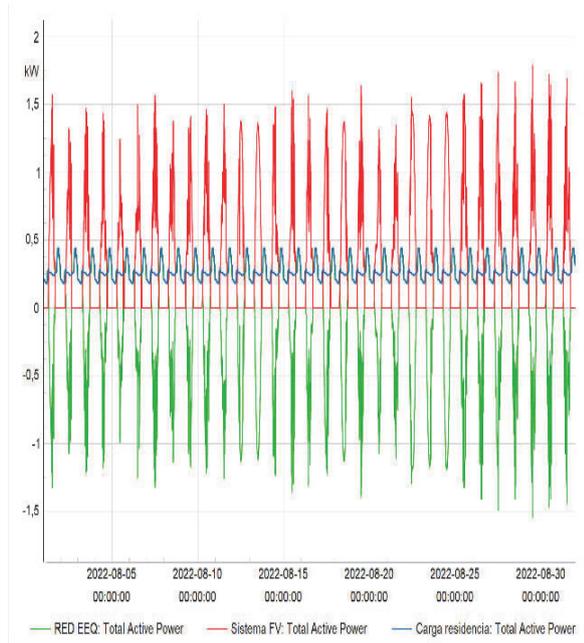


Figura 4. Ejemplo de simulación de generación FV de un mes.

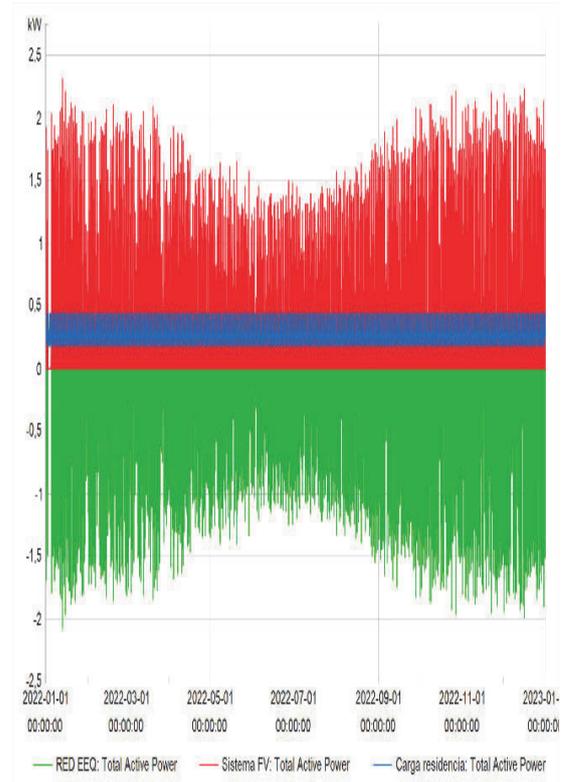


Figura 5. Ejemplo de simulación de generación FV de un año.

En las Tablas 2, 3 y 4 se presenta la cuantificación de energía para los diferentes casos de consumo y tres opciones de paneles fotovoltaicos dados en la Tabla 1.

TABLA 2: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA UN PANEL FOTOVOLTAÍCO DE 280 Wp

Residencia con Consumo Mensual kWh	Cantidad de paneles	Energía producida sistema FV en 1 mes kWh	Energía consumida de la red en 1 mes kWh	Energía producida sistema FV en 1 año kWh	Energía consumida de la red en 1 año kWh	Energía producida sistema FV en 25 años kWh	Energía consumida de la red en 25 años kWh	Potencia instalada FV Wp
100	3	142.7	-42.5	1771.5	-591.7	33394.6	-3877.2	840
200	6	249.7	-49.3	3100.1	-740.6	66789.3	-7756.9	1680
300	9	356.7	-56.2	4428.7	-889.5	100183.9	-11636.5	2520
400	11	463.8	-63	5757.4	-1038.5	122447.1	-4384.6	3080
500	14	606.5	-105.5	7528.9	-1630.3	155841.7	-8264.3	3920

TABLA 3: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA UN PANEL FOTOVOLTAÍCO DE 250 Wp

Residencia con Consumo Mensual kWh	Cantidad de paneles	Energía producida sistema FV en 1 mes kWh	Energía consumida de la red en 1 mes kWh	Energía producida sistema FV en 1 año kWh	Energía consumida de la red en 1 año kWh	Energía producida sistema FV en 25 años kWh	Energía consumida de la red en 25 años kWh	Potencia instalada FV Wp
100	4	121.2	-21.1	1507.3	-327.5	37939.6	-8422.1	1000
200	7	242.5	-42.1	3014.6	-655.14	66394.3	-7361.8	1750
300	10	363.8	-63.2	4521.9	-982.7	94848.9	-6301.5	2500
400	13	485.1	-84.3	6029.3	-1310.4	123303.6	-5241.2	3250
500	16	606.4	-105.4	7536.6	-1638	151758.3	-4180.9	4000

TABLA 4: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA UN PANEL FOTOVOLTAÍCO DE 500 Wp

Residencia con Consumo Mensual kWh	Cantidad de paneles	Energía producida sistema FV en 1 mes kWh	Energía consumida de la red en 1 mes kWh	Energía producida sistema FV en 1 año kWh	Energía consumida de la red en 1 año kWh	Energía producida sistema FV en 25 años kWh	Energía consumida de la red en 25 años kWh	Potencia instalada FV Wp
100	2	123.06	-22.8	1531.7	-3519	38554.4	-9037	1000
200	4	246.1	-45.7	3063.4	-703.9	77108.8	-18076.4	2000
300	5	369.2	-68.6	4595.2	-1055.9	96386.1	-7838.6	2500
400	7	492.2	-91.4	6126.9	-1408.02	134940.5	-16878.1	3500
500	8	615.3	-114.3	7658.6	-1760.1	154217.7	-6640.3	4000

IV. DISCUSIÓN

Los resultados de las Tablas 2, 3 y 4 presentan la cantidad de paneles necesarios para las residencias en Quito con consumos de hasta 500 kWh por mes. Con los resultados de dichas tablas rápidamente un consumidor residencial puede saber cuánta potencia pico de un sistema FV requiere en su hogar según su consumo para los paneles fotovoltaicos típicos en el mercado, y con ello estimar los costos de inversión.

En análisis económico de estos proyectos no está incluido en el alcance de este artículo y es un trabajo futuro para estimar la rentabilidad de la instalación del sistema FV añadiendo el concepto de paridad de red.

V. CONCLUSIONES

En este artículo se presentó la simulación de una residencia de Quito con un sistema FV conectado a la red eléctrica durante 25 años con mediciones de irradiancia global GHI reales, obteniendo el número de paneles fotovoltaicos necesarios para que la residencia no consuma energía neta de la red en el período global de estudio.

Se pueden utilizar estos resultados para saber rápidamente cuánta potencia fotovoltaica requiere un hogar tradicional del Quito para luego proceder a las decisiones financieras de la inversión de estos sistemas.

REFERENCIAS

- [1] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables ARCERNNR, "REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-001/2021 Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica", Ecuador, 2021. Consultado: el 28 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/resolucion_nro_arcernnr-013-2021ed.pdf
- [2] E. Endo, K. K.-P. of 1994 I. 1st World, y undefined 1994, "Sizing procedure for photovoltaic systems", *ieeexplore.ieee.org* E. Endo, K. Kurokawa *Proceedings of 1994 IEEE 1st World Conference on Photovoltaic, 1994* • *ieeexplore.ieee.org*, 1994, Consultado: el 24 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/520178/>
- [3] T. T. Khatib, I. Anwar Ibrahim, A. Mohamed, T. Khatib, y I. A. Ibrahim, "A review on sizing methodologies of photovoltaic array and storage battery in a standalone photovoltaic system", *Elsevier*, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.05.011.
- [4] T. Khatib, A. Mohamed, y K. Sopian, "A review of photovoltaic systems size optimization techniques", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp. 454–465, jun. 2013, doi: 10.1016/J.RSER.2013.02.023.
- [5] F. Y. González, ... M. V. L.-I., y undefined 2022, "Modelos de radiación solar a emplear en PowerFactory para la simulación de Sistemas Fotovoltaicos", *scielo.sld.cu*, Consultado: el 28 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012022000200019&script=sci_arttext&tlng=en
- [6] CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (CONELEC), "PLAN DE ELECTRIFICACION 2013-2022", Vol 2. Estudio y Gestión de la Demanda. Consultado: el 28 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ariae.org/servicio-documental/plan-de-electrificacion-2013-2022>
- [7] Escuela Politécnica Nacional, "Scinergy Meteorología". Consultado: el 31 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://meteo-scinergy.epn.edu.ec/>
- [8] DlgSILENT, "Technical Reference PV System: ElmPvsys, TypPvpanel", en *PowerFactory 2023*, DlgSILENT, Ed., DlgSILENT, 2023, pp. 1–18.