

Power Factor Assessment in Users with Power Generation Equipment for Self-Consumption

Evaluación del Factor de Potencia en Usuarios con Equipos de Generación para Autoabastecimiento

W. A. Vásquez¹  0000-0002-9591-3755

¹Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, Quito, Ecuador
E-mail: wilson.vasquez@controlrecursosyenergia.gob.ec

Abstract

One of the most recent and important changes in power distribution systems is self-consumption, activity in which one or several users install equipment (typically solar panels) to generate their own electricity and, in some cases, inject surplus energy into the grid. These users require a bidirectional meter, which does not register the active energy of all the load, making difficult the assessment of its power factor. This paper presents a methodology to assess the power factor in users with power generation equipment for self-consumption. The methodology details the measurement equipment needed, the steps to calculate the load's average power factor, and, for some cases, the penalization method. The results indicate that the proposed methodology isolates correctly the power generation effect from the power factor calculation, and this, in turn, avoids incorrect penalties.

Index terms— Distributed generation, power factor, power distribution networks, self-consumption.

Resumen

Uno de los cambios más recientes e importantes en las redes de distribución de energía eléctrica es el autoabastecimiento, actividad en la que uno o varios usuarios instalan equipos (usualmente paneles fotovoltaicos e inversores) para generar su propia energía eléctrica, autoabastecerse y, en algunos casos, inyectar excedentes de energía a la red. Estos usuarios requieren de un medidor bidireccional, el cual no registra la energía activa de toda la carga, haciendo difícil la evaluación de su factor de potencia. Este artículo presenta una metodología para la evaluación del factor de potencia en un usuarios con autoabastecimiento. La metodología detalla los equipos de medición necesarios, los pasos para calcular el factor de potencia medio mensual de la carga, y, para los casos necesarios, el método de penalización por bajo factor de potencia. Los resultados muestran que, la metodología propuesta aísla correctamente el efecto de la generación del cálculo del factor de potencia, y esto, a su vez, evita penalizaciones incorrectas.

Palabras clave— Autoabastecimiento, factor de potencia, generación distribuida, redes de distribución.

Recibido: 05-05-2024, Aprobado tras revisión: 11-06-2024

Forma sugerida de citación: Vásquez, W. (2024). "Evaluación del Factor de Potencia en Usuarios con Equipos de Generación para Autoabastecimiento". Revista Técnica "energía". No. 21, Issue I, Pp. 77-83

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v21.n1.2024.655>

© 2024 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



Esta publicación está bajo una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento – No Comercial 4.0



1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las redes de distribución de energía eléctrica han cambiado significativamente debido, entre otros aspectos, a la incorporación de generación distribuida. Equipos de generación eléctrica que aprovechan la energía solar, eólica, o hidráulica se pueden conectar en redes de distribución de medio y bajo voltaje. Algunos beneficios de la generación distribuida son: reducción de pérdidas de energía, mejora de los perfiles de voltaje y de la confiabilidad de las redes de distribución, etc.

El autoabastecimiento (también conocido como autoconsumo) es un tipo de generación distribuida, en la que los equipos generación se encuentran ubicados cerca del usuario (consumo) [1]. Muchos países, incluyendo Alemania, Bélgica, México, y España, han promovido el autoabastecimiento en los últimos años, permitiendo que usuarios residenciales, comerciales, industriales y otros instalen y operen equipos de generación en sus inmuebles [2]. Los límites de la potencia nominal de los equipos de generación para autoabastecimiento varían entre países. Por ejemplo, en Chile el límite es de 300 kW [3], mientras que en Ecuador el límite es de 2 MW [4].

Uno de los incentivos para promover el autoabastecimiento es el uso del esquema conocido como medición neta (net metering). La medición neta consiste en registrar mensualmente, usando un medidor bidireccional, la energía tomada de la red de distribución y la energía inyectada a la red de distribución, para luego calcular el valor neto; la energía inyectada a la red es reconocida al mismo precio de la energía que provee una empresa distribuidora [5].

El uso de un medidor bidireccional puede generar inconvenientes para la evaluación del factor de potencia en usuarios con equipos para autoabastecimiento. Los autores de [6] indican que, el factor de potencia de un usuario se degrada debido a que el medidor bidireccional registra la disminución de la potencia activa tomada de la red de distribución, lo cual distorsiona el cálculo del factor de potencia de la carga. Esta situación puede producir penalizaciones económicas de las empresas distribuidoras a sus usuarios si el factor de potencia es menor que el límite establecido, por ejemplo 0,92 (inductivo) [7].

Para solucionar el problema descrito anteriormente, existen dos alternativas que han sido investigadas previamente: corrección del factor de potencia y cálculo del factor de potencia de la carga (aislando el efecto de la generación). Los autores de [8] y [9] proponen que se corrija el factor de potencia en el punto de entrega mediante la generación de potencia reactiva, a través de bancos de capacitores o de los equipos para

autoabastecimiento. En [10], se propone un algoritmo para controlar la producción de los inversores de un sistema solar fotovoltaico, y así mantener el factor de potencia en el punto de entrega constante.

Por otra parte, para calcular el factor de potencia de la carga, los autores de [6] proponen instalar un medidor unidireccional a la salida de un sistema solar fotovoltaico, para junto con los registros de la energía activa del medidor bidireccional calcular la energía activa total consumida.

En lugar de instalar un medidor unidireccional a la salida del sistema solar fotovoltaico, los autores de [8] utilizaron los registros de energía de los inversores para calcular el factor de potencia de la carga. En [11], solamente se menciona que, para la evaluación del factor de potencia de la carga, usuarios con equipos de generación para autoabastecimiento deben instalar equipos de medición que permitan aislar el efecto de la generación.

A pesar de que en [6], [8] y [11] se presentan algunas consideraciones para la evaluación del factor de potencia de la carga de un usuario con equipos de generación para autoabastecimiento, estos trabajos no presentan un procedimiento detallado que pueda ser aplicado cuando un usuario disponga de varios equipos (subsistemas) de generación.

Este artículo propone una metodología para la evaluación del factor de potencia en usuarios con equipos de generación para autoabastecimiento. La metodología detalla los equipos de medición necesarios, los pasos para calcular el factor de potencia medio mensual de la carga, y, para los casos necesarios, los pasos para determinar la penalización por bajo factor de potencia.

El presente artículo está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2, se describe detalladamente la metodología propuesta, y se incluye un diagrama de flujo, el cual contiene todos los pasos para la evaluación del factor de potencia. En la Sección 3, se describen los casos de estudio, y se presentan los resultados y el análisis. Finalmente, la Sección 4 presenta las conclusiones y recomendaciones.

2. METODOLOGÍA PROPUESTA

En muchos países, regulaciones exigen a algunos usuarios tradicionales (usuarios sin equipos de generación para autoabastecimiento) el cumplimiento de un factor de potencia mínimo en el punto de entrega¹ [7], [12]. Es decir, las regulaciones evalúan el factor de potencia de la carga del usuario, lo cual permite determinar si éste está consumiendo energía eficientemente de la red de distribución.

usuario final.

¹ El Reglamento a la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica define al punto de entrega como la frontera de conexión entre las instalaciones de propiedad de la distribuidora y las instalaciones de propiedad de un usuario o

Con base a lo anterior, la metodología propuesta en este artículo considera que, la evaluación del factor de potencia en un usuario con equipos de generación para autoabastecimiento se la debe realizar considerando sólo su carga—aislando el efecto de la generación.

La metodología propuesta la evaluación del factor de potencia considera que, un usuario regulado tiene equipos de generación para autoabastecimiento, total o parcial. Los equipos pueden estar ubicados en diferentes partes dentro del inmueble en donde se ubica el usuario regulado, y pueden aprovechar diferentes recursos energéticos primarios.

La Fig. 1 muestra el diagrama de la conexión de un usuario regulado con equipos de generación para autoabastecimiento; el usuario se conecta a la red de distribución de medio voltaje. En el diagrama se puede observar el transformador reductor, las cargas, los equipos de generación para autoabastecimiento (con tecnología solar fotovoltaica y eólica), el medidor bidireccional ubicado en el punto de entrega (medio voltaje), y los medidores unidireccionales ubicados a la salida de los equipos (subsistemas) de generación.

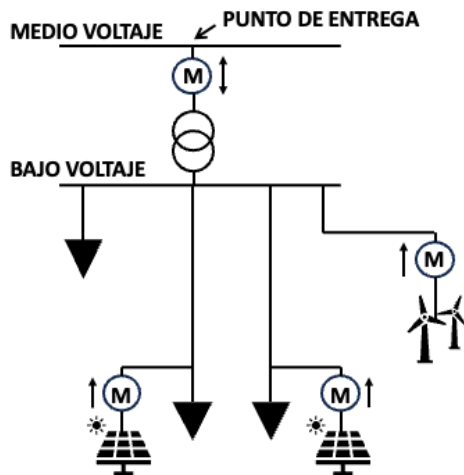


Figura 1: Diagrama de la conexión de un usuario regulado con equipos de generación para autoabastecimiento. El usuario se conecta en medio voltaje y tiene un medidor bidireccional en el punto de entrega.

Cada medidor registra parámetros específicos. El medidor bidireccional registra los siguientes parámetros: las energías activa y reactiva tomadas de la red de distribución, y la energía activa inyectada a la red de distribución. Los medidores unidireccionales registran la producción de energía activa de cada subsistema de generación.

La Fig. 2 muestra el diagrama de flujo de la metodología propuesta, la cual se detalla a continuación:

- Paso 1: Recopilar los registros de energía activa y reactiva del medidor bidireccional y de los medidores unidireccionales de los subsistemas de generación para el mes de análisis. Los registros deben ser tomados en intervalos de 15 minutos

(intervalo de tiempo usado en países como Chile [12] e Irlanda [13]).

- Paso 2: Calcular, en cada intervalo, la energía activa consumida por toda la carga (EP_{inst}^{carga}) usando la siguiente expresión:

$$EP_{inst}^{carga} = EP_{inst}^{red} + (EP_{inst}^{G1} + EP_{inst}^{G2} + \dots + EP_{inst}^{Gn} - EP_{inst}^{iny}) \quad (1)$$

donde EP_{inst}^{red} es la energía activa tomada de la red de distribución en un intervalo de 15 minutos, EP_{inst}^{G1} , EP_{inst}^{G2} y EP_{inst}^{Gn} es la energía activa de los subsistemas de generación en un intervalo de 15 minutos, y EP_{inst}^{iny} es la energía activa inyectada a la red en un intervalo de 15 minutos.

- Paso 3: Calcular, en cada intervalo, la energía reactiva consumida por toda la carga usando la siguiente expresión:

$$EQ_{inst}^{carga} = EQ_{inst}^{red} \quad (2)$$

donde EQ_{inst}^{red} es la energía reactiva tomada de la red de distribución en un intervalo de 15 minutos.

- Paso 4: Calcular, en cada intervalo, el factor de potencia instantáneo (FP_{inst}) de toda la carga usando la siguiente expresión [12]:

$$FP_{inst} = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{EQ_{inst}^{carga}}{EP_{inst}^{carga}} \right) \right) \quad (3)$$

- Paso 5: Calcular el factor de potencia medio mensual (FP) [12]:

$$FP = \frac{\sum_{k=1}^n (FP_{inst} \times EP_{inst}^{carga})_k}{\sum_{k=1}^n (EP_{inst}^{carga})_k} \quad (4)$$

donde n es el número de intervalos de 15 minutos en el mes de análisis.

- Paso 6: Comparar el factor de potencia medio mensual con el factor de potencia mínimo, establecido por el ente regulador.

- Paso 7: Si el factor de potencia medio mensual es menor que el factor de potencia mínimo, calcular la penalización del usuario. La penalización por bajo factor de potencia, P_{BFP} , se calcula usando las siguientes expresiones [7]:

$$P_{BFP} = B_{FP} \times FSPEE_i \quad (5)$$

$$B_{FP} = \frac{0,92}{FP} - 1 \quad (6)$$

$$FSPEE = FSPEE_i + P_{BFP} \quad (7)$$



donde B_{FP} es el factor de penalización y $FSPEE_i$ es la factura por servicio público de energía eléctrica inicial.

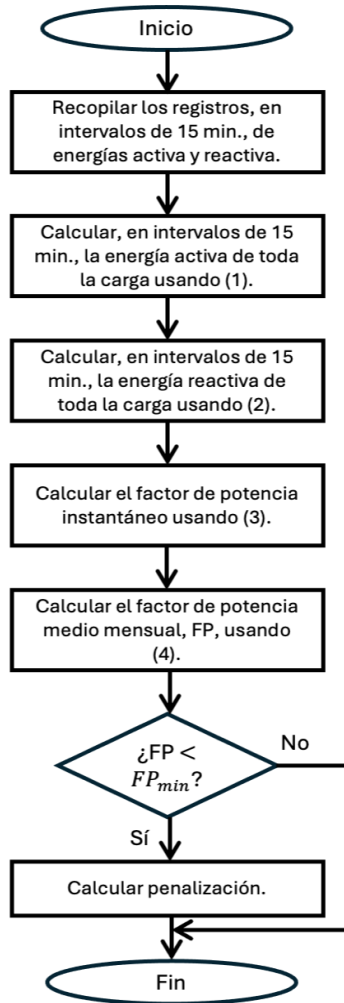


Figura 2: Diagrama de la metodología para la evaluación del factor de potencia en usuarios con equipos de generación para autoabastecimiento

Existen otros métodos para determinar si un usuario tradicional (sin equipos de generación para autoabastecimiento) debe ser penalizado por bajo factor de potencia. En [14], se calcula el factor de potencia cada 10 minutos, y el usuario no es penalizado si el 95% de los valores calculados están en el rango de 0,9 a 1,0. Este método también podría ser implementado en la metodología propuesta; sin embargo, el método de penalización descrito en el Paso 7 debe ser revisado, pues éste usa un único valor de factor de potencia.

Por otra parte, es importante mencionar que, un usuario regulado puede optar por no inyectar excedentes de energía eléctrica a la red de distribución. En este caso, el usuario solo requiere instalar un medidor unidireccional en el punto de entrega, como se muestra en la Fig. 3.

Para evaluar el factor de potencia de usuarios que no inyectan excedentes de energía eléctrica, no se considera la variable EP_{inst}^{iny} en la ecuación (1).

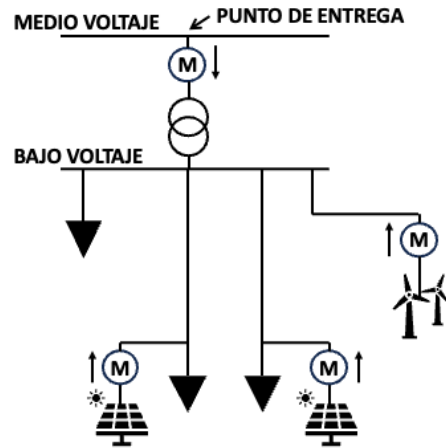


Figura 3: Diagrama de la conexión de un usuario regulado con equipos de generación para autoabastecimiento sin inyección de excedentes de energía eléctrica. El usuario se conecta en medio voltaje, y tiene un medidor unidireccional en el punto de entrega

3. CASOS DE ESTUDIO Y RESULTADOS

Para evaluar la metodología propuesta, se proponen tres casos de estudio, los cuales se describen a continuación.

El Caso 1 considera un usuario tradicional, es decir, sin equipos de generación para autoabastecimiento y con un medidor unidireccional en el punto de entrega de medio voltaje. El perfil de carga horaria en por unidad para este usuario fue tomado de [15], el cual multiplicado por un valor de 250 kW (demanda máxima de potencia activa) y un valor de 100 kVAr (demanda máxima de potencia reactiva). Todos los cálculos se realizaron usando el programa computacional MATLAB.

Para la evaluación del factor de potencia de este usuario, se utilizó datos de energía activa y reactiva tomados en intervalos de una hora, debido a que no se tuvo acceso a datos en intervalos de 15 minutos, como se menciona en el paso 1 de la metodología propuesta. La Fig. 4 muestra los datos de energía activa y reactiva de un usuario tradicional para un periodo de una semana (168 horas).

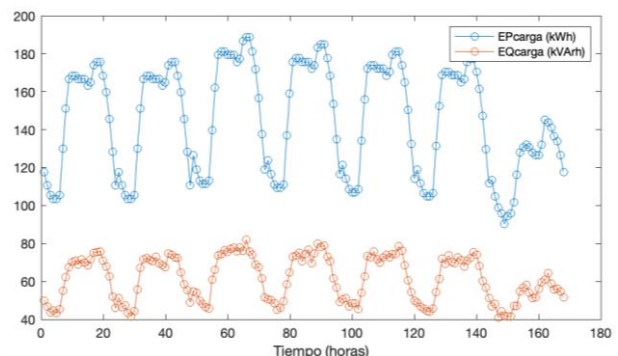


Figura 4: Energía activa y reactiva de un usuario regulado sin equipos de generación para autoabastecimiento

El Caso 2 considera un usuario con equipos de generación para autoabastecimiento con tecnología solar fotovoltaica, con un medidor bidireccional en el punto de entrega de medio voltaje, y con un medidor

unidireccional a la salida de cada subsistema de generación. Se consideró que el sistema solar fotovoltaico genera electricidad desde las 6am hasta las 6pm. La Fig. 5 muestra los datos de energía activa generada y tomada de la red, y los datos de energía reactiva tomada de la red. Además, la Fig. 5 muestra la energía activa de la carga calculada utilizando (1).

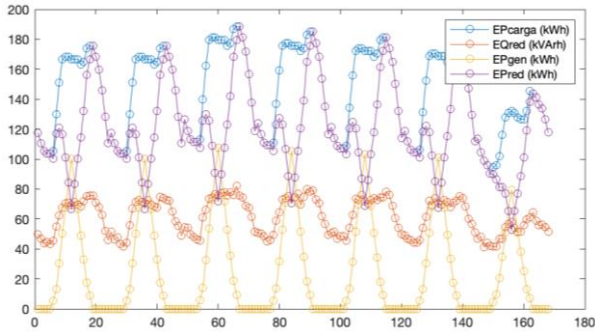


Figura 5: Energía activa y reactiva de un usuario regulado con equipos de generación para autoabastecimiento con tecnología solar fotovoltaica

Se puede ver en la Fig. 5 que, la energía reactiva tomada de la red es la misma que la mostrada en la Fig. 4; esto debido a que, los equipos de generación solar fotovoltaica no producen ni consumen energía reactiva.

El Caso 3 considera lo descrito en el Caso 2 e incluye un subsistema de generación con tecnología eólica con su respectivo medidor unidireccional, como se muestra en la Fig. 1. El aerogenerador tiene un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG, por sus nombre en inglés), el cual consume energía reactiva de la red para su operación [16]. La Fig. 6 muestra los datos de energía activa generada y tomada de la red, y los datos de energía reactiva tomada de la red; además, la figura muestra la energía activa de la carga calculada utilizando (1).

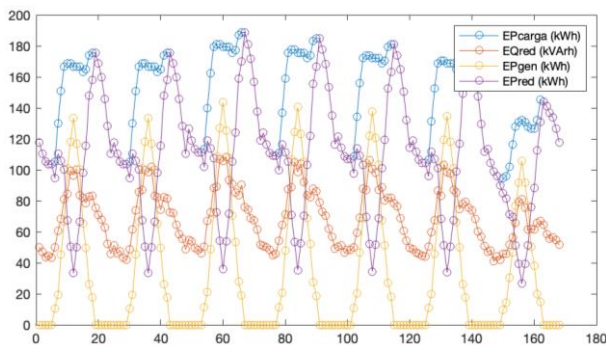


Figura 6: Energía activa y reactiva de un usuario regulado con equipos de generación para autoabastecimiento con tecnología solar fotovoltaica y eólica

Se puede ver en la Fig. 6 que, la energía reactiva tomada de la red aumenta; esto debido a la operación del aerogenerador. Además, se puede ver que, la energía activa generada también aumenta debido al aporte del aerogenerador.

Se calculó el factor de potencia medio mensual utilizando la metodología propuesta para un periodo de un año (12 meses). La Tabla 1 muestra los valores del factor de potencia medio mensual para los Casos 1-3. Para el Caso 1 (usuario sin equipos de generación para autoabastecimiento) se puede ver que, el factor de potencia medio mensual permanece casi constante y es igual o ligeramente mayor que el límite establecido: 0,92 (inductivo).

Tabla 1: Factor de potencia medio mensual para los Casos 1-3 utilizando la metodología propuesta

Mes	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Enero	0,921	0,921	0,903
Febrero	0,920	0,920	0,903
Marzo	0,920	0,920	0,902
Abril	0,920	0,920	0,903
Mayo	0,922	0,922	0,904
Junio	0,922	0,922	0,905
Julio	0,921	0,921	0,904
Agosto	0,921	0,921	0,904
Septiembre	0,920	0,920	0,903
Octubre	0,920	0,920	0,903
Noviembre	0,922	0,922	0,904
Diciembre	0,922	0,922	0,904

Para el Caso 2 (usuario con equipos de generación para autoabastecimiento con tecnología solar fotovoltaica) se puede ver que, los valores del factor de potencia medio mensual coinciden con los del Caso 1; lo cual indica que la metodología propuesta permite aislar correctamente el efecto de la generación.

Finalmente, para el Caso 3 (usuario con equipos de generación para autoabastecimiento con tecnología solar fotovoltaica y eólica) se puede ver que, en todos los meses, el factor de potencia es menor que el límite establecido. Este resultado ocurre debido al mayor consumo de energía reactiva, y por lo cual, la empresa distribuidora debería calcular la penalización por bajo factor de potencia y exigir al usuario acciones correctivas.

Para el cálculo de la penalización por bajo factor de potencia, se requiere conocer la factura por servicio público de energía eléctrica en USD del mes correspondiente, como se indica en (5). En Ecuador, la factura de un usuario depende de la cantidad de energía eléctrica consumida, el tipo de tarifa, y de otros rubros. Para el usuario considerado en los casos de estudio, se asumió que su factura inicial del mes de enero es de USD 10.000,00. Por lo tanto, la factura final por servicio público de energía eléctrica para el Caso 3 (Tabla 1) es de USD 10.200,00 (la misma que incluye la penalización por bajo factor de potencia de USD 200,00).



Por otra parte, se calculó el factor de potencia medio mensual para los Casos 1 y 2 utilizando únicamente los registros de energía activa y reactiva del medidor bidireccional. La Tabla 2 muestra los resultados. En ambos casos, el factor de potencia está por debajo del límite establecido, lo cual produciría penalizaciones al usuario e incrementos en su factura: USD 10.359,95 para el Caso 2 y USD 10.771,93 para el Caso 3.

Sin embargo, estas penalizaciones serían incorrectas, ya que como se mostró en la Tabla 1, el factor de potencia de la carga para el Caso 2 es igual o mayor que el límite establecido; y para el Caso 3, la penalización incrementa la factura sólo a USD 10.200,00.

Tabla 2: Factor de potencia medio mensual para los Casos 1 y 2 utilizando sólo los registros del medidor bidireccional

Mes	Caso 2	Caso 3
Enero	0,889	0,855
Febrero	0,889	0,854
Marzo	0,888	0,853
Abril	0,888	0,854
Mayo	0,889	0,854
Junio	0,890	0,855
Julio	0,889	0,855
Agosto	0,890	0,855
Septiembre	0,888	0,854
Octubre	0,888	0,854
Noviembre	0,890	0,856
Diciembre	0,890	0,856

Una alternativa a la evaluación del factor de potencia de la carga es el pago por el consumo excesivo de energía reactiva. Como se indica en [17], un usuario es penalizado cuando su consumo de energía reactiva es superior al cincuenta por ciento (50%) de la energía activa (kWh) que le es entregada en cada periodo horario. Esta alternativa no requiere la instalación de medidores unidireccionales a la salida de los subsistemas de generación, pues sólo requiere los registros de consumo de energía reactiva del medidor bidireccional. Sin embargo, en países como Ecuador, el pago por consumo excesivo de energía reactiva implicaría cambios regulatorios significativos—para la determinación del costo de transporte de energía reactiva.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este artículo propone una metodología para la evaluación del factor de potencia en usuarios con equipos de generación para autoabastecimiento. La metodología detalla los equipos de medición necesarios, los pasos para calcular el factor de potencia medio mensual de la carga, y, para los casos necesarios, el método de penalización por bajo factor de potencia. Para evaluar el desempeño de

la metodología, se consideró un usuario conectado a la red de distribución de medio voltaje y varios subsistemas de generación, con tecnología solar fotovoltaica y eólica.

Los resultados indicaron que, la metodología propuesta aísla el efecto de la generación en el cálculo del factor de potencia, y esto, a su vez, evita penalizaciones incorrectas por bajo factor de potencia. Además, los resultados indicaron que, si se calcula el factor de potencia empleando sólo los registros del medidor bidireccional, se pueden producir penalizaciones incorrectas por bajo factor de potencia.

A medida que el autoabastecimiento se incremente en las redes de distribución, las empresas distribuidoras tendrán problemas para evaluar el factor de potencia de usuarios con registro de energía reactiva. Con base a lo anterior, contar con una metodología que aisle el efecto de la generación en el cálculo del factor de potencia será muy beneficioso, tanto para las empresas distribuidoras como para sus usuarios. A pesar de que la cantidad de datos que deben ser procesados por las empresas distribuidoras aumenta, esto ayudará a evitar penalizaciones incorrectas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto , «Hoja de ruta del autoconsumo,» Madrid, 2021.
- [2] G. Masson, J. I. Briano y M. J. Baez, «Review and analysis of PV self-consumption policies,» International Energy Agency, 2016.
- [3] Ministerio de Energía, «REGLAMENTO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA AUTOCONSUMO,» Santiago, 2019.
- [4] ARCERNNR, «Regulación Nro. ARCERNNR-008/23, Marco normativo de la generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica,» Quito, 2023.
- [5] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambi, «El Estado de la Generación Distribuida Solar Fotovoltaica en América Latina y El Caribe,» 2022.
- [6] R. da Silva Benedito, R. Zilles y J. Tavares Pinho, «Overcoming the power factor apparent degradation of loads fed by photovoltaic distributed generators,» *Renewable Energy*, vol. 164, pp. 1364-1375, 2021.



- [7] ARCERNNR, «Pliego Tarifario del Servicio Público de Energía Eléctrica,» 2024.
- [8] Z. Machado Alves, «Power Factor in Distributed Generation Installations: A Case Study and Critical Analysis,» *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, vol. 33, pp. 198-203, 2022.
- [9] Global Sustainable Energy Solutions, «Power Factor and Grid-Connected Photovoltaics,» GSES Technical Papers.
- [10] V. Ignatova, «Methodology to regulate power factor in installations with solar self-consumption,» de *CIREC 2021 Conference*, 2021.
- [11] Comisión Nacional de Energía, «NORMA TÉCNICA DE CONEXIÓN Y OPERACIÓN DE EQUIPAMIENTOS DE GENERACIÓN».
- [12] Comisión Nacional de Energía, «Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución,» Santiago de Chile, 2019.
- [13] Commission for Energy Regulation, «Metering Code,» 2007.
- [14] Empresas Públicas de Medellín, «Guía Metodológica: Análisis de calidad de la potencia en redes de distribución,» 2019.
- [15] Probability Methods Subcommittee, «IEEE Reliability Test System,» *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. %1 de %2PAS-98, n° 6, pp. 2047 - 2054, 1979.
- [16] W. Vásquez y J. Játiva, «Modelación, Simulación y Control de Aerogeneradores con Generador de Inducción Doblemente Alimentado Utilizando Matlab,» *Revista Técnica "energía"*, vol. 11, p. 143-152, 2015.
- [17] Comisión de Regulación de Energía y Gas, «CREG,» 29 Enero 2018. [En línea]. Available: https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0015_2018.htm. [Último acceso: 30 04 2024].



Wilson A. Vásquez. - Recibió el título de Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador) en 2014, y los títulos de MSc in Electrical Power Systems with Advanced Research y PhD de la Universidad de Birmingham (Reino Unido) en 2017 y 2022, respectivamente. Actualmente, trabaja en la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. Sus campos de investigación están relacionados con la Generación Distribuida, Mantenimiento, y Confiabilidad de Sistemas Eléctricos de Potencia.