

EFFECTOS DE LA RESPUESTA DE LA DEMANDA EN EL BALANCE DE POTENCIA EN MINI-REDES AISLADAS

EFFECTS OF DEMAND RESPONSE ON THE POWER BALANCE OF ISOLATED MINI-GRIDS

D. López-García¹, A. Arango-Manrique², J.F. García-Franco³, S.X. Carvajal – Quintero⁴

¹ E3P, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación; Universidad Nacional de Colombia- Sede Manizales, Colombia. Email: dahlopezgar@unal.edu.co

² E3P, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación; Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Colombia. Email: aarangoma@unal.edu.co

³ E3P, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación; Universidad Nacional de Colombia -Sede Manizales, Colombia. Email: jufgarciafr@unal.edu.co

⁴ E3P, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación; Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Colombia. Email: sxcarvajalq@unal.edu.co

RECIBIDO: abril 21, 2017. ACEPTADO: junio 02, 2017. VERSIÓN FINAL: noviembre 01, 2017

RESUMEN

La electrificación rural, o de zonas aisladas, conjunto a las crecientes preocupaciones medioambientales, han promovido la difusión de los recursos energéticos renovables y las mini-redes. Sin embargo, la integración de recursos intermitentes y la operación por mini-redes aisladas trae consigo desafíos relacionados con la confiabilidad y la calidad del suministro de electricidad. De hecho, la poca inercia de las mini-redes aisladas que cuentan con la integración de generación variable es un desafío que debe ser enfrentado en la operación de estos sistemas. Una manera de afrontar estos desafíos es por medio de programas de respuesta de la demanda. En este sentido, se presenta una revisión bibliográfica de la importancia de la provisión de servicios de control de frecuencia por parte de la demanda y algunas experiencias internacionales relacionadas, y posteriormente se presenta un caso de estudio en el cual se analizan los efectos de la penetración de altos niveles de generación variable en el balance de potencia del sistema, y se evalúa la actuación de un mecanismo de respuesta de la demanda que actúa en respuesta a las variaciones de la frecuencia del sistema.

PALABRAS CLAVE: Respuesta de la Demanda, Mini-Redes Aisladas, Balance de Potencia, Control de Frecuencia

ABSTRACT

Electrification of rural, or isolated, areas coupled with the increasing environmental concerns have promoted the emergence of renewable energy sources and isolated mini-grids. Nevertheless, integration of intermittent resources such as the renewable ones and the operation by isolated mini-grids involves technical issues related to the reliability and the quality of the electricity supply. Indeed, the small inertia of isolated mini-grids with the integration of variable generation is a challenge faced on the operation of these electricity supply systems. One way to address these problems is through demand response programs. In this perspective, this paper presents a bibliographical review of the importance of the provision of frequency control services by the demand-side and some international experiences related, and later we present a case of study, in which we assess the effects of high penetration levels of variable generation in the power balance of the network, and we evaluate a proposed demand response mechanism that acts in answer to variations of the system's frequency.

KEYWORDS: Demand Response, Isolated Mini-Grids, Power Balance, Frequency Control

1. INTRODUCCIÓN

Con la introducción de plantas de generación distribuida cuya fuente primaria proviene de energías renovables, las cuales se caracterizan por su alta variabilidad e

intermitencia, se hace necesario contar con nuevos mecanismos que permitan mantener en tiempo real la frecuencia del sistema en un rango aceptable [1]–[4].

Esta situación se ve agudizada en la operación por mini-redes aisladas por la poca inercia con que cuentan la generación distribuida, haciendo que el manejo de los recursos inmersos en la mini-red se convierta en un elemento crucial al garantizar continuidad y seguridad en el suministro de electricidad [5].

Convencionalmente, la regulación de frecuencia ha sido prestada únicamente por unidades de generación, pero este paradigma está cambiando debido a la inclusión de tecnologías de almacenamiento y a la flexibilidad de la demanda en responder ante eventos o variaciones [4], [6].

En este sentido, la respuesta de la demanda se puede entender como cambios en el consumo de energía respecto a la demanda regular, con la modificación de los patrones de consumo, debido a variaciones en el precio de la electricidad en el tiempo, o a incentivos diseñados para aplanar la curva de demanda [7][8], [9].

Esta posibilidad de realizar cambios en los patrones de consumo permite programar desplazamientos y recortes de carga que ayudarían a mantener el balance de potencia de la mini - red aislada, a la par que permiten responder a eventos que comprometan la conexión de los usuarios, lo cual es potencialmente más económico, menos disruptivo y más eficiente que la desconexión aleatoria [7].

Este artículo plantea la evaluación de los efectos de la respuesta de la demanda en el balance de potencia activa en mini-redes aisladas, para ello en la sección 2 se realiza una revisión bibliográfica de la importancia de la prestación del servicio de control de frecuencia por parte de la demanda, y algunas experiencias internacionales relacionadas. Luego, en la sección 3, a partir de un estudio de caso se evalúa el efecto de variaciones de carga programadas en las mini-redes aisladas al instalarse generación distribuida renovable. La sección 4 presenta los resultados extraídos del estudio de caso y su respectivo análisis, y finalmente, la sección 5 presenta las conclusiones y las observaciones finales.

2. DEMANDA Y CONTROL DE FRECUENCIA

La penetración de la energía renovable está teniendo un rápido aumento en el mundo, y su integración trae consigo desafíos relacionados con la alta volatilidad del suministro eléctrico y la confiabilidad del mismo, teniendo la posibilidad de operar como mini-redes aisladas [10], [11]

Para lograr una operación flexible de la mini - red aislada con la integración de fuentes de generación intermitentes se requiere de una operación coordinada de todos los recursos inmersos en la red (generación, demanda, almacenamiento), que permita suministrar energía

eléctrica confiable, sostenible y segura, que a su vez masifique la inclusión de recursos energéticos con huella de carbono reducida [12], [13]

El correcto funcionamiento de los Sistema Eléctricos de Potencia (SEP) depende, en gran medida, del balance constante entre generación y demanda. Este balance es logrado en la actualidad, por los generadores síncronos. [14]. Sin embargo, en la operación de las mini - redes aisladas no se cuenta con generación de gran tamaño que permita mantener la inercia, y ante la penetración de generación intermitente, el paradigma de controlar la generación para igualar a la demanda deja de ser sostenible [14].

Por esta razón, se hace necesario contar con nuevos mecanismos que permitan mantener el balance generación-demanda, y por consiguiente la frecuencia en tiempo real del sistema [1], [2], [4], [15]. En este sentido, la respuesta de la demanda es un elemento clave en la operación por mini-redes aisladas, al permitir mantener la eficiencia en el suministro de electricidad, el balance de potencia y la confiabilidad del sistema [16]–[18]. La respuesta de la demanda se caracteriza por su flexibilidad y por su habilidad de realizar cambios en los perfiles de consumo [7], [11], [19], [20].

De esta manera, la flexibilidad de la respuesta de la demanda, en muchos casos, permite realizar reducciones de carga más rápidas que la modificación de potencia permitida por las rampas de las plantas de generación síncronas (térmica o hidráulica) [21]–[23], por lo que la respuesta de la demanda tiene el potencial de mitigar la variabilidad e intermitencia de la generación renovable [4], [24], manteniendo la frecuencia del sistema dentro de rangos permisibles.

Por otro lado, la cobertura de la electrificación rural, o la de zonas aisladas, es uno de los problemas predominantes de la electrificación a nivel mundial [25]. La mayoría de los países se han centrado en aumentar la cobertura de acceso al suministro de energía eléctrica sin prestar especial atención a si las soluciones implementadas son sostenibles en el corto y mediano plazo [26]. En este escenario, la operación por mini-redes aisladas ofrece la posibilidad de coordinar recursos energéticos distribuidos, manteniendo un suministro de electricidad continuo.

Consecuentemente, se requiere contar con la flexibilidad que la demanda, los sistemas de almacenamiento y las unidades de generación inmersas en la mini-red aislada pueden proporcionar en términos de potencia activa, con el fin de mantener la frecuencia dentro de los rangos operativos [7], [27]–[30].

A nivel internacional, se han desarrollado mini-redes aisladas, en el ámbito investigativo, en las que se analizan los modelos de gestión de la energía, el comportamiento de los recursos, entre otros [31].

La mini-red Kythnos, ubicada en Grecia, es una mini-red aislada que alimenta 12 casas. El control de esta mini-red está basado en el monitoreo de frecuencia para el manejo de las baterías. Además, se realiza un control de desconexión de carga cuando el nivel de carga de las baterías está muy bajo [31].

En Latinoamérica se encuentra la mini-red Huatacondo, ubicada en Chile, y que tiene conectadas aproximadamente 30 familias. Combina generación PV que contiene baterías, turbina eólica y generación diésel. Para compensar las fluctuaciones de la generación intermitente, cuentan con una participación de la demanda que responde a señales de desviación de un indicador de la red. Además, se implementó un SCADA social que permite caracterizar las necesidades energéticas de los usuarios, incluyendo alrededor del 73% de la comunidad en la operación de la mini-red aislada [32].

La experiencia de las mini-redes a nivel internacional se ha tomado como una solución para la electrificación rural, en varias regiones africanas como Tanzania, Namibia, Ruanda, entre otros, logrando incluir a la comunidad en la construcción, operación y mantenimiento de las mini-redes [33].

Las experiencias internacionales que cuentan con participación activa de la demanda, están enfocadas en la participación de las comunidades para el aprovechamiento de los recursos y la productividad [33]. Pero, no se cuenta con un mecanismo que aproveche la flexibilidad de la demanda para evitar desconexiones ante eventos de desbalance de generación y demanda.

En términos de prestación de servicios complementarios, especialmente de control de frecuencia con la flexibilidad de la demanda, la regulación es incipiente en la operación por mini-redes aisladas por lo que la implementación de controles especializados para prestar dicho servicio complementario aún se está desarrollando y estudiando.

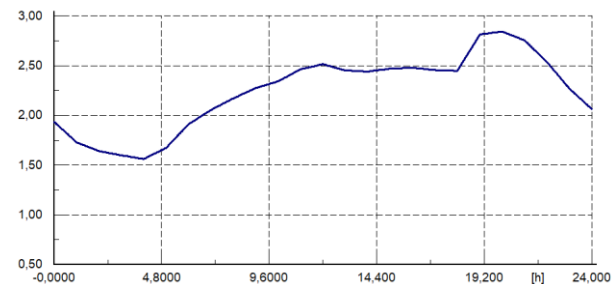
3. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio analizado corresponde a una mini-red aislada que cuenta con cuatro unidades de generación hidráulica de 690 kW y cuatro unidades de generación solar fotovoltaica de 300 kW.

La ubicación de las unidades de generación solar fotovoltaica se determinó siguiendo la metodología

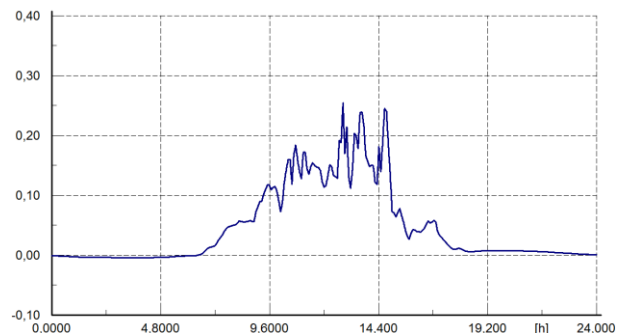
propuesta en [34], con la cual se busca reducir la congestión y las pérdidas de potencia reactiva, a la par que se mantiene el perfil de tensión en la red al incluir generación distribuida en el sistema.

La curva de demanda base utilizada, corresponde a una curva de carga típica de agregación de usuarios residenciales, comerciales e industriales en la zona andina colombiana, la cual es mostrada en la **Gráfica 1**.



Gráfica 1. Curva de demanda en MW de la mini-red en un periodo de 24 horas. **Fuente:** [35]

La curva de generación solar fotovoltaica utilizada corresponde a una curva diaria de generación del histórico de datos con el que cuenta la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, y la cual se muestra en la **Gráfica 2**. Este escenario de generación fue seleccionado por la alta variabilidad en la generación solar y debido a que su tendencia no es, parcialmente, predecible.



Gráfica 2. Curvas de generación solar utilizadas para los escenarios de generación solar PV del sistema en un periodo de 24 horas. **Fuente:** Base de datos – Panel Universidad Nacional

El mecanismo de respuesta de la demanda implementado responde a las variaciones en la frecuencia que se presentan en la mini-red. La **Tabla 1** muestra los umbrales de frecuencia establecidos y los eventos respectivos que se desencadenan con la superación de los mismos, estas variaciones, o eventos de carga se realizan gradualmente hasta que se alcance la variación de consumo objetivo, dada en porcentaje respecto a la línea

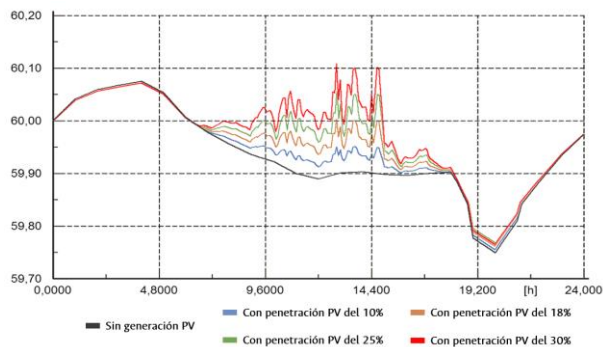
de consumo base, teniendo como límite 30 minutos después de haberse realizado la notificación del evento. El tiempo de actuación dependerá de las variaciones de la frecuencia del sistema.

Tabla 1. Mecanismo de respuesta de la demanda analizado

Clase del evento	Umbral [Hz]	Respuesta de la demanda		
		Tipo de variación	[%]	Tipo de usuarios
Sobre frecuencia	60,10	Aumento de carga	5%	Industriales
	60,15	Aumento de carga	3%	Residenciales
	60,20	Aumento de carga	3%	Comerciales
Baja frecuencia	59,85	Disminución de carga	7%	Industriales
	59,80	Disminución de carga	3%	Residenciales
	59,75	Disminución de carga	3%	Comerciales

4. RESULTADOS

La **Gráfica 3** presenta el comportamiento de la frecuencia en la mini-red aislada estudiada ante diferentes niveles de penetración de generación solar fotovoltaica (ver **Gráfica 2**). En esta gráfica es posible observar los efectos que la integración de porcentajes considerables de generación variable puede tener en la frecuencia de un sistema.

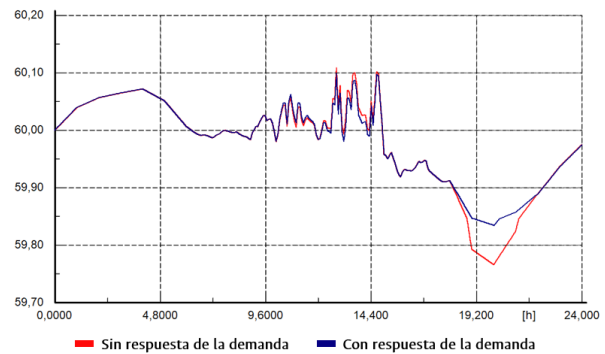


Gráfica 3. Frecuencia en Hz del sistema ante diferentes niveles de penetración de generación solar fotovoltaica durante un día de operación

Es importante anotar que los cambios súbitos en la frecuencia pueden disminuir la confiabilidad del sistema, aumentando la probabilidad de ocurrencia y la severidad de desconexiones fortuitas.

En la **Gráfica 4** es posible observar el comportamiento de la frecuencia del sistema, antes y después de implementar el mecanismo de respuesta de la demanda propuesto en la sección anterior. Esta simulación se

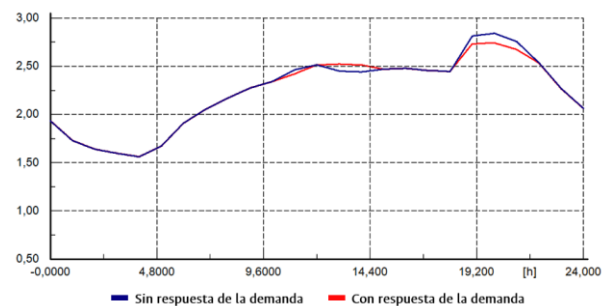
realiza considerando la inclusión de cuatro centrales de generación solar fotovoltaica de 300 kW, las cuales representan una penetración del 30% de generación variable en el sistema.



Gráfica 4. Frecuencia en Hz del sistema antes y después de la integración del mecanismo de respuesta de la demanda

Con la inclusión de la respuesta de la demanda en el sistema, es posible realizar variaciones de carga que responden a las variaciones de frecuencia del sistema, buscando mantener este indicador dentro de rangos más acotados, es decir manteniendo el balance de potencia más preciso y por tanto reduciendo la probabilidad de ocurrencia y severidad de las interrupciones del suministro de electricidad.

Adicionalmente, la curva de demanda resultante después de la implementación de los programas de respuesta de la demanda tiene un aplanamiento considerable respecto a la curva base (**Gráfica 5**), reduciendo el pico de consumo máximo y desplazando dicho consumo a horas valle en las que se cuenta con generación solar fotovoltaica.



Gráfica 5. Demanda en MW del sistema antes y después de la integración del mecanismo de respuesta de la demanda.

Tradicionalmente, debido al aumento progresivo de la demanda, las plantas de generación han tendido a incrementar la capacidad de generación de potencia para que el sistema sea capaz de responder a los picos de consumo propios de la demanda creciente del sistema [29]; sin embargo, esta inversión en expansión en la capacidad de generación de dichas plantas, se realizaría

únicamente para suministrar el servicio de energía eléctrica durante picos de consumo que se presentan durante periodos cortos de tiempo. Esto sucede debido a la ausencia de programas de manejo adecuado de la carga en los momentos en los que la seguridad del sistema se ve comprometida [7], [19], [36].

En este ámbito, la capacidad de la respuesta de la demanda de reducir picos de consumo, conlleva a que la dependencia de la generación convencional se vea reducida en el sistema. Esto debido a que la presencia de picos en periodos en los que no se tiene generación solar, hace necesario que el sistema cuente con generación térmica o hidráulica suficiente para suplir dicha demanda.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que la alta flexibilidad de la demanda y su habilidad de ajuste de carga, permite que la demanda pueda, desde el punto de vista técnico, proveer servicios de control de frecuencia al sistema, manteniéndola entre límites más acotados. Esto se traduce en un balance de potencia más preciso, lo que reduce la probabilidad de ocurrencia y severidad de las interrupciones del suministro de electricidad.

La respuesta de la demanda es una herramienta potencial para mitigar la intermitencia de la generación variable. Sin embargo, la correcta actuación de estos programas requiere que los usuarios estén dispuestos a responder rápidamente a eventos que se presenten en el sistema.

Con base en las experiencias internacionales analizadas y considerando los resultados obtenidos de la evaluación del caso de estudio, se puede afirmar que la participación activa de la demanda puede aumentar la confiabilidad y continuidad del suministro al operar por mini-redes aisladas. Pero los mecanismos de participación implementados deben adaptarse a las condiciones técnicas, económicas y sociales en las que se desarrolle el sistema.

La operación por mini – redes aisladas es una solución a la electrificación rural. No obstante, es necesario incluir en este tipo de soluciones a la demanda, como un actor dentro del mercado, con el fin de mantener un servicio continuo con niveles de calidad y sostenibilidad, así como también el aprovechamiento de los recursos primarios de las regiones, con la masificación de la generación distribuida con fuentes renovables.

6. AGRADECIMIENTOS

La investigación de este trabajo fue apoyada por la Universidad Nacional de Colombia, a través del

Departamento de Investigación de Manizales – DIMA, como parte del proyecto “*Diseño de estrategias operativas para la integración eficiente de recursos energéticos distribuidos en las redes de distribución en Colombia*” código 35911, el cual es desarrollado por el grupo de investigación *Environmental Energy and Education Policy – E3P*.

7. REFERENCIAS

- [1] C. L. Anderson and J. B. Cardell, “A decision framework for optimal pairing of wind and demand response resources,” *IEEE Syst. J.*, vol. 8, no. 4, pp. 1104–1111, 2014.
- [2] P. Cappers, “Mass market demand response and variable generation integration issues: A scoping study,” no. October, 2012.
- [3] P. Cappers, A. Mills, C. Goldman, R. Wiser, and J. H. Eto, “An assessment of the role mass market demand response could play in contributing to the management of variable generation integration issues,” *Energy Policy*, vol. 48, pp. 420–429, 2012.
- [4] Federal Energy Regulatory Commission, “Assessment of Demand Response & Advanced Metering,” 2015.
- [5] T. Wildi, *Electrical Machines, Drives and Power Systems Sixth Edition*, 6th ed. 2006.
- [6] M. Behrangrad, “A review of demand side management business models in the electricity market,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 47, pp. 270–283, 2015.
- [7] Federal Energy Regulatory Commission, “Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them,” 2006.
- [8] G. Lebel, D. Wang, R. Caire, N. Hadjsaid, S. Bediou, and A. Glatigny, “Distributed and Coordinated Demand Response for Frequency-controlled reserve supply,” *PowerTech 2015, IEEE Eindhoven*, pp. 2–6, 2015.
- [9] P. Palensky and D. Dietrich, “Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011.
- [10] S. Meyn, P. Barooah, A. Busic, Y. Chen, and J. Ehren, “Ancillary Service to the Grid Using Intelligent Deferrable Loads,” *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 60, no. 11, pp. 2847–2862, 2014.
- [11] C. Eid, P. Codani, Y. Perez, J. Reneses, and R. Hakvoort, “Managing electric flexibility from Distributed Energy Resources: A review of incentives for market design,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 64, pp. 237–247, 2016.

- [12] R. E. Brown and L. A. A. Freeman, "Analyzing the reliability impact of distributed generation," *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 2, no. SUMMER, pp. 1013–1018, 2001.
- [13] J. A. P. Lopes, A. G. Madureira, and C. C. L. M. Moreira, "A view of microgrids," *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.*, vol. 2, no. 1, pp. 86–103, 2013.
- [14] P. Barooah, A. Bušić, and S. Meyn, "Spectral decomposition of demand-side flexibility for reliable ancillary services in a smart grid," *Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, vol. 2015–March, pp. 2700–2709, 2015.
- [15] P. Cappers, A. Mills, C. Goldman, R. Wiser, and J. H. Eto, "An assessment of the role mass market demand response could play in contributing to the management of variable generation integration issues," *Energy Policy*, vol. 48, pp. 420–429, 2012.
- [16] M. Parvania, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Shahidehpour, "Optimal Demand Response Aggregation in Wholesale Electricity Markets," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 4, 2013.
- [17] S. Shao, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Demand Response as a Load Shaping Tool in an Intelligent Grid With Electric Vehicles," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 4, pp. 624–631, Dec. 2011.
- [18] M. Shafie-Khah, D. Z. Fitiwi, J. P. S. Catalao, E. Heydarian-Forushani, and M. E. H. Golshan, "Simultaneous participation of Demand Response aggregators in ancillary services and Demand Response eXchange markets," *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 2016–July, pp. 0–4, 2016.
- [19] Fedit and E. Tecnologías de la información y telecomunicaciones, "SMART GRIDS Y LA EVOLUCIÓN DE LA RED," *Fedit*, pp. 1–82, 2011.
- [20] D. Neves, M. C. Brito, and C. A. Silva, "Impact of solar and wind forecast uncertainties on demand response of isolated microgrids," *Renew. Energy*, vol. 87, pp. 1003–1015, 2016.
- [21] K. Schisler, T. Sick, and K. Brief, "The Role of Demand Response in Ancillary Service Markets," *IEEE Transm. Distrib. Conf. Expo. 2008*, pp. 1–3, 2008.
- [22] O. Ma et al., "Demand Response for Ancillary Services," *Smart Grid, IEEE Trans.*, vol. 4, no. 4, pp. 1988–1995, 2013.
- [23] Q. Wang, C. Zhang, Y. Ding, G. Xydis, J. Wang, and J. Østergaard, "Review of real-time electricity markets for integrating Distributed Energy Resources and Demand Response," *Appl. Energy*, vol. 138, pp. 695–706, 2015.
- [24] A. Brooks, E. Lu, D. Reicher, C. Spirakis, and B. Wehl, "Demand dispatch," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 8, no. 3, pp. 20–29, 2010.
- [25] IEA, "Energy for All: Financing access for the poor (Special early excerpt of the World Energy Outlook 2011)," *World Energy Outlook 2011*, no. October, p. 52, 2011.
- [26] S. C. Bhattacharyya, "Energy for Sustainable Development Energy access programmes and sustainable development: A critical review and analysis," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 16, no. 3, pp. 260–271, 2012.
- [27] North American Electric Reliability Corporation, "Accommodating High Levels of Variable Generation," *North Am. Electr. Reliab. Corp.*, no. April, p. 104, 2009.
- [28] F. Shariatzadeh, P. Mandal, and A. K. Srivastava, "Demand response for sustainable energy systems: A review, application and implementation strategy," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 45, no. August 2016, pp. 343–350, 2015.
- [29] M. R. Narimani, P. J. Nauert, J.-Y. Joo, and M. L. Crow, "Reliability assesment of power system at the presence of demand side management," in *2016 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI)*, 2016, pp. 1–5.
- [30] I.-S. Ilie, I. Hernando-Gil, A. J. Collin, J. L. Acosta, and S. Z. Djokic, "Reliability performance assessment in smart grids with demand-side management," *2011 2nd IEEE PES Int. Conf. Exhib. Innov. Smart Grid Technol.*, pp. 1–7, 2011.
- [31] N. Hatziairgiyriou, *Microgrids: Architectures and Control*. 2014.
- [32] O. Núñez, D. Ortiz, and R. Palma-Behnke, "Microrredes en la red eléctrica del futuro --caso Huatacondo.,," *Cienc. y Tecnol.*, vol. 29, no. 2, pp. 1–16, 2013.
- [33] Euei Pdf, "Mini-grid Policy Toolkit," *Rep. From Http//Www.Euei-Pdf.Org/*, p. 69, 2014.
- [34] M. Afkousi-Paqaleh, A. Abbaspour-Tehrani Fard, and M. Rashidinejad, "Distributed generation placement for congestion management considering economic and financial issues," *Electr. Eng.*, vol. 92, no. 6, pp. 193–201, 2010.
- [35] XM Expertos en Mercados, "Propuesta Pronóstico de Demanda CND," 2017. .
- [36] G. Ferruzzi, G. Graditi, F. Rossi, and A. Russo, "Optimal Operation of a Residential Microgrid: The Role of Demand Side Management," *Intell. Ind. Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 61–82, 2015.