

1-1-2018

Viabilidad regulatoria para implementar sistemas de micro redes con fuentes no convencionales de energía renovable – FNCER – por Intercolombia S.A. E.S.P

José Javier Díaz González

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica

Citación recomendada

Díaz González, J.J. (2018). Viabilidad regulatoria para implementar sistemas de micro redes con fuentes no convencionales de energía renovable – FNCER – por Intercolombia S.A. E.S.P. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/182

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Eléctrica by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

VIABILIDAD REGULATORIA PARA IMPLEMENTAR SISTEMAS DE MICRO REDES
CON FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE – FNCER – POR
INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P.

JOSÉ JAVIER DÍAZ GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

BOGOTÁ

2018

VIABILIDAD REGULATORIA PARA IMPLEMENTAR SISTEMAS DE MICRO REDES
CON FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE – FNCER – POR
INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P.

JOSÉ JAVIER DÍAZ GONZÁLEZ

Trabajo de práctica profesional en el marco del convenio interinstitucional entre la Universidad de la Salle y la empresa INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P. para ser acreedor al título de pregrado de ingeniero electricista al estudiante del presente documento

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ
2018

Tabla de contenido

Nomenclaturas	6
Resumen.....	7
Análisis e interpretación de resultados	8
Marco de referencia legal y regulatorio para apalancar las micro redes en ITCO.....	8
Micro red	12
Origen de la micro red.	12
Definición de micro red.....	12
Componentes de micro red.....	14
Clasificación de micro red y modo de operación.	15
Impactos legales y regulatorios de la implementación de micro redes	24
Análisis en el Sistema Interconectado Nacional.....	24
Análisis en las Zonas No Interconectadas.	28
Aspectos financieros y económicos a considerar al implementar micro redes	32
El estudio financiero.....	33
El estudio socioeconómico.....	34
Principales diferencias entre la visión financiera y la económica.	34
Conclusiones.....	37
Bibliografía	39
Glosario.....	43

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Estructura jerárquica normativa en Colombia.....	8
Ilustración 2 Micro red de CA.....	16
Ilustración 3 Micro red de CC.....	19
Ilustración 4 Micro red híbrida CA/CC.....	21

Índice de tablas

Tabla 1 Visión contable vs Visión económica.....	35
Tabla 2 Tipos de evaluaciones.....	35

Nomenclaturas

CA: Corriente Alterna.

CAPEX: CAPital EXpenditures.

CC: Corriente Continua.

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas.

FAZNI: Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas.

FCE: Fuentes Convencionales de Energía.

FNCER: Fuentes No Convencionales de Energía Renovable.

GD: Generador distribuido.

IEC: International Electrotechnical Commission.

ISA: Interconexión Eléctrica S.A.

ITCO: INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P.

LED: Light Emitting Diode.

MEM: Mercado de Energía Mayorista.

MME: Ministerio de Minas y Energía.

OPEX: OPerating Expense.

OR: Operador de Red.

SIN: Sistema Interconectado Nacional.

SPAT: Sistema de Puesta a Tierra.

UNICEF: United Nations International Children's Emergency Fund.

UPME: Unidad de Planeación Minero Energética.

ZNI: Zonas No Interconectadas.

Resumen

En el presente documento, se encuentra el marco legal y regulatorio que se desarrolló como paso inicial para evaluar la viabilidad para ITCO de implementar sistemas de micro redes con FNCER como un nuevo modelo de negocio. A su vez, se presenta la revisión de la conceptualización y metodología para implementar los sistemas de micro redes con FNCER.

Además, se discuten los impactos legales y regulatorios para ITCO de implementar sistemas de micro redes con FNCER en el SIN y las ZNI. Con base en el análisis realizado y teniendo en cuenta la definición que se plantea de micro redes en el presente documento, se determinó que ITCO puede implementar sistemas de micro redes con FNCER como un nuevo modelo de negocio en las ZNI, pero no en el SIN.

Por último, se explica la importancia del estudio financiero y económico por parte de ITCO para implementar una micro red en las ZNI de acuerdo a la metodología de evaluación de proyectos.

Este trabajo se divide de la siguiente manera: la metodología que se utilizó para el cumplimiento de las actividades de los objetivos de estudio; el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de cada uno de los objetivos de estudio y por último, se encuentran las conclusiones.

Análisis e interpretación de resultados

Marco de referencia legal y regulatorio para apalancar las micro redes en ITCO

En este documento, se presenta la documentación del marco legal y regulatorio para apalancar el tema de micro redes como una oportunidad de negocio asociado a la actividad principal de transmisión de energía eléctrica de ITCO. Teniendo en cuenta la estructura jerárquica legal de los documentos legales y regulatorios como se muestra en la ilustración 1. A continuación, se encuentran los documentos que se van a tener en cuenta para el análisis del marco referente:



Ilustración 1 Estructura jerárquica normativa en Colombia.

Fuente: autor.

- **Constitución Política de Colombia de 1991.**
- **Ley 142 de 1994:** Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

- **Ley 143 de 1994:** Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.
- **Resolución 084 de 1996:** Por la cual se reglamentan las actividades del Autogenerador conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN).
- **Resolución 082 de 2002:** Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local.
- **Ley 855 de 2003:** Por la cual se definen las Zonas No Interconectadas.
- **Resolución CREG 091 de 2007:** Por la cual se establecen las metodologías generales para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica, y las fórmulas tarifarias generales para establecer el costo unitario de prestación del servicio público de energía eléctrica en Zonas No Interconectadas.
- **Sentencia 16257 de 2007 del Consejo de Estado.**
- **Resolución MME 181072 de 2008:** Por el cual se desarrolla el trámite para la contratación de áreas de servicio exclusivo para la prestación del servicio público de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas.
- **Resolución CREG 057 de 2009:** Por la cual se actualizan los costos de inversión de las actividades de generación y distribución de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas contenidos en la Resolución CREG 091 de 2007.
- **Resolución CREG 074 de 2009:** Por la cual se modifican las Resoluciones CREG 091 de 2007 y 161 de 2008.

- **Ley 1715 de 2014:** Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.
- **Decreto MME 2469 de 2014:** Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración.
- **Resolución CREG 027-2014:** Por la cual se ordena hacer público un proyecto de resolución “Por la cual se definen las reglas para verificar la existencia de los motivos que permiten la inclusión de áreas de servicio exclusivo en los contratos, y los lineamientos generales y las condiciones a las cuales deben someterse ellos, para la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica en las zonas no interconectadas.
- **Decreto MME 1073 de 2015:** Por la cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía.
- **Decreto MME 1623 de 2015:** Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas.
- **Resolución CREG 024 de 2015:** Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional (SIN) y se dictan otras disposiciones.
- **Resolución UPME 281-2015:** Por el cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala.
- **Resolución CREG 076 de 2016:** Por la cual se definen las reglas para verificar la existencia de los motivos que permiten la inclusión de áreas de servicio exclusivo en los contratos, y los lineamientos generales y las condiciones a las cuales deben someterse

ellos, para la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas.

- **Decreto MME 348 de 2017:** Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala.
- **Resolución CREG 030 de 2018:** Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional.
- **Resolución CREG 037 de 2018:** Por la cual se definen zonas de difícil acceso en el SIN, los criterios para su delimitación y se establecen condiciones especiales de prestación del servicio de energía eléctrica en esas zonas.
- **Resolución CREG 038 de 2018:** Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las Zonas No Interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las Zonas No Interconectadas.

De acuerdo al marco legal y regulatorio relacionado con el tema de micro redes y vigente en Colombia, se identificó que no existe una definición puntual sobre micro red. A su vez, en la búsqueda de este marco de referencia se evidencia que no hay una metodología establecida por parte del MME, la UPME y la CREG para la implementación de los sistemas de micro redes; solo proponen que es una buena oportunidad para desarrollar en las ZNI y en las zonas aisladas que son comunidades cercanas al SIN, pero que financiera y socio-económicamente no son viables para extender las redes de energía eléctrica del SIN, debido a la poca densidad poblacional de estas comunidades, entre otros.

Micro red

Origen de la micro red.

De acuerdo con el trabajo realizado por (IEC, 2017), *“las micro redes pueden servir para diferentes propósitos dependiendo principalmente de sus objetivos y aplicaciones. Por lo general, se consideran como medios para gestionar la confiabilidad del suministro de energía en una contingencia de la red y la optimización local del suministro de energía mediante el control de los recursos energéticos distribuidos (DER, por sus siglas en inglés). Las micro redes también presentan una forma de proporcionar el suministro de electricidad en áreas remotas y el uso de energía limpia y renovable con un enfoque sistémico para la electrificación rural”*.

Una micro red permite fomentar la integración de los sistemas distribuidos como una alternativa que los consumidores de energía deben considerar por los beneficios y características que proporcionan, tanto por el beneficio social como por las preocupaciones a nivel mundial por el cambio climático, el aumento de la población y la escasez de los recursos naturales que pueden aumentar la posibilidad de un apagón de los sistemas eléctricos de potencia.

Definición de micro red.

- *“Sistema eléctrico interconectado con cargas y recursos de energía distribuida con límites eléctricos definidos que actúan como una única entidad controlable a un nivel de media y baja tensión y es capaz de operar tanto en modo conectado a la red como en modo isla.” (IEC, 2017)*
- *“Una pequeña red en baja o media tensión capaz de integrar diversas fuentes de generación, almacenamiento de energía y cargas gestionables que potencialmente pueden funcionar como pequeñas islas de energía, esto es, unidades energéticamente*

autosuficientes, aunque conectadas a la red de distribución. Pueden estar compuestas de cualquiera de los elementos de una red convencional o tecnología relacionada con Redes Inteligentes, pero inevitablemente, deben contener sistemas de generación y poseer la capacidad de trabajar en modo aislado, sin conexión a la red eléctrica.”

(UPME, 2016)

- *“Sistema eléctrico constituido por generadores distribuidos e interconectados, cargas y elementos de almacenamiento de energía que cooperan entre sí comportándose colectivamente como un único sistema consumidor-productos.”* (Alcaín, 2016)
- *“Comprende una parte del Sistema de Distribución Eléctrica en media y baja tensión. Incluye una variedad de recursos energéticos distribuidos (DER), como generadores distribuidos y unidades de almacenamiento de energía, y diferentes tipos de usuarios finales (cargas eléctricas y/o térmicas), así como los equipos de comunicación necesarios para la operación y gestión de la energía en tiempo real.”* (Gaona, Trujillo & Guacaneme, 2015)

Acorde a cada una de las definiciones que proponen cada uno de los autores y teniendo en cuenta las relaciones entre cada una de las definiciones, se puede sintetizar que una micro red es un sistema eléctrico de media o baja tensión interconectado entre diferentes tipos de usuarios finales (cargas eléctricas y/o térmicas) y recursos energéticos distribuidos (FCE, FNCER y almacenamiento de energía) que tienen los equipos necesarios para el control, operación y gestión de la energía en tiempo real para funcionar en paralelo o aislada a la red principal.

Componentes de micro red.

A continuación, se presentan los componentes básicos de cada uno de los grupos que conforman una micro red:

- **Cargas:** Son generalmente cargas eléctricas y cargas térmicas, se puede aprovechar la energía obtenida por las nuevas tecnologías renovables para abastecer a cargas térmicas por medio de los mismos principios de la generación de electricidad. Estas cargas pueden o no ser controladas.
- **Recursos energéticos distribuidos:** Son sistemas capaces de producir energía eléctrica generalmente son generadores térmicos, sistemas de almacenamiento de energía, cogeneración que operan conectados a la red de media o baja tensión con sus equipos de protección, conexión y servicios auxiliares en los sistemas que aplique.

En Colombia, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), establece que un generador distribuido (GD) *“es una persona jurídica que genera energía eléctrica cerca de los centros de consumo, y está conectado al Sistema de Distribución Local y con potencia instalada menor o igual a 0,1 MW.”* (CREG – R. CREG 030 de 2018, 2018)

- **Almacenamiento de energía eléctrica:** El almacenamiento de energía eléctrica es una parte importante en las micro redes o sistemas eléctricos que tienen generadores distribuidos con la tecnología de FNCER para producir energía eléctrica debido a la variabilidad del recurso (sol, viento, biomasa, entre otros). *“Para elegir las baterías se deberán tener en cuenta los ciclos de carga y descarga. Estos ciclos aumentarán en número conforme mayor sea el número de medios de generación intermitente utilizados por la Micro Red.”* (Alcaín, 2016)

- **Tecnologías de control:** *“Las micro redes más sofisticadas además poseen fuentes de energía distribuidas que pueden aislarse de la red en cualquier momento por medio de interruptores automatizados. También poseen un hardware de compensación de potencia reactiva y de voltaje, constituido por electrónica de potencia, así como un software para la predicción de utilización de activos.”* (Alcaín, 2016)

Actualmente, el control primario más utilizado en las micro redes se basa en el algoritmo *“droop control”* que es igual al que tienen implementados en sus curvas de control los generadores para poder hacer el adecuado manejo de la relación entre la variación de la frecuencia y la carga. Esta tecnología de control es uno de los componentes más importante a instalar e implementar en una micro red, debido a la variabilidad del recurso de generación de energía eléctrica de las FNCER.

Clasificación de micro red y modo de operación.

De acuerdo con la literatura sobre la definición de una micro red, existen diferentes posibilidades de clasificación, dependiendo de ciertos factores como el tipo de generación, las cargas a suministrar, la disposición geográfica y física, entre otros. Sin embargo, la clasificación más evidente puede ser en función de las características eléctricas, para determinar si la micro red utiliza corriente continua o corriente alterna como lo muestra (E.E. Gaona, 2015) en su documento de investigación.

Un número de diferentes autores como (Zhu, Han, Qin, & Wang, 2015), (Mamaghani, Avella, Najafi, Shirazi & Rinaldi, 2016), (Gaona et al., 2015) y (Girma, 2013) explican y muestran la aplicación de micro redes de corriente continua, corriente alterna o un híbrido, siendo las micro redes de corriente alterna las más implementadas a nivel internacional.

Las micro redes de CA o híbridas son la arquitectura más utilizada en Colombia y la mayoría de las micro redes se encuentran en las ZNI. Estos proyectos de micro redes en las ZNI tienen un CAPEX de USD/kW 16.248 y USD/kW 14.393 a diciembre de 2012 para un sistema fotovoltaico y un sistema eólico, respectivamente como lo describe Gaona et al. (2015).

Micro red de Corriente Alterna – CA.

Las micro redes de CA son las más antiguas y las tecnologías correspondientes son relativamente maduras. Una micro red de CA generalmente contiene generadores distribuidos, cargas de CA y CC, dispositivos de almacenamiento de energía, etc. La configuración típica de la micro red de CA se muestra en la ilustración 2.

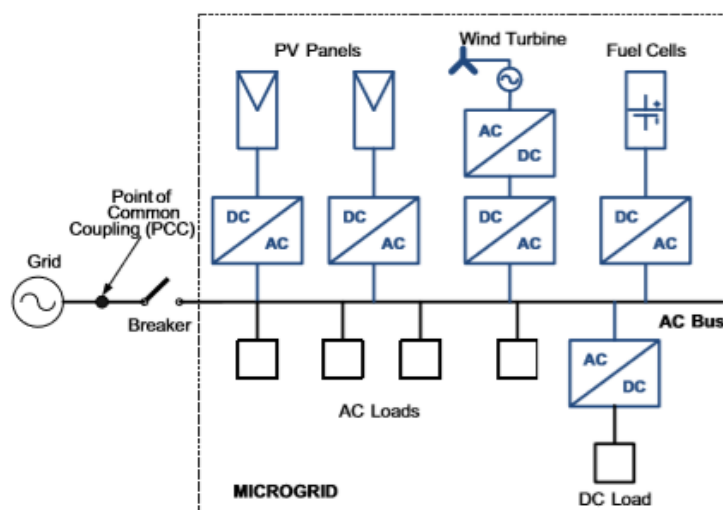


Ilustración 2 Micro red de CA.

Fuente: (Gaona et al., 2015).

Las cargas de CC y las fuentes de CC se conectan a la red de CA a través de convertidor de CA/CC e inversor de CC/CA, respectivamente. Una característica importante de la micro red de CA es que puede operar en dos modos: modo conectado a la red y modo aislado o isla. En el

modo conectado a la red, la frecuencia y el nivel de tensión de la barra de CA son compatibles con la red pública como lo explica el autor Zhu et al. (2014) en su documento.

En la operación de la micro red de CA cuando el suministro de energía de la red eléctrica es suficiente para todas las cargas, la micro red puede exportar energía eléctrica a la red pública. De lo contrario, la micro red debe absorber la energía de la red pública. Al mismo tiempo, la batería se carga a través del convertidor bidireccional de CA/CC. Pero cuando la calidad y la confiabilidad de la energía eléctrica no pueden satisfacer la demanda de cargas debido a la falla de la red pública, la micro red se separará de la red y funcionará en modo aislado. En este modo, tanto los generadores distribuidos como los equipos de almacenamiento de energía suministran todas las cargas en la micro red. Si la capacidad de todos los generadores distribuidos no es suficiente para satisfacer la demanda de todas las cargas, algunas de las cargas que no sean importantes para la operación de la micro red deben ser desconectadas.

Las ventajas de la micro red de CA es que conservan la arquitectura original de la red pública de CA. Por lo tanto, se pueden conectar fácilmente generadores distribuidos de CA adicionales en sistemas de distribución local. Las metodologías y tecnologías para la protección y el control del sistema de CA son maduras y pueden implementarse fácilmente en micro redes y generadores distribuidos.

A su vez, las micro redes de CA tienen una desventaja en el inversor y el rectificador que se requieren para la conexión de fuentes de CC y cargas de CC, respectivamente. De acuerdo con Zhu et al. (2014), corrobora que *“la eficiencia se reduce de manera significativa debido a las conversiones inversas de etapas múltiples en la micro red.”*

Aplicación de micro red de CA en Colombia.

La empresa Codensa S.A. E.S.P. desarrolló un proyecto de micro red en el municipio de Paratebueno del departamento de Cundinamarca beneficiando a más de 20 familias que no contaban con suministro de energía eléctrica hasta el diciembre 2017. El sistema de micro red está compuesto por una planta de generación híbrida (Paneles Fotovoltaicos, baterías y respaldo un generador diésel) de 20 kW, con su respectiva red de distribución de media y baja tensión totalmente aislada de la red (SIN), con una extensión superior a 6 kilómetros. La generación de energía renovable se realiza a través de una granja solar conformada por 72 paneles de 310 Wp (Vatios pico), que adicional de cubrir las necesidades de las familias durante el día, alimenta un banco de baterías con capacidad de 2.267 Ah/día, diseñado para alcanzar una autonomía de 10 horas en las noches. Todo el sistema se complementa con un generador diésel de 18 kilovatios como respaldo; con lo cual se garantizará la confiabilidad del suministro en todas las viviendas durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana. (Codensa, 2018)

Estas familias pagan COP 32.000/mes a Codensa S.A. E.S.P. que es el equivalente a la tarifa mínima en estrato 2 en zonas interconectadas. A su vez, las familias y Codensa S.A. E.S.P. tienen contratos con cada usuario para restringir la dimensión de la carga a conectar. El CAPEX de la micro red fue de COP 720.000.000, 50% para generación y 50% para distribución (No incluye gestión predial debido a que el lote es arrendado y estos entran en los gastos de OPEX). La distribución del CAPEX es de la siguiente manera:

- Paneles solares: 30%.
- Baterías: 30%.
- Planta diésel: 15%.

- SPAT y obras civiles: 25%.

Para Codensa S.A. E.S.P., la solución de micro redes *Out of Grid* (en Zonas No Interconectadas - ZNI) no solo tiene un objeto social, sino que lo ven como una posible futura línea de negocio, reconociendo en todo caso que, para que esta sea viable, se requiere el apoyo regulatorio y financiero por parte del gobierno. Por ahora, están evaluando este modelo de negocio y el Proyecto de Paratebueno es un piloto de dicha evaluación.

Micro red de Corriente Continua – CC.

Las micro redes de CC aparecen en los últimos 20 años debido al rápido crecimiento de las cargas de CC y las fuentes de CC en los sistemas de distribución local. Los sistemas fotovoltaicos se usan ampliamente, al igual que las cargas de CC, como los LED y las computadoras. Las conversiones inversas multietapa para las cargas y fuentes de CC han mostrado algunas desventajas en la eficiencia de la micro red de CA. La ilustración 3 muestra la configuración típica de micro red de CC.

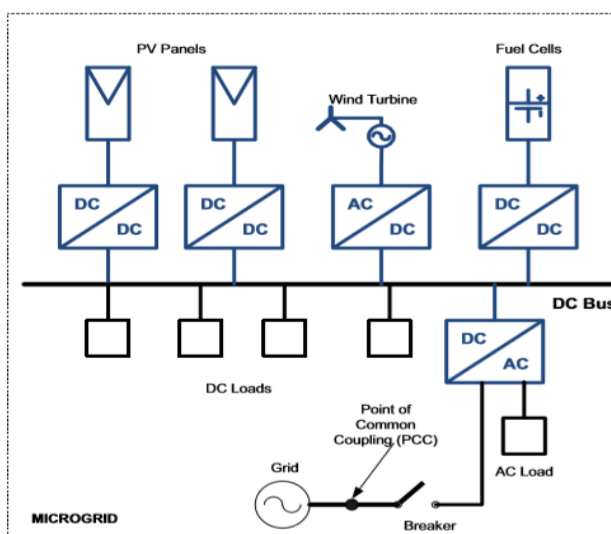


Ilustración 3 Micro red de CC.

Fuente: (Gaona et al., 2015).

El modo de operación de la micro red de CC es similar a la micro red de CA. Hay varias ventajas en comparación con la micro red de CA. Por una parte, los generadores distribuidos son fáciles de conectar a la barra de CC de la micro red. En general, solo necesita una conversión de CA/CC o CC/CC para conectar a la barra de CC. Por lo tanto, el costo y la pérdida del sistema se reduce en gran medida en comparación a la micro red de CA. Por otro lado, el control de la micro red de CC se basa en la tensión de la barra de CC, y el control del flujo de potencia depende de la corriente. Consecuentemente, el control de coordinación se realiza más fácilmente entre los generadores distribuidos.

De acuerdo con Zhu et al. (2014), el debate sobre el uso de CC como una alternativa de distribución de energía ha estado vigente durante décadas. Recientemente, se ha demostrado que una micro red de CC es más atractiva y ha ganado popularidad con respecto a la micro red de CA en sistemas industriales, edificios comerciales y aplicaciones residenciales como es el caso en Colombia.

Las ventajas de una micro red de CC, se pueden resumir como menciona el autor Zhu et al. (2014) de la siguiente manera:

- **Mejor compatibilidad:** las cargas eléctricas como la mayoría de las fuentes de energía renovables son de corriente continua.
- **Alta eficiencia:** las cargas y las fuentes de CC no requieren conversiones de CA/CC o CC/CA. Estas conversiones de potencia de varias etapas o multietapa en ambos extremos de oferta y demanda causan pérdidas eléctricas, por lo tanto, reducen la eficiencia del sistema.
- **Mejor estabilidad:** en un sistema de CC, la única cantidad eléctrica que se debe tener en cuenta es la tensión de la barra de CC. Por lo tanto, sin considerar la potencia reactiva, la

micro red de CC tiene una mejor estabilidad y menores pérdidas en comparación con la micro red de CA.

- **Mayor confiabilidad:** la mayoría de los componentes en la micro red de CC tienen un tiempo relativamente menor entre fallas, lo que indica una mayor confiabilidad.

En la literatura estudiada existe investigación y aplicaciones de micro redes de CC a nivel mundial a diferencia que en Colombia se tiene investigación, pero no existe una aplicación de este tipo de sistema en la actualidad.

Micro red híbrida de CA/CC.

Una micro red híbrida de CA/CC consiste en una barra de CA y una barra de CC. Cada barra tiene conectada sus propios generadores distribuidos, cargas y equipos de almacenamiento de energía. La barra de CA y la barra de CC están conectadas a través del convertidor de CA/CC bidireccional. La típica micro red híbrida de CA/CC se muestra en la ilustración 4.

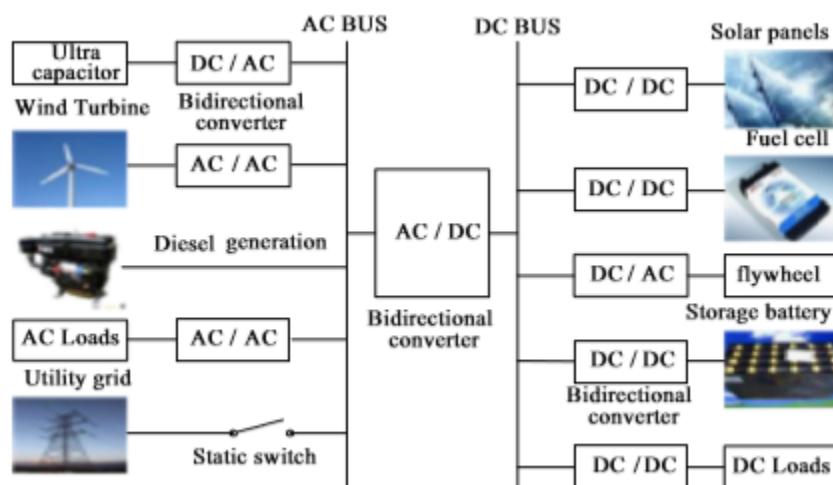


Ilustración 4 Micro red híbrida CA/CC.

Fuente: (Zhu et al., 2014).

Una micro red híbrida de CA/CC puede operar en dos modos. En modo conectado a la red, el convertidor bidireccional de CA/CC proporciona un voltaje estable en la barra de CC y una potencia reactiva requerida, que también se encarga de intercambiar potencia entre la micro red de CA y la micro red de CC. Cuando la potencia de salida de las fuentes de CC es mayor que las cargas de CC, el convertidor actúa como un inversor e inyecta potencia desde el lado de barra de CC al lado de la barra de CA. De lo contrario, el convertidor absorbe energía del lado de la barra de CA al de la barra de CC. Cuando la generación total de energía es mayor que la carga total en la red híbrida, inyectará energía a la red pública. De lo contrario, la red híbrida recibirá energía de la red eléctrica. En este modo, la batería no es muy importante porque la red de suministro equilibra la energía. En modo autónomo, la batería juega un papel muy importante para el equilibrio de potencia y la estabilidad del voltaje. De acuerdo con Zhu et al. (2014), para los objetivos de control para varios convertidores son enviados por el sistema de gestión de energía (EMS). La tensión de la barra de CC se mantiene estable mediante el convertidor conectado a la batería y no requiere de conversiones inversas multietapa, lo cual mejora la eficiencia del sistema de la micro red híbrida.

Como menciona anteriormente el autor, las conversiones de potencia múltiple se pueden reducir con la arquitectura de CA/CC híbrida propuesta.

Las ventajas del sistema híbrido que propone Zhu et al. (2014) son las siguientes:

- La eliminación de etapas de conversión de energía múltiple innecesarias beneficia una reducción de las pérdidas totales de conversión y el costo.
- La corriente armónica original en la red de CA se puede atenuar en la red de CC a través de los convertidores de interconexión, y el control de la compensación de armónicos sería más fácil debido a las grandes conexiones de carga de CC en la micro red de CC.

- La corriente de secuencia negativa y cero, que son causadas principalmente por cargas desbalanceadas en el sistema de CA, puede ser absorbida por la micro red de CC.

La investigación y el desarrollo de la micro red híbrida CA/CC en Colombia está en una etapa madura debido a los proyectos realizados por el IPSE en las ZNI como lo evidencia el autor Gaona et al. (2015).

Impactos legales y regulatorios de la implementación de micro redes

Considerando el origen de este análisis, es necesario desarrollar un acercamiento a la problemática desde una visión integrada de los aspectos técnicos y normativos, estrechamente relacionada con la naturaleza jurídica de ITCO y su objeto social.

El objeto de este análisis es determinar la posibilidad de ITCO en incursionar en actividades relacionadas con micro redes en el SIN y en las ZNI.

En este orden de ideas, el objeto social de ITCO, consistente en: “(...): 1) la prestación del servicio público de transmisión de energía eléctrica, de conformidad con lo establecido en las Leyes 142 y 143 de 1994 y las normas que las modifiquen o sustituyan, así como la prestación de servicios conexos, complementarios y los relacionados con tales actividades; 2) el desarrollo de actividades relacionadas con el ejercicio de la ingeniería, en los términos de la Ley 842 de 2003 y las normas que la modifiquen o sustituyan; y, 3) la prestación de servicios técnicos y no técnicos, relacionados o no con las anteriores actividades”.

Análisis en el Sistema Interconectado Nacional.

Las prohibiciones legales que se encuentran en el párrafo 3 del artículo 167 de la Ley 142 de 1994 y en el párrafo 3 del artículo 32 de la Ley 143 de 1994 para ISA, considerándolo como el transmisor nacional, así: *“La empresa encargada del servicio de interconexión nacional no podrá participar en actividades de generación, comercialización y distribución de electricidad”*. (Congreso Nacional de la República de Colombia – Ley 142 de 1994, 1994) (Congreso Nacional de la República de Colombia – Ley 143 de 1994, 1994)

Esta prohibición está dada por ley tanto en la Ley Eléctrica como en la Ley de Servicios Públicos, así:

1°) La prohibición está expresamente dirigida “a la empresa encargada del servicio de interconexión nacional”; y está dentro del contexto de la escisión de ISA. La prohibición no se hace extensiva a “todas las empresas encargadas de la interconexión nacional”, ni a empresas que tengan o tuviesen vinculación con ISA, sólo a ISA.

En estricto sentido y mirando la norma de manera exegética, como se señaló anteriormente, la prohibición está dirigida exclusivamente a ISA considerada en la norma como la empresa encargada de la interconexión nacional; si se considera que ITCO, es una filial de ISA, no es ISA, es una empresa autónoma, con el control propio de una empresa que hace parte de un grupo empresarial y que además fue constituida con posterioridad a la entrada en vigencia de la Ley 143 de 1994, no hay ninguna razón que justifique hacerle extensiva la prohibición.

Además, se considera que se trata de una prohibición y que las normas restrictivas no admiten una interpretación extensiva o analógica, podría afirmarse que la prohibición está dada por Ley a ISA y por esta razón no podría extenderse a ITCO.

Con relación a este punto, el Consejo de Estado en Sentencia 16.257 de 2007, sobre el Parágrafo 3° del artículo 32 de la Ley 143 de 1994, señaló:

“Los parágrafos 3° y 5° del artículo 32 de la Ley 143, el artículo 32 de la Ley 143, en consonancia con el artículo 167 de la Ley 142, autorizó al Gobierno Nacional para modificar el objeto social de Interconexión Eléctrica S.A. que en lo sucesivo será el de atender la operación y mantenimiento de la red de su propiedad, la expansión de la red nacional de interconexión, la planeación y coordinación de la operación del sistema interconectado nacional, SIN; al mismo

tiempo dicho texto legal autorizó al Gobierno Nacional para organizar a partir de los activos de generación que entonces poseía Interconexión Eléctrica S.A. una nueva empresa (Isagen) dedicada a la generación de electricidad. Con esta perspectiva, el parágrafo tercero de la norma en comento ordenó: “[l]a empresa encargada del servicio de interconexión nacional, no podrá participar en actividades de generación, comercialización y distribución de electricidad”. Nótese que el canon legal alude claramente a ISA, lo cual reitera el precepto en los párrafos siguientes: el cuarto al referirse a su planta de personal y el parágrafo sexto que vuelve sobre la modificación del objeto social de la misma. El mismo precepto en su parágrafo 3º reproduce el contenido normativo del parágrafo 3º del artículo 32 de la Ley 143 así:

PAR. 3º—La empresa encargada del servicio de interconexión nacional no podrá participar en actividades de generación, comercialización y distribución de electricidad.” (Consejo de Estado de Colombia, 2007)

“De modo que la prohibición especial se predica tan solo de ISA, es esta empresa la que no puede participar en actividades de generación, comercialización y distribución de electricidad como lo establece el parágrafo 3º del artículo 32 de la Ley 143. En idéntico sentido, la doctrina también ha puesto de relieve que la prohibición de integración vertical contenida en el parágrafo 3º del artículo 32 de la Ley 143 alude exclusivamente a ISA y que no puede aplicarse por extensión a otros prestadores de servicios públicos domiciliarios:

En la nueva etapa del sector, que se inició en 1991, el legislador facultó al Gobierno Nacional para reestructurar a ISA, teniendo en cuenta la nueva orientación del mercado eléctrico (...). También está facultada para prestar servicios técnicos en actividades relacionadas con su objeto social. ISA no está facultada para participar en las actividades de generación, comercialización y distribución de energía eléctrica. Las actividades de generación de energía

que desarrolló hasta entonces, fueron asignadas a una nueva empresa, Isagen, (...). Con la separación de las actividades de generación y de transmisión, también se buscó promover la competencia en la actividad de generación, ya que la transmisión de electricidad es una actividad en monopolio natural, cuya competencia se da por la construcción, administración, operación y mantenimiento.” (Consejo de Estado de Colombia, 2007)

“En la misma línea, otros autores al estudiar el tratamiento que la Ley 143 dio a las concentraciones empresariales y en particular al límite vertical sostienen que el párrafo 3° del artículo 32 establece una prohibición especial para ISA, no extensiva a los demás transmisores, en tanto a estos se les aplica lo dispuesto por el artículo 74 eiusdem que impone una restricción al objeto social solo a partir de la vigencia de la Ley 143 para los nuevos operadores:

- i) El párrafo 3° del artículo 32 de la Ley 143 establece limitación de concentración vertical. La empresa encargada del servicio de interconexión nacional no podrá participar en actividades de generación, comercialización y distribución de electricidad. Esta norma establece una prohibición especial a ISA como transmisor nacional. A las demás empresas que se constituyan como transmisor nacional se les aplica la prohibición de integración vertical del artículo 3° de la Resolución 1 de 1994 de la CREG, que establece que las empresas que se constituyan a partir de la vigencia de la Ley 143 de 1994 no podrán realizar simultáneamente actividades de generación, transmisión o distribución, salvo la excepción prevista en el artículo 74 de la referida ley. En nuestro criterio, debe entenderse que esta limitación está orientada a imponer restricciones al objeto social, esto es, no se puede realizar más de un objeto social diferente al de transmisor nacional. En la realidad existen algunas empresas que desarrollan las actividades de generación, transmisión y*

distribución como objeto social dentro de una misma unidad jurídica, facultadas por el artículo 74 que consagró la posibilidad de conservar la estructura integrada para las empresas que venían actuando antes de la Ley 143.

- ii) *Que, (...), es preciso añadir que la medida enjuiciada no es tampoco —como pretende la accionada— reproducción a nivel regulatorio de lo previsto por el párrafo 3° del artículo 31 de la Ley 143, puesto que dicha preceptiva como se expuso si bien señala una limitación a participar en actividades de generación, comercialización y distribución de electricidad alude exclusivamente a ISA y ahora a la empresa que la sustituyó en la administración del centro nacional de despacho.”*
(Consejo de Estado de Colombia, 2007)

En este orden de ideas, haciendo alusión a esta sentencia y a la calidad de las normas prohibitivas, se puede afirmar que las restricciones legales fueron impuestas a las empresas creadas con posterioridad a la entrada en vigencia de las Leyes 142 y 143 de 1994, como ITCO; pero a esta le aplicaría sin lugar a dudas las limitaciones señaladas en el artículo 74 de la Ley 143 de 1994, consistente en que dichas empresas no pueden tener más de una actividad relacionada con el servicio público de electricidad.

Análisis en las Zonas No Interconectadas.

En las Zonas No Interconectadas conforme a la Sentencia 16.257, el Consejo de Estado manifestó:

“El artículo 74 de la Ley 143 en el marco del contexto legal antes expuesto, el capítulo XIII de la Ley 143 que contiene las disposiciones finales de la Ley 143 se ocupa de señalar en el artículo 74 que: Las empresas que se constituyan con posterioridad a la vigencia de esta ley con el

objeto de prestar el servicio público de electricidad y que hagan parte del sistema interconectado nacional no podrán tener más de una de las actividades relacionadas con el mismo con excepción de la comercialización que puede realizarse en forma combinada con una de las actividades de generación y distribución.” (Consejo de Estado de Colombia, 2007)

A su vez, establece el Consejo de Estado en la sentencia mencionada anteriormente que la aplicación de la restricción de la que hace mención el artículo 74 de la ley 143 de 1994, es:

“En cuanto hace al primer presupuesto reseñado, la norma en comento establece tres condiciones: i) que se trate de empresas que tengan por objeto prestar el servicio público de electricidad; ii) que se constituyan con posterioridad a la vigencia de la Ley 143 y iii) que hagan parte del sistema interconectado nacional, esto es, la norma no aplica a las empresas que prestan el servicio en zonas no interconectadas, ZNI.” (Consejo de Estado de Colombia, 2007)

En las ZNI, la prestación del servicio se hace principalmente mediante plantas de generación diésel, paneles solares y pequeñas centrales hidroeléctricas. Las micro redes, se han identificado como una alternativa para suministrar energía eléctrica a personas que aún no cuentan con este servicio y viven en zonas alejadas al SIN.

En Colombia, se ha expuesto la posibilidad de implementar micro redes utilizando FNCER para prestar el servicio de energía eléctrica en las ZNI. Actualmente en el país existen 11 micro redes en operación (Gaona et al., 2015) y, sin embargo, no existe regulación técnica para la construcción las mismas.

La Resolución CREG 038 de 2018, regula aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña y gran escala en las ZNI, aplica a autogeneradores y a todas las personas, que estando organizadas en alguna de las formas dispuestas en el Título I de la

Ley 142 de 1994 (art. 15 y sts), que desarrollan actividades de generación, distribución y/o comercialización de energía eléctrica en Zonas No Interconectadas.

Sin embargo, cuando hace referencia al Contrato de Conexión en ZNI, lo define como el

“acuerdo de voluntades celebrado entre el distribuidor y el generador distribuido o autogenerador para regular las relaciones técnicas, operativas, administrativas, comerciales y jurídicas que se deriven de la conexión al Sistema de Distribución en las zonas no interconectadas”. (CREG – R.CREG 038 de 2018, 2018)

Considerando que el Sistema de Distribución en ZNI, está compuesto por un *“conjunto de redes físicas de uso público que transportan energía eléctrica desde la barra de un generador hasta el punto de derivación de las acometidas de los inmuebles, sin incluir su conexión y medición. No se incluyen los transformadores elevadores ni servicios auxiliares del Generador”* (CREG – R.CREG 091 de 2007, 2007), es decir, un Sistema de Distribución en ZNI consiste desde una planta de generación de energía de cualquier tipo de tecnología (FNCER y FCE) donde la energía que produce es llevada hasta una subestación de baja tensión que usualmente está cerca al generador y luego desde esta subestación se distribuye la energía hasta el punto de consumo de los usuarios finales (escuelas, hogares, pequeñas industrias, hospitales, etc), sin incluir su conexión y medición del usuario final. Tampoco incluye los transformadores elevadores ni servicios auxiliares del Generador.

De acuerdo con la Sentencia del Consejo de Estado, ITCO podría prestar el servicio de energía eléctrica en ZNI. También, la CREG afirma en su página web, en relación con las ZNI: *“Las empresas prestadoras del servicio público de energía eléctrica localizadas en las ZNI pueden desarrollar, en forma integrada, las actividades de generación, distribución y comercialización (artículo 74 de la Ley 143 de 1994)”*.

No obstante, se encontró en el Artículo 2.2.3.3.2.2.3.1. *Expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en zonas aisladas* del Decreto MME 1623 de 2015, el cual establece que la ampliación de cobertura del servicio de energía eléctrica a usuarios a quienes no sea económicamente eficiente conectar al SIN, se realizará mediante soluciones aisladas centralizadas o individuales y micro-redes, las cuales serán construidas y operadas principalmente por OR del SIN, a través de esquemas empresariales tales como las Áreas de Servicio Exclusivo (art. 65 Ley 1151 de 2007, art. 114 Ley 1450 de 2011); es decir, procesos de convocatoria (cuando hay recursos FAZNI), donde se definen las calidades de los participantes, entre otros.

Aspectos financieros y económicos a considerar al implementar micro redes

Con el objetivo de realizar una correcta identificación de los aspectos económicos y financieros concernientes a la ejecución de un proyecto de micro redes por parte de ITCO en las ZNI, es pertinente realizar la definición de los estudios financiero y económico entendidos desde el punto de vista de la Evaluación de Proyectos.

De acuerdo con Rojas, Álvarez & Mesa (2007), la metodología básica necesaria para la formulación y evaluación de proyectos, se fundamenta en los conceptos clásicos aceptados a nivel nacional e internacional y tiene como objetivo brindar al interesado los pasos mínimos que debe seguir en un proceso de formulación de proyectos. A su vez, el autor define la evaluación de proyectos como un área que cualquier profesional debe conocer, porque es parte del desarrollo profesional y personal, definiendo la evaluación de proyectos como compra de certidumbre.

“La definición de "evaluación" propuesta por la UNICEF señala que el proceso evaluativo consiste en un ejercicio de análisis de la pertinencia, eficacia, eficiencia e impacto del proyecto a la luz de determinados objetivos específicos". Así la evaluación recopila información relevante para el análisis del proyecto desde la perspectiva de diversos objetivos.” (Rojas et al., 2007)

Siguiendo la línea de la metodología de evaluación de proyectos son necesarios ocho estudios que se deben realizar para la ejecución de un proyecto, estos son:

- Estudio legal.
- Estudio de mercado.
- Estudio del entorno.
- Estudio técnico.

- Estudio administrativo.
- Estudio socio-económico.
- Estudio ambiental.
- Estudio financiero.

En particular, los estudios que comúnmente se hacen al evaluar un proyecto son seis que comprende la viabilidad legal, comercial, técnica, de gestión, de impacto ambiental y financiera, esto aplica para un inversionista privado como es el caso de ITCO.

En el presente documento se consideran importantes los estudios financieros y económicos dada la característica del proyecto a desarrollar debido a que permite identificar los aspectos que se deben contemplar en la evaluación de la ejecución de un proyecto de micro redes por parte de ITCO.

A continuación, se explica la naturaleza de estos estudios en conjunto con las conclusiones que se pueden obtener a partir de su realización por parte de ITCO en las ZNI.

El estudio financiero.

“Este estudio (...) busca establecer información relevante acerca de aspectos como las posibles fuentes y los costos del financiamiento, tanto interno, como externo, y los criterios para el manejo de excedentes. También puede dar recomendaciones sobre el manejo de depreciaciones y establecer criterios para definir los costos de oportunidad de los recursos del inversionista, y los costos que pueden clasificarse como muertos. En general, generará información básica para la evaluación financiera.” (Corporación Universitaria del Caribe, 2006)

El estudio socioeconómico.

“Consiste en un estudio que recoge información relevante acerca de los diferentes aspectos relacionados con las condiciones sociales de los grupos afectados por el proyecto y los impactos en el bienestar que pueda causar el mismo. Básicamente está dirigido a identificar y caracterizar claramente los distintos grupos de población que se ven implicados por el proyecto, tanto por el lado de los beneficios como por el lado de los costos. Adicionalmente, estudia las características del comportamiento de los afectados en los mercados de los diferentes bienes y servicios involucrados en la ejecución de un proyecto.” (Corporación Universitaria del Caribe, 2006)

Principales diferencias entre la visión financiera y la económica.

“La óptica desde donde se observa los valores del dinero es diferente, no es lo mismo el análisis desde el punto de vista económico que desde el punto de vista contable. Existen diferencias importantes como es el manejo del dinero en el tiempo.” (Rojas et al., 2007)

En la tabla 1 se observa la diferencia entre visión contable y visión económica.

Visión Contable	Visión Económica
Registro histórico de lo sucedido	Proyección de lo que va a suceder
Resultado de políticas y decisiones previas	Resultado de políticas y decisiones que van a tomarse
Valor histórico	Valor corriente
Generalmente causación	Caja, flujo de efectivo
Suma algebraica y comparación directa de dineros en diversas posiciones en el tiempo	Suma algebraica y comparación directa solo de dineros en la misma posición en el tiempo

Los dineros se movilizan en el tiempo sin ninguna transformación	Necesidad de mecanismos para movilizar dineros en el tiempo
--	---

Tabla 1 Visión contable vs Visión económica.

Fuente: (Rojas et al., 2007).

En este orden de ideas, es oportuno dejar claro desde el punto de vista de la evaluación de proyectos los aspectos que caracterizan los dos tipos de evaluación anteriormente citados. El entendimiento de los factores enunciados en la tabla 2 dará una idea acerca de qué parámetros son propios de cada tipo de evaluación y la forma como se pueden medir.

	Financiera	Económica	Social
Punto de vista	Inversionista, estado y beneficiarios	Colectividad nacional	Colectividad nacional
Objetivo	Maximizar rendimiento financiero	Maximizar aporte de los proyectos al bienestar	Maximizar aporte de los proyectos al bienestar social
Criterios	VPN, TIR	VPNE	Beneficio neto social
Precios	Mercado	De eficiencia	Ponderados
Tasa	De interés de oportunidad	Social de descuento	Social de descuento

Tabla 2 Tipos de evaluaciones.

Fuente: (Rojas et al., 2007).

Es importante para ITCO y para el lector que haga un especial énfasis en las características del proyecto que contempla ejecutar, debido a que como se ha consultado en la literatura y se ha desarrollado en el presente documento, el interés de quienes ejecutan y apalancan el proyecto condicionará la forma en la cual se debe evaluar la pertinencia del proyecto, es decir, si el mismo

tiene una naturaleza cuyo interés está más relacionado con un espectro financiero o si por el contrario tiene características más relacionadas con matices socioeconómicas. Teniendo en cuenta que algunas de las características de las ZNI son zonas de baja densidad poblacional, bajo nivel de consumo promedio de energía eléctrica, baja capacidad de pago por parte de los usuarios, bajo nivel de recaudo de la cartera de las empresas, altos costos de prestación de servicio de energía eléctrica y presencia de territorios colectivos de comunidades étnicas y las dificultades de acceso debido al relieve, ITCO debería desarrollar el modelo de negocio de una micro red enfocado al impacto socioeconómico debido a que la comunidad tendría por parte de ITCO el beneficio del servicio público de energía eléctrica al implementar de este tipo de sistema, mejorando el desarrollo local y la calidad de vida de las personas pertenecientes a esa comunidad y por esta razón, ITCO no debería llevar a cabo este proyecto desde el punto de vista financiero debido a que las características propias de las ZNI y los altos costos de la tecnología que se utiliza para implementar una micro red no permite que el modelo financiero tenga una rentabilidad positiva sino una rentabilidad negativa o pérdidas para la empresa.

Conclusiones

Se identificó que, en el marco legal y regulatorio vigente en Colombia, no existe la definición de micro red. A su vez, no hay una metodología aun establecida por parte del MME, UPME o CREG para implementar un sistema de micro red y proponen que es una buena opción para desarrollar en las ZNI y en las zonas aisladas que son cercanas al SIN pero que financiera y económicamente no son viables para extender las redes del SIN debido a la poca densidad poblacional de estas comunidades.

En el SIN, haciendo alusión a la sentencia 16.257 del Consejo de Estado y a la calidad de las normas prohibitivas, se podría afirmar que las restricciones legales a las empresas creadas con posterioridad a la entrada en vigencia de las Leyes 142 y 143 de 1994, como ITCO, le aplicaría las limitaciones señaladas en el artículo 74 de la Ley 143 de 1994, consistente en que dichas empresas no pueden tener más de una actividad relacionada con el servicio público de electricidad y teniendo en cuenta la definición planteada de micro red, ITCO no puede implementar los sistemas de micro redes con FNCER como un nuevo modelo de negocio.

En las ZNI, haciendo alusión a la Sentencia 16.257 del Consejo de Estado y a la afirmación de la CREG en su página web en relación con las ZNI: “Las empresas prestadoras del servicio público de energía eléctrica localizadas en las ZNI pueden desarrollar, en forma integrada, las actividades de generación, distribución y comercialización (artículo 74 de la Ley 143 de 1994)” y teniendo en cuenta la definición planteada de micro red, ITCO puede implementar sistemas de micro redes con FNCER como un nuevo modelo de negocio.

Es importante desde la metodología de evaluación de proyectos hacer énfasis en las características del proyecto debido a que realizar un adecuado estudio financiero y económico

permitirá apalancar el proyecto de micro red en ITCO y condiciona la forma en la cual se debe evaluar la pertinencia del proyecto, es decir, si el mismo tiene una naturaleza cuyo interés está más relacionado con el impacto financiero o por el contrario tiene características más relacionadas con matices socioeconómicas. Teniendo en cuenta que algunas de las características de las ZNI son zonas de baja densidad poblacional, bajo nivel de consumo promedio de energía eléctrica, baja capacidad de pago por parte de los usuarios, bajo nivel de recaudo de la cartera de las empresas, altos costos de prestación de servicio de energía eléctrica y presencia de territorios colectivos de comunidades étnicas y las dificultades de acceso debido al relieve, ITCO debería desarrollar el modelo de negocio de una micro red enfocado al impacto socioeconómico debido a que la comunidad tendría por parte de ITCO el beneficio del servicio público de energía eléctrica al implementar de este tipo de sistema, mejorando el desarrollo local y la calidad de vida de las personas pertenecientes a esa comunidad y por esta razón, ITCO no debería llevar a cabo este proyecto desde el punto de vista financiero debido a que las características propias de las ZNI y los altos costos de la tecnología que se utiliza para implementar una micro red no permite que el modelo financiero tenga una rentabilidad positiva sino una rentabilidad negativa o pérdidas para la empresa.

Bibliografía

- Alcaín, G. B. (Septiembre de 2016). Recuperado el 21 de Marzo de 2017, de <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/31939/retrieve>
- Alireza Haghghat Mamaghani, S. A. (2016). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 293-305.
- Codensa. (20 de Marzo de 2018). *Codensa inaugura primer proyecto de generación y distribución de energía renovable en Cundinamarca*. Obtenido de Codensa S.A. E.S.P.: <http://corporativo.codensa.com.co/ES/PRENSA/COMUNICADOS/Paginas/Codensainauguraprimeryproyectedegeneracionydistribuciondeenergiasrenovablesencundinamarca.aspx>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (1994). *R. CREG 001 de 1994*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de CREG: <http://apolo.creg.gov.co/Publicacion.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/8c47ad59cd10d0650525785a007a645b?OpenDocument>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (1997). *R. CREG 031 de 1997*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de CREG: <http://apolo.creg.gov.co/Publicacion.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/33253893deaed5f0525785a007a5ec3?OpenDocument>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2007). *R. CREG 091 de 2007*. Recuperado el 6 de Julio de 2018, de CREG: <http://apolo.creg.gov.co/Publicacion.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/0816582ddafcf8110525785a007a6fa4?OpenDocument>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2008). *R. CREG 161 de 2008*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de CREG: <http://apolo.creg.gov.co/Publicacion.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/734deec84e462430525785a007a70f3?OpenDocument>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2016). *R. CREG 076 de 2016*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de CREG: <http://apolo.creg.gov.co/Publicacion.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/3fbbaf30a1753052580340058507f?OpenDocument>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (1 de 03 de 2018). *R. CREG 030 de 2018*. Obtenido de CREG: <http://apolo.creg.gov.co/Publicacion.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191?OpenDocument>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (7 de Julio de 2018). *R. CREG 038 de 2018*. Obtenido de CREG:

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/71e64d5b21da40e8052582830078b66e/\\$FILE/Creg038-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/71e64d5b21da40e8052582830078b66e/$FILE/Creg038-2018.pdf)

Comisión de Regulación Energía y Gas. (1998). *R. CREG 070 de 1998*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de CREG:
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/d893dffa93e1ea30525785a007a6245?OpenDocument>

Comisión de Regulación Energía y Gas. (2009). *R. CREG 011 de 2009*. Recuperado el 15 de marzo de 2018, de CREG:
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/5c87ddb1548b96730525785a007a7126?OpenDocument>

Congreso de Colombia. (1994). *Ley 143 de 1994*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de MME:
<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/21443-3668.pdf>

Congreso de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de MME: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/22602-11506.pdf>

Congreso Nacional de la República de Colombia. (1994). *Ley 142 de 1994*. Recuperado el 6 de Julio de 2018, de MME: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/21435-3670.pdf>

Congreso Nacional de la República de Colombia. (1994). *Ley 143 de 1994*. Recuperado el 7 de Julio de 2018, de MME: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/21443-3668.pdf>

Consejo de Estado de Colombia. (2007). *Sentencia 16.257 de 2007*. Recuperado el 7 de Julio de 2018, de Consejo de Estado de Colombia.

CORPOEMA. (30 de Diciembre de 2010). *Unidad de Planeación Minero Energética*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de UPME:
http://www.upme.gov.co/sigic/documentos/vol_1_plan_desarrollo.pdf

Corporación Universitaria del Caribe. (2006). Obtenido de CECAR.

Do, J. C.-P. (2016). *Process and Features of Smart Grid, Micro Grid and Super Grid in South Korea*. Science Direct.

Dohn, R. L. (2011). *The business case for microgrids*. Siemens.

E.E. Gaona, C. T. (Noviembre de 2015). Rural microgrids and its potential application in Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125-137. Recuperado el 15 de Marzo de 2018

Energía, M. d. (15 de Marzo de 2018). *Ministerio de Minas y Energía de Colombia*. Obtenido de MinMinas: <https://www.minminas.gov.co/ministerio>

Estados de Excepción/Emergencia Social/Sistema Eléctrico- Crisis/Hecho sobreviniente, 447 (La Corte Constitucional de Colombia 9 de Julio de 1992).

- François Borghese, K. C. (2017). *Microgrid Business Models and Value Chains*. Schneider Electric.
- Girma, Z. (10 de Septiembre de 2013). Technical and Economic Assessment of solar PV/diesel Hybrid Power System for Rural School Electrification in Ethiopia. *International Journal of Renewable Energy Research*, 735-744.
- Heetae Kim, J. B. (2017). Comparative Analysis between the Government Micro-Grid Plan and Computer Simulation Results Based on Real Data: The Practical Case for a South Korean Island. *Sustainability*.
- industria, E. (20 de Marzo de 2018). *Energías revoables convencionales y no convencionales*. Obtenido de Electro Industria: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=263>
- International Electrotechnical Commision. (18 de Mayo de 2017). *IEC TS 62898-1 - Microgrids- Part 1: Guidelines for microgrid projects planning and specification*. Recuperado el 14 de Marzo de 2018, de IEC.
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de MME: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180//23517//36632-Decreto-1623-11Ago2015.pdf>
- Pulido Martinez, P. C. (2017). *Apoyo a la Gestión Regulatoria para la Inclusión de FNCER al Sistema de Transmisión Nacional y Seguimiento a los Cambios Regulatorios de Impacto para INTERCOLOMBIA*. Medellín: ISA-INTERCOLOMBIA.
- Restrepo Acosta, N. (2017). *Apoyo a la Gestión Regulatoria de INTERCOLOMBIA en la Construcción de una Propuesta de Ajustes al Procedimiento de Conexión de proyectos de Generación a las Redes, con base a la Experiencia de Otros Países*. Medellín: ISA-INTERCOLOMBIA.
- Rojas López, M., Álvarez, A., & Mesa, H. (2007). *Evaluación de proyectos para ingenieros*.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (Julio de 2004). *Unidad de Planeación Miner Energética*. Obtenido de UPME: http://www.upme.gov.co/Docs/Vision_Mercado_Electrico_Colombiano.pdf
- Unidad de Planeación Minero Energética. (Abril de 2016). *Smart Grids Colombia 2030 - Parte II Mapa de Ruta: Construcción y Resultados (Componente I)*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de UPME: http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Smart%20Grids%20Colombia%20Visi%C3%B3n%202030/2_Parte2_Proyecto_BID_Smart_Grids.pdf
- XM, compañía de expertos en mercados. (15 de Marzo de 2018). *Glosario del sitio web de XM*. Obtenido de XM: <http://www.xm.com.co/corporativo/Paginas/Herramientas/glosario.aspx>

Zhu, X., Han, X.-q., Qin, W.-p., & Wang, P. (1 de Noviembre de 2015). Past, today and future development of micro-grids in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 1453-1463.

Glosario

Áreas de Servicio Exclusivo (ASE): Por motivos de interés social y con el propósito de que la cobertura de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, saneamiento ambiental, distribución domiciliaria de gas combustible por red y distribución domiciliaria de energía eléctrica, se pueda extender a las personas de menores ingresos, la entidad o entidades territoriales competentes, podrán establecer mediante invitación pública, áreas de servicio exclusivas, en las cuales podrá acordarse que ninguna otra empresa de servicios públicos pueda ofrecer los mismos servicios en la misma área durante un tiempo determinado. Los contratos que se suscriban deberán en todo caso precisar el espacio geográfico en el cual se prestará el servicio, los niveles de calidad que debe asegurar el contratista y las obligaciones del mismo respecto del servicio. También podrán pactarse nuevos aportes públicos para extender el servicio. (Congreso de Colombia, 1994)

Autogeneración: Es aquella realizada por personas naturales y/o jurídicas para atender sus propias necesidades. Los excedentes de tal actividad pueden entregarse a la Red en los términos que establezca la CREG. (Congreso de Colombia, 2014)

Autogenerador a gran escala: Un autogenerador tiene la categoría de gran escala si la potencia máxima supera el límite para los generadores a pequeña escala establecido por la Resolución UPME 281 de 2015 o aquella que la modifique o sustituya. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018)

Autogenerador a pequeña escala (AGPE): Autogenerador con potencia instalada igual o inferior al límite definido en el artículo primero de la Resolución UPME 281 de 2015 o aquella que la modifique o sustituya. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018)

Bolsa de Energía: Sistema de información sometido a las reglas del Reglamento de Operación, en donde los generadores y comercializadores del mercado mayorista ejecutan actos de intercambio de ofertas y demandas de energía, hora a hora, para que el ASIC ejecute los contratos resultantes en la Bolsa de Energía, y liquide, recaude y distribuya los valores monetarios correspondientes a las partes y a los transportadores (XM, compañía de expertos en mercados, 2018).

Centro Regional de Despacho (CRD): Centros responsables de la planeación eléctrica de corto plazo, coordinación, supervisión y control de la operación de las redes, subestaciones y plantas de generación que se encuentren bajo su cobertura, coordinando la operación y maniobras de esas instalaciones, con sujeción a las instrucciones impartidas por el CND y teniendo como objetivo una operación segura y confiable del SIN, con sujeción a la reglamentación vigente y los acuerdos del CNO (XM, compañía de expertos en mercados, 2018).

Código de Redes (CR): Conjunto de reglas expedidas por la CREG, a las cuales deben someterse las empresas de servicios públicos del sector y los usuarios conectados al Sistema Interconectado Nacional. Está conformado por los códigos de: Planeamiento de la expansión del

Sistema de Transmisión Nacional, Conexión, Operación y Medida (XM, compañía de expertos en mercados, 2018).

Comercializador de Energía Eléctrica: Persona natural o jurídica que comercializa electricidad, bien como actividad exclusiva o en forma combinada con otras actividades del sector eléctrico, cualquiera de ella sea la actividad principal. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 1997)

Comercializador: Persona jurídica que desarrolla la actividad de Comercialización en las ZNI. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 1997)

Contratos de Largo Plazo: Contrato de compra venta de energía celebrado entre agentes comercializadores y generadores que se liquida en la Bolsa de Energía, para lo cual debe tener como contenido mínimo: la identidad de las partes contratantes; reglas o procedimientos claros para determinar hora a hora, durante la duración del contrato, las cantidades de energía a asignar y el respectivo precio, en forma consistente con los procedimientos de la liquidación (XM, compañía de expertos en mercados, 2018).

Despacho: Proceso de planeación, programación, supervisión y control de la operación integrada del SIN, a cargo del CND en coordinación con los CRD y las empresas, que se realiza siguiendo los criterios y procedimientos establecidos en el Reglamento de Operación, el CR y los acuerdos del CNO (XM, compañía de expertos en mercados, 2018).

Distribución de energía eléctrica: es el transporte de energía eléctrica a través de redes físicas, desde la barra de entrega de energía al sistema de distribución, hasta la conexión de un usuario, de conformidad con el numeral 14.25 de la Ley 142 de 1994. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2016)

Distribuidor Local: Persona natural o jurídica que opera y transporta energía eléctrica en un sistema de distribución local. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 1994)

Energía de Biomasa: Es cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos (CORPOEMA, 2010).

Energía de los mares: Es la energía que puede obtenerse de los fenómenos naturales marinos como lo son las mareas, el oleaje, las corrientes marinas, los gradientes térmicos oceánicos y los gradientes de salinidad, entre otros (Congreso de Colombia, 2014).

Energía eólica: Es la energía que puede obtenerse de las corrientes de viento (CORPOEMA, 2010).

Energía geotérmica: Es la energía que puede obtenerse del calor del subsuelo terrestre (CORPOEMA, 2010).

Energía solar: Es la energía transportada por las ondas electromagnéticas provenientes del sol (CORPOEMA, 2010).

Frontera comercial: El punto de conexión de generadores y comercializadores a las redes del Sistema de Transmisión Nacional, a los Sistemas de Transmisión Regional y a los Sistemas de Distribución Local. Sólo define el punto de medición, pero no la responsabilidad por las pérdidas en los sistemas de transmisión y distribución. (XM, compañía de expertos en mercados, 2018)

Generación de energía eléctrica: producción de energía eléctrica a partir de cualquier tipo de fuente (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2016)

Generador de Energía Eléctrica: persona jurídica que se encarga de toda o parte de la capacidad de un sistema de generación para producir energía eléctrica empleando cualquier tipo de fuente. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2016)

Generador distribuido (GD): Persona jurídica que genera energía eléctrica cerca de los centros de consumo, y está conectado al Sistema de Distribución Local y con potencia instalada menor o igual a 0.1 MW. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018)

Mercado de Energía Mayorista (MEM): Es el mercado de grandes bloques de energía eléctrica, en que generadores y comercializadores venden y compran energía y potencia en el Sistema Interconectado Nacional, con sujeción al reglamento de operación (Congreso de Colombia, 1994).

Operador de Red (OR): Es la persona encargada de la planeación de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un STR o SDL; los activos pueden ser de su propiedad o de terceros. Para todos los propósitos son las empresas que tienen Cargos por Uso de los STR's y/o SDL's aprobados por la CREG. El OR siempre debe ser una Empresa de Servicios Públicos. (Comisión de Regulación Energía y Gas, 1998)

Pequeños aprovechamientos hidroeléctricos: Es la energía potencial de un caudal hidráulico en un salto determinado que no supere el equivalente a los 10 MW (CORPOEMA, 2010).

Reglamento de Operación (RO): Conjunto de principios, criterios y procedimientos establecidos para realizar el planeamiento, la coordinación y la ejecución de la operación del Sistema Interconectado Nacional y para regular el funcionamiento del mercado mayorista de energía eléctrica (XM, compañía de expertos en mercados, 2018).

Sistema de Distribución Local (SDL): Sistema de transmisión de energía eléctrica compuesto por redes de distribución municipales o distritales; conformado por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV que no pertenecen a un Sistema de Transmisión Regional por estar dedicadas al servicio de un sistema de distribución municipal, distrital o local (XM, compañía de expertos en mercados, 2018).

Sistema de Transmisión Nacional (STN): Es el Sistema Interconectado de Transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, con sus correspondientes módulos de conexión, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV (XM, compañía de expertos en mercados, 2018).

Sistema de Transmisión Regional (STR): Sistema Interconectado de Transmisión de energía eléctrica compuesto por redes regionales o interregionales de transmisión; conformado por el

conjunto de líneas y subestaciones con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV y que no pertenecen a un Sistema de Distribución Local (XM, compañía de expertos en mercados, 2018).

Sistema Interconectado Nacional (SIN): Es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios (XM, compañía de expertos en mercados, 2018).

Sistemas de suministro de energía de emergencia: Son aquellas plantas, unidades de generación o sistemas de almacenamiento de energía que utilizan los usuarios para atender parcial o totalmente su consumo en casos de interrupción del servicio público de energía eléctrica y tienen un sistema de transferencia manual o automático de energía o algún sistema que garantiza la no inyección de energía eléctrica en la red. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018)

Transmisión de Energía Eléctrica. Es la actividad consistente en el transporte de energía eléctrica por sistemas de transmisión y la operación, mantenimiento y expansión del Sistema de Transmisión Nacional. (Comisión de Regulación Energía y Gas, 2009)

Transmisor Nacional (TN): Persona que opera y transporta energía eléctrica en el Sistema de Transmisión Nacional o que ha constituido una empresa cuyo objeto es el desarrollo de dichas actividades. (Comisión de Regulación Energía y Gas, 1998)

Transmisor Regional (TR). Persona que opera y transporta energía eléctrica en un Sistema de Transmisión Regional o que ha constituido una empresa cuyo objeto es el desarrollo de dichas actividades. (Comisión de Regulación Energía y Gas, 1998)

Usuario no regulado: Persona natural o jurídica, con una demanda máxima superior a 2 MW por instalación legalizada, cuyas compras de electricidad se realizan a precios acordados libremente y podrá ser revisada por la CREG (Congreso de Colombia, 1994).

Usuario regulado: Persona natural o jurídica cuyas compras de electricidad están sujetas a tarifas establecidas por la CREG (Congreso de Colombia, 1994).

Zonas aisladas: ZNI a las que no es eficiente económicamente conectar al SIN. (Ministerio de Minas y Energía, 2015)

Zonas Interconectables: ZNI a las que es eficiente económicamente conectar el SIN. (Ministerio de Minas y Energía, 2015)

Zonas No Interconectadas (ZNI): Para todos los efectos relacionados con la prestación del servicio público de energía eléctrica se entiende por Zonas No Interconectadas a los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectadas al Sistema Interconectado Nacional, SIN. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2008)