REVISTA

# CIDET

Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico



# Sostenibilidad del sector Eléctrico Colombiano:

## Energías Renovables y Nuevas Tecnologías

www.cidet.org.co

# CIDET

## POR UN SECTOR ELÉCTRICO MÁS COMPETITIVO INTERNACIONALMENTE A PARTIR DE INNOVACIÓN



### Electricidad & Vida

- Energías limpias
- Uso eficiente de la energía
- Participación del usuario/comunidades
- Construcción sostenible
- Electrificación de sistemas ferroviarios y de transporte masivo
- Vehículos eléctricos e infraestructura de recarga

Habilitador: Redes inteligentes

### Producción Eficiente (Bienes/Servicios)



- Producción que ahorra recursos
- Desarrollo de productos
- Tecnologías de manufactura
- Ingeniería de pruebas y medición
- Ingeniería de plantas
- Procesos de producción
- Materiales y superficies
- Transferencia tecnológica

### TRANSFORMAR IDEAS EN NEGOCIOS

- Negocios y servicios
- Gestión para la Innovación
- Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva
- Entendimiento y comprensión del cliente/usuario
- Propiedad Intelectual



Transformamos generando valor a través de los servicios de:



Aceleración de Innovaciónes




Desarrollo Experimental



Inteligencia Tecnológica



Academia CIDET

**www.cidet.org.co**

# COMPETITIVENESS FOR THE POWER SECTOR THROUGH INNOVATION

## Research & Technology Focus Areas:



### Electricity & Life

- Clean Electricity
- Electricity Efficiency
- Consumer Experience & Engagement
- Green Buildings
- Electric Transportation
- Power Markets

Enabler: Smart Grids



### Efficient Production

- Production that saves Resources
- Product Development
- Measurement & Test Engineering
- Production Processes
- Technology Transfer
- Manufacturing Technologies

### TURNING IDEAS INTO BUSINESS

- Profit Models
- Innovative Networks & Structures
- Innovation & Technology Management
- Technological & Competitive Intelligence
- Technology & Business Foresight
- Intellectual Property Rights & Licensing



## Service Offering:



Experimental Development




Innovation Speed Up



Technological Intelligence



CIDET Academy

Visítenos en
www.cidet.org.co
Allí podrá consultar las ediciones anteriores y descargar las instrucciones y formularios para publicación de artículos.

# REVISTA CIDET

Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico

La Revista CIDET es una publicación de periodicidad semestral de la Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico (CIDET), cuyo propósito es la divulgación de los adelantos, logros y retos científicos, profesionales, técnicos, regulatorios y normativos para el desarrollo y fortalecimiento del sector eléctrico Colombiano.

La responsabilidad por los contenidos y opiniones de los artículos publicados en la revista recae exclusivamente sobre los autores. Los artículos publicados en la revista pueden ser reproducidos con fines académicos citando la fuente y autores.

No 11
11 / 2014

REVISTA
CIDET
Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico

Edición No 11 / Noviembre de 2014 / ISSN 2145-2938

EDITOR GENERAL
RUBÉN DARÍO CRUZ RODRÍGUEZ . Ph.D
Director Innovación CIDET

COORDINADORA EDITORIAL
LUZ ZORAIDA DÍAZ TOBÓN
Coordinadora Comunicaciones Estratégicas CIDET
MARTHA PATRICIA GIRALDO GIRALDO
Comunicadora CIDET

CIDET
CARLOS ARIEL NARANJO VALENCIA
Director Ejecutivo
RUBÉN DARÍO CRUZ RODRÍGUEZ. Ph.D
Director Innovación
FEDERICO GUHL SAMUDIO
Director Academia CIDET
JUAN PABLO ROJAS DUQUE
Gerente CIDET Certificación
SANTIAGO TABARES JARAMILLO
Director Desarrollo y Gestión de Activos
SANDRA LUCÍA LOAIZA RÍOS
Gerente Gestión Integral
LUZ ZORAIDA DÍAZ TOBÓN
Coordinadora Comunicaciones Estratégicas

COMITÉ EDITORIAL

ROSS BALDICK - Ph.D
Profesor e Investigador
Universidad de Texas (EE.UU.)
CARMÉN LUISA VÁSQUEZ - Ph.D
Profesora e Investigadora
Unexpo (Venezuela)
ARTURO GALVÁN DIEGO - Ph.D
Profesor e Investigador
Instituto de Investigaciones Eléctricas (México)
GERMÁN MORENO OSPINA - Ph.D
Profesor e Investigador
Universidad de Antioquia
HORACIO TORRES SÁNCHEZ - Ph.D
Profesor e Investigador
Universidad Nacional de Colombia
JORGE WILSON GONZÁLEZ SÁNCHEZ – Ph.D
Profesor e Investigador
Universidad Pontificia Bolivariana
JOHANN FARITH PETIT SUÁREZ - Ph.D
Profesor e Investigador
Universidad Industrial de Santander

# CONTENIDO


06 Editorial

09 La generación distribuida como alternativa energética en zonas no interconectadas de Colombia.

Este artículo presenta los conceptos básicos de generación distribuida y da a conocer casos de implementación a nivel nacional. También hace un análisis sobre las zonas del país carentes del suministro de energía eléctrica, a las que la incorporación de esta solución tecnológica, podría solucionar sus

Juan Esteban Giraldo Hoyos Desarrollo Experimental CIDET / Carlos Andrés Álvarez Álvarez Desarrollo Experimental CIDET

21 Metodología para realizar el análisis de instalaciones eléctricas subterráneas, con base al NEC, utilizando ETAP.

El propósito del presente artículo es evaluar el comportamiento térmico de instalaciones eléctricas subterráneas utilizando como caso de estudio, el detalle 3 del anexo B del National Electric Code (NEC -2011); la implementación y simulación se realiza utilizando el módulo Underground Raceway Systems (UGS) de etap.

Rafael Franco Manrique Potencia y Tecnologías Incorporadas S.A. / Carlos Hernán Campo Valencia Potencia y Tecnologías Incorporadas S.A. / Daniel Enrique Riascos Uribe Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los

33 EMC for Power Cables

This paper gives an overview of the electromagnetic coupling mechanisms whereby the variable frequency converters (VFD) affects the power cables as well as the dimensioning parameters that should be taken into consideration to reduce the electromagnetic disturbances.

Lazhar Kebabbi Ph.D NEXANS

41 Analítica avanzada para la gestión de pérdidas no técnicas: Caso MVM Ingeniería de Software

MVM Ingeniería de Software S.A.S. y la Universidad de Medellín han desarrollado una tecnología orientada a la gestión de pérdidas no técnicas de energía, la cual está articulada con el plan de ciencia, tecnología e innovación de la ciudad de Medellín.

Gladys Adriana Quintero Rojas Ph.D en Física / Ricardo Alonso Gallego Burgos Msc. en Gestión Tecnológica / MVM Ingeniería de Software S.A.S

# CONTENIDO


55

## Estrategias de inteligencia computacional para la gestión óptima de potencia en microrredes

Esta investigación aborda el problema de la gestión óptima de la potencia eléctrica en microrredes, a través de la implementación de estrategias basadas en dos técnicas inteligentes multiobjetivo: MOGA y SPEA2.

Fabián Andrés Zúñiga Cardona Ingeniero Electrónico, Universidad del Valle / Danny Mauricio López Santiago Ingeniero Electrónico, Universidad del Valle / Eduardo Francisco Caicedo Bravo Ingeniero Electricista, Universidad del Valle

67

## Diferencias entre normas IEC (Europa) con IEEE (Americana) para sistemas de cableado.

Este artículo presenta las diferencias entre las normas IEC utilizada en Europa y la norma IEEE de origen Americano que rigen los sistemas de cableado aislado en diferentes niveles de tensión.

Rodrigo Galvis Correa Ingeniero electricista de la Escuela Colombiana de Ingeniería

73

## Normatividad sobre eficiencia energética en Colombia y el mundo

Este informe contiene las disposiciones en materia de eficiencia energética (normas, reglamentos, resoluciones, decretos, directivas, leyes y planes) que actualmente se encuentran en vigencia en el territorio Colombiano y las disposiciones mas representativas en el mundo.

Javier Negrette Buelvas Inteligencia Tecnológica CIDET

89

## Sistema de Gestión Energética SGE en la central Termozipa. Bajo la metodología ISO 50001 (Eficiencia Energética)

En la Central Termozipa se estableció un Sistema de Gestión Energética SGE, para lograr el desarrollo de capacidades de gestión energética basados en la formación y desarrollo de capacidades tecnológicas para el personal, proceso que la convirtió en la primera Central Térmica de Colombia con dicha norma.

Alfonso Maestre Torres Ingeniero Electricista EMGESA S.A E.S.P

# CONTENIDO


97

## Identificación del estado actual de laboratorios del sector eléctrico, usando herramientas de Vigilancia Tecnológica

Se realizó una Vigilancia Tecnológica sobre el proyecto: "Estudio de alternativas para la solución de la problemática de laboratorios para el sector eléctrico colombiano", en la que se caracterizaron los laboratorios de media y alta tensión, alta corriente y alta potencia en el mundo e identificar tendencias en pruebas, tipo e infraestructura.

Lina María Niebles Anzola / Gabriela María Gómez Roldán Inteligencia Tecnológica CIDET

109

## Método de ensayo internacional para la detección del azufre potencialmente corrosivo en aceites minerales aislantes usados y nuevos

Este artículo hace la exposición de la norma europea IEC-EN-62535:2009, que consiguió la normalización internacional de un único método para detectar azufre potencialmente corrosivo en aceite aislante usado y nuevo y así prevenir fallos e incidentes graves en transformadores eléctricos.

Ismael Vela Morejón Ingeniero Superior de Minas REPSOL (Madrid)

117

## Fortaleciendo las habilidades de innovación con TRIZ

Este artículo plantea un marco de trabajo para fortalecer habilidades para la innovación mediante una analogía con el concepto de recursos de la metodología TRIZ.

Diego Fernando Galeano Montoya Aceleración de Innovaciones / Sandra Rojas Espinosa Coordinadora Gestión del Conocimiento CIDET

129

## Frontera eficiente de rentabilidad para los activos de transmisión no sometidos a convocatoria

El objetivo de esta investigación académica, es revisar en detalle los criterios de cálculo de la tasa de remuneración de los activos de transmisión en Colombia establecida en la actual metodología y presentar una propuesta alternativa para la definición de una nueva tasa utilizando la Teoría de Portafolios de Inversión de Markowitz.

Diana María López González Dirección Intercambios Mercado XM / Sergio Nicolás Benjumea Muñoz Gerencia Financiera INTERCOLOMBIA / Sandra Zuleica Tabares Álvarez Banca Corporativa DAVIVIENDA

145

## Eficiencia térmica para distintas mezclas de carbón empleados en la Termoeléctrica Martín del Corral

En este artículo se realizó la caracterización de los carbones empleados para la combustión en la Termoeléctrica Martín del Corral (Tocancipá, Cundinamarca) y se evaluó el efecto del contenido de materia volátil y carbono fijo en la velocidad de calentamiento de distintas mezclas de carbón (eficiencia del proceso de quemado)

José Rincón Universidad Nacional / Pedro Guevara TECSOL Ltda. / Lizbeth Vallecil TECSOL Ltda. / Alfonso Maestre Torres EMGESA S.A E.S.P / Rud Salzar Palencia EMGESA S.A E.S.P / Néstor Salamanca EMGESA S.A E.S.P

EDITORIAL

# Sostenibilidad del Sector Eléctrico Colombiano:

## Energías Renovables y Nuevas Tecnologías

Luego de casi 20 años de la desregulación del sector eléctrico en Colombia, se han venido percibiendo por parte de algunos actores en el mercado, mayores dificultades para invertir en la actualización y expansión del sistema interconectado de potencia, en toda la cadena (generación-transmisión-distribución), afectando consecuentemente su sostenibilidad en el largo plazo. Esto puede deberse tanto a riesgos económicos como a otros riesgos emergentes de tipo ambiental, social, predial e incluso procedimental.

En el sector de generación, por ejemplo, se han visto múltiples dificultades para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos a gran escala, sobre todo por restricciones de origen ambiental y social. Todo ello está comprometiendo la entrada oportuna de estas plantas, que son fundamentales para garantizar la confiabilidad energética del sistema, y se empiezan a presentar incertidumbres con respecto a si el desarrollo energético del país se puede soportar con este tipo de tecnología dadas las restricciones ambientales y la competencia por el uso del suelo.

¿Es mejor inundar un valle para generar electricidad o reservarlo para agricultura, ganadería, minería o incluso simplemente para el paso de una carretera estratégica o para el establecimiento de una reserva ambiental? A esto se debe sumar además, los eventuales riesgos debidos al calentamiento global que pueden comprometer la disponibilidad de este recurso.

Respecto a los proyectos de transmisión que actualmente están en desarrollo o por iniciarse, también se han presentado retrasos en la expedición de permisos y licencias ambientales y dificultades en las relaciones con las comunidades.

En distribución también se tienen problemas para la ubicación de las subestaciones en las zonas densamente pobladas de las grandes ciudades y en las redes desde ellas hacia los sistemas locales, entre otros aspectos, por la dificultad de asegurar la disponibilidad de terreno para las servidumbres de líneas además de la mala prensa y difusión de mitos, falacias y exageraciones con respecto a efectos, reales o imaginarios, sobre la salud humanas de la infraestructura requerida para atender las necesidades energéticas de la población. Todo esto tiene grandes impactos en la actividad de suministro de electricidad, no sólo desde la óptica institucional, legal y regulatoria, sino también en el desarrollo tecnológico, principalmente en generación y transporte de electricidad.

Antes de seguir, es importante explicitar qué se entiende por sostenibilidad en un sistema eléctrico que, por definición, debe diseñarse para asegurar en todo momento un balance espacial y temporal de la generación y consumo.

Para CIDET, la sostenibilidad de un sistema eléctrico representa la medida en que el sistema subsiste en el tiempo satisfaciendo las necesidades del aparato productivo y de consumidores finales del país, de una forma continua, competitiva y cumpliendo con los criterios de calidad, dentro de un marco ambiental y social sostenible.

La sostenibilidad, definida de esta forma, no es un atributo que pueda ser asignado a un componente en específico del sistema, sino a la compleja interacción entre todos los componentes que los conforman.

En este sentido, en el país se debe establecer si en el largo plazo, los proyectos de generación hidráulicos a gran escala son realizables y si, en general, se da la posibilidad de realizar proyectos grandes de generación con otras fuentes, prestando especial consideración a las energías limpias de todo tipo y el potencial energético además de la vocación y potencial productivo del país en cada región para cada una de ellas.

Es pertinente también un análisis de diversificación de las fuentes de generación eléctrica incluyendo diferentes tipos de tecnologías, escalas y estrategias, convencionales y no tradicionales, con proyectos a carbón limpio, gas natural, termo-solares, fotovoltaicos, geotermia, eólicos, cogeneración, la generación focalizada y distribuida a pequeña y gran escala, respuesta de la demanda y almacenamiento de energía.

Este análisis debe responder interrogantes como ¿Tiene el sistema colombiano suficientes recursos (fuentes, infraestructura, capacidades) para gestionar la variabilidad operacional que implica el cambio climático, el crecimiento de la demanda y la evolución tecnológica sectorial? ¿Qué tantos recursos ambientales y sociales impuestas por el desarrollo sostenible del país?

Por otra parte, en el Plan de Expansión 2013 – 2027 se definió una nueva red a nivel de 500 kV, la cual refuerza la interconexión existente entre las áreas operativas del Sistema para asegurar el suministro confiable de la demanda. Algunas de las preguntas que surgen son: ¿Cómo se podría gestionar un posible atraso de esta red, debido a los problemas citados? ¿En el muy largo plazo, qué tipos de tecnologías se podrían implementar en el sistema, tales como líneas HVDC, FACTS, niveles de tensión superiores (EHVAC) u otros, que pudieran ser soluciones en un horizonte más amplio? ¿Cómo se deben gestionar los corredores futuros que se necesita para el desarrollo de redes de transmisión en los principales centros urbanos? ¿Cómo se debe preparar el sistema para la incorporación de FNCE, especialmente considerando los potenciales efectos de la aplicación de la Ley 1715 de 2014? ¿Qué tanto se puede aliviar las necesidades de líneas de transmisión con las soluciones de generación distribuida y almacenamiento de energía?

Para resolver estos interrogantes, la UPME ha encargado a CIDET, en alianza con ESCIM y CONOSER, la realización de un estudio que examine las diferentes opciones que puede tener el desarrollo futuro del sector eléctrico colombiano (generación y transmisión de electricidad), para que establezca la mejor desde el punto de vista de asegurar la sostenibilidad del suministro de energía eléctrica en el país, y, bosqueje el plan para empezar a construir esa opción de desarrollo futuro desde ahora. Para esto, se viene trabajando desde agosto pasado en la identificación de las necesidades del país en este sector, en cuya satisfacción las tecnologías

genéricas emergentes probablemente generarán un mejor balance entre los beneficios económicos, ambientales y sociales que las opciones tradicionales, para proponer así las líneas de acción (mapa de ruta) que deben considerarse en las tareas de planeación, regulación y toma de decisiones.

El proceso de desarrollo de este estudio, que finaliza en diciembre próximo, ha sido concebido para ser desarrollado de forma abierta, inclusiva y transparente, de manera que sus resultados permitan a los tomadores de decisiones (gobierno y empresarios) verificar suposiciones clave y estrategias antes de definir cursos de acción en los que la tecnología sea un factor crítico, todo esto contribuyendo en la construcción conjunta de una visión global para el sector y el país. De esta forma, este estudio pretende convertirse en un documento de consulta orientador, robusto, independiente, utilizado y citado para la toma de decisiones tecnológicas en los subsectores de generación y transmisión de energía eléctrica, orientado hacia su desarrollo sostenible, competitivo y dinámico en una escala global.

Rubén Darío Cruz Rodríguez
Director Innovación CIDET

CIDET

**www.cidet.org.co**



# La generación distribuida

## como alternativa energética en zonas no interconectadas de Colombia

Juan Esteban Giraldo Hoyos
Desarrollo Experimental CIDET
Carlos Andrés Álvarez Álvarez
Desarrollo Experimental CIDET





Actualmente las Zonas No Interconectadas –ZNI en Colombia representan el 52% del territorio, contando con una demanda energética a cubrir, para el 2012, de 239.124 usuarios no conectables al Sistema Interconectado Nacional –SIN. Durante la última década se han incorporado soluciones tecnológicas para llevar el servicio de energía eléctrica a estas zonas, incrementando la calidad de vida y el desarrollo productivo regional. Este artículo presenta los conceptos básicos en generación distribuida, casos de implementación a nivel nacional y da a conocer zonas del país carentes del suministro de energía como posibles escenarios para incorporación de sistemas de generación distribuida como solución a sus necesidades energéticas.

**Palabras Clave:** Generación distribuida, ZNI, FNCE, ley

*Nowadays, Non Interconnected Zones in Colombia represent 52 % of the national territory, with energy demand to cover, in 2012, around 239,124 users unconnectable to the national grid.*
*During the last decade, government entities and other institutions, have incorporated technology to bring the electrical service to these areas, given as a result the increasing the quality of life and regional productive development. This paper presents the basic concepts of distributed generation, implementation cases at the national level and shows areas of the country without energy supply as possible scenarios for incorporation of distribuited generation systems to solve their energy needs.*

**Palabras Clave:** Distributed generation, ZNI, FNCE, 1715 law.

## I. Introducción

El sistema eléctrico colombiano ha basado su funcionamiento en un esquema de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica de tipo centralizado. Este sistema es conocido como el Sistema Interconectado Nacional –SIN y actualmente tiene cobertura de un 48% en el territorio nacional. El territorio restante se conoce como Zonas No Interconectadas –ZNI y es aquí donde se separan los esquemas de energía eléctrica en Colombia.

Las ZNI cubren gran parte del territorio colombiano, 52%, ubicándose en regiones extremas del país. Estas zonas incluyen 90 municipios, 1.448 localidades, 39 cabeceras municipales, de las cuales 5 son capitales de departamento y 20 territorios especiales, biodiversos y fronterizos [1]. Al estar alejadas

de las centrales de energía que alimentan al SIN, las ZNI presentan deficiencias en la cobertura de energía eléctrica y servicios públicos básicos.

El objetivo de este artículo es enunciar las razones que han condicionado la falta de cobertura eléctrica en las ZNI y analizar la forma en que la generación distribuida podría jugar un papel trascendental en la prestación de soluciones a estas poblaciones colombianas, para entregarles inclusión, desarrollo y calidad de vida.

En la primera parte de este artículo se pretende enunciar los conceptos más relevantes sobre generación distribuida, mencionando las principales tecnologías usadas y las ventajas de su implementación. Luego se profundiza sobre la situación energética actual de las ZNI en el territorio colombiano, enunciando las problemáticas que deben ser atacadas frente a este tema. Se continúa, mencionando la forma en que la generación distribuida podría entrar a mitigar estos problemas, proponiendo soluciones que se adaptan a las necesidades y fortalezas de estos territorios. Finalmente se expondrán, para la fecha, los municipios que presentan menor cobertura en energía eléctrica para dar a conocer escenarios donde la implementación de la generación distribuida podría ser importante.

## II. Aspectos claves de la generación distribuida

Históricamente el suministro de energía eléctrica a los usuarios finales se ha realizado de manera centralizada, utilizando grandes sistemas de generación y líneas de transmisión muy largas para llevar la energía a los sistemas de distribución que se encargan de suministrar la energía a los consumidores. Un continuo incremento de la demanda de energía hace que cada día se requieran nuevas obras de generación de electricidad para abastecer este crecimiento [2]. Por lo tanto, las naciones que son potencia a nivel mundial se han dedicado a investigar y desarrollar nuevas alternativas tecnológicas para la generación, transmisión y distribución de energía. Esta búsqueda ha llevado a recientes avances en la producción de electricidad a pequeña escala, cambiando el esquema centralizado, y retomando el tema de la generación distribuida –GD [3] .

En general, se puede definir la GD como el aprovechamiento de una fuente de energía eléctrica de pequeña escala conectada directamente a la red de distribución o en el punto de medida del consumidor final [4] .

La GD no es un concepto nuevo, sin embargo en la actualidad está emergiendo para abastecer la demanda cerca a los centros de carga, mediante fuentes de energía limpias que contribuyen a disminuir los gases de efecto invernadero; aunque hasta el momento no todas las tecnologías son limpias, económicas y confiables [5].





### A. Aplicaciones de la generación distribuida

La GD representa una alternativa como fuente de energía cerca a los centros de consumo. Existen diferentes aplicaciones para su implementación, dependiendo de las necesidades del usuario y la tecnología utilizada; para su incorporación también entran en juego aspectos técnicos, económicos y medioambientales [6] [7].

**Picos de carga:** Este sistema es utilizado para suministrar energía en los periodos donde se reduce el pico de demanda de los usuarios. Se presentan picos de carga, de esta forma se obtiene un mayor beneficio para los sectores industriales y comerciales, ya que los costos de la energía, en sectores eléctricos de algunos países, varía de acuerdo a la carga de la curva de demanda y la generación correspondiente en el mismo periodo de tiempo, usualmente en este periodo de demanda máxima la energía tiene un costo más alto.

**Soporte de la red de distribución:** Se instalan pequeñas centrales de generación como medio para reforzar la red de potencia, con el fin de evitar o resolver las congestiones o fallas que se presenten durante los periodos del año de máxima demanda.

**Respaldo al sistema de potencia:** Es un sistema de generación de energía que se utiliza normalmente para suministrar energía en los momentos en que la fuente principal de energía sea incapaz de proveer el servicio. Es usada principalmente para las cargas sensibles que no se pueden quedar sin energía, como en procesos industriales, hospitales, entre otros.

**Generación aislada:** Esta aplicación es utilizada en zonas que se encuentran aisladas o no conectadas al sistema de transmisión de energía, puede ser debido a obstáculos geográficos que dificulten llegar con la respectiva infraestructura a las poblaciones, por tanto conectarse a la red de potencia resulta muy costoso.

**Cogeneración (CHP, por sus siglas en inglés):** Consiste en un sistema de generación simultánea de energía eléctrica y térmica que aprovecha el calor disipado en los procesos de generación de energía eléctrica a través de combustibles, para reutilizarlo en los procesos productivos de la industria que lo requieran, aumentando la eficiencia del sistema y reduciendo costos en comparación con sistemas que generan energía eléctrica y térmica por separado.

### B. Tecnologías utilizadas en la generación distribuida

Para generación de energía a pequeña escala se encuentran múltiples sistemas que dependen del tipo de tecnología y de la fuente primaria utilizada para obtener la energía eléctrica.

En la Figura 1 se encuentra un gráfico que representa de forma general las tecnologías de GD utilizadas en la actualidad.

Las tecnologías usadas para la GD pueden clasificarse dependiendo de la fuente de energía aprovechada en convencional y no convencional.

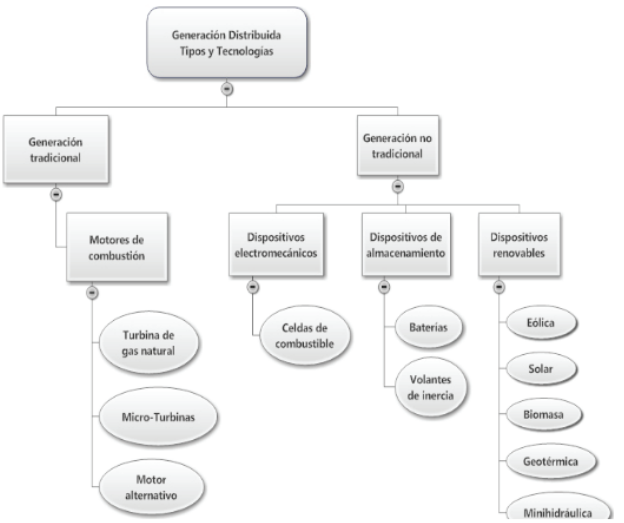


**Fig. 1.** Tipos de tecnologías utilizadas en la generación distribuida. Elaboración propia, adaptado de [5].

El Congreso de la República de Colombia en la ley 1715 de 2014, define las Fuentes No Convencionales de Energía –FNCE como "aquellos recursos de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCE la energía nuclear o atómica y las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable –FNCER (la biomasa, las pequeñas centrales hidroeléctricas PCH, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares)"[8]. Para las fuentes convencionales de energía usadas en GD se destacan los combustibles fósiles (diésel, carbón, gas natural, etc).

### C. Limitaciones de la Generación Distribuida

Cuando la penetración de los sistemas de generación distribuida llega a ser considerable, el sistema eléctrico de potencia puede verse afectado, por tanto la interconexión de la GD puede llegar a ser compleja, especialmente tomando en consideración la gran variedad de tamaños y potencias que presentan y la configuración de la red de distribución, ya que esta ha sido diseñada para operar con flujos de potencia en una sola dirección [9].

Algunas de las limitaciones se listan a continuación:

- Potencia reactiva: Gran parte de las tecnologías utilizadas en GD usan generadores asincrónicos que no entregan potencia reactiva a la red.

- Frecuencia del sistema: Desviaciones de la frecuencia nominal del sistema son causadas debido al desbalance que se puede ocasionar entre el suministro de energía y la demanda presente.

- Esquemas de protección: Las redes de distribución se encuentran actualmente configuradas con un flujo de potencia unidireccional, la instalación de fuentes de generación distribuida hace que este flujo de potencia sea de forma bidireccional; lo que hace que se empleen nuevos equipos de seguridad y de medida de las redes.

- La inyección de armónicos a la red de distribución, debido a que algunas fuentes de GD utilizan sistemas asincrónicos, como por ejemplo los sistemas fotovoltaicos y eólicos que requieren el uso de inversores para interconectarse.

- El alto costo que suponen las tecnologías que funcionan con fuentes de energía renovables, a causa de que estas fuentes aún no han alcanzado su grado de madurez, lo que hace que el costo por kilovatio generado sea mayor.





## III. Situación energética en las ZNI

Como se comentó anteriormente, en el país las ZNI representan el 52% del territorio [1], sin embargo es importante mencionar que en muchos casos se tratan de zonas poco pobladas donde la relación de número de habitantes sobre territorio representa cifras muy inferiores comparadas con las zonas conectadas al SIN.

Los territorios pertenecientes a las ZNI se clasifican de la siguiente manera, dependiendo del número de usuarios que disponen.

**Tipo 1:** Cabeceras municipales y localidades con más de 300 usuarios.

**Tipo 2:** Localidades con más de 150 y menos de 300 usuarios.

**Tipo 3 y 4:** Localidades con menos de 150 usuarios[1].

La Figura 2 muestra la distribución de los territorios en las ZNI diferenciados por el tipo anteriormente mencionado.

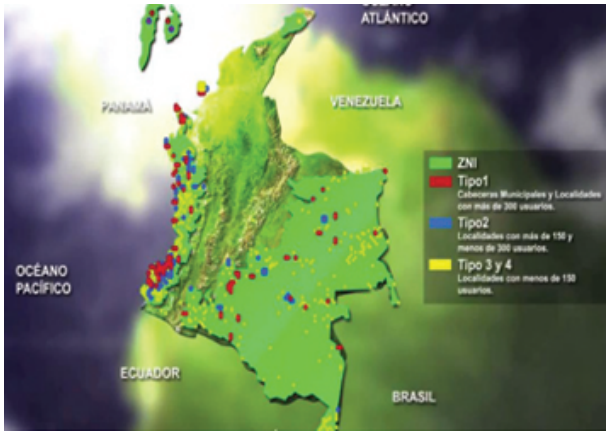


**Fig. 2.** Territorios en ZNI diferenciados por Tipo. Tomado de [1]

En general la cobertura de energía eléctrica colombiana a suplir viene representada por 12.407.397 usuarios, de los cuales 11.986.576 (96,6%) cuentan con servicio de energía y 420.821 (3,4%) no cuentan con el servicio. La forma en que está distribuida la cobertura energética Colombiana, para el 2012 [10].

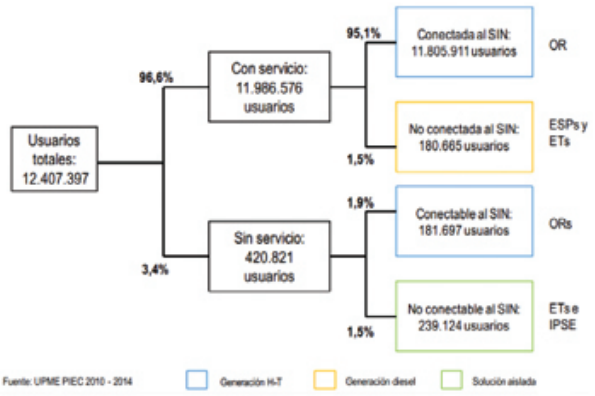


**Fig. 3.** Cobertura de energía eléctrica en Colombia, 2012. Tomado de [10]

En donde OR son operadores de red, ESPs son empresas de servicios públicos, ETs entidades territoriales y el IPSE es el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las ZNI.

Se observa que 180.665 usuarios se encuentran con servicio de energía eléctrica en ZNI. De los 420.821 usuarios que aún no cuentan con el servicio eléctrico, 181.697 pueden ser interconectados al SIN en un plazo máximo de 5 años. Los 239.124 usuarios restantes no son conectables a la red nacional y deben optar por opciones de generación aisladas. Este vacío podría cubrirse a través de la GD.

Para comparar la situación que se vive en zonas conectadas al SIN y en ZNI, la UPME en su estudio titulado "Acciones y retos para energización de las ZNI en el país" [10] entrega

**SIN:**
- Capacidad instalada: 14.450 MW
- Número de empresas de distribución: 32
- Horas de prestación del servicio: 24
- Costo promedio del kWh residencial: $346

**ZNI:**
- Capacidad instalada: 165 MW, 373 parques de generación.
- Número de empresas: 96
- Horas de prestación del servicio: 4 – 8
- Costo promedio del kWh residencial: $1.200 (8h de servicio)

- Condiciones de violencia y delincuencia.

En las ZNI se evidencian pocas horas del servicio de energía eléctrica por día y costos elevados en la prestación del servicio. La recomendación de la UPME [10], es que Colombia debe mejorar en los siguientes aspectos:

- La baja calidad y poca continuidad en las áreas con servicio.
- Los costos elevados en la prestación del servicio de energía con base en generación térmica diésel primordialmente y financiamiento de subsidios requeridos.
- La cobertura en poblaciones sin servicio, poblaciones rurales con baja densidad poblacional y aislamiento geográfico.
- El alto nivel de pobreza.
- La informalidad en el trabajo.
- Reducción de actividades ilegales.

Sumado a lo anterior, se ha encontrado que las ZNI se caracterizan por cumplir varias de las siguientes condiciones:

- Poblaciones ubicadas en regiones alejadas y fronterizas.
- Vías de acceso limitadas y en mal estado.
- Baja calidad en servicios básicos (Electricidad, Acueducto, Saneamiento, etc).
- Posibilidades de estudio reducidas para la población.
- Condiciones de violencia y delincuencia.
- Índices de pobreza elevados.
- Índices de analfabetismo elevados

Estos factores condicionan estos territorios y hacen muy difícil su posible conexión al SIN, es por eso que se debe optar por soluciones alternativas que permitan mejorar la calidad de vida de las personas que los habitan. Es ahí donde adquirir energía eléctrica se convierte en una necesidad latente para fomentar su desarrollo. El acceso a este servicio propicia la posibilidad de adquirir nuevos conocimientos, fortalecer el estudio en las comunidades, evolucionar en nuevas opciones de generación de empleo, y como éstos, se pueden mencionar muchísimos más beneficios vinculados a la adquisición de la energía eléctrica.





## IV. La Generación distribuida como alternativa Energética en las ZNI

Reconociendo las limitaciones que poseen las ZNI y su dificultad para conectarse al SIN, se empiezan a pensar en soluciones que puedan implementarse para cubrir la necesidad energética latente en estos territorios.

La GD se presenta entonces como una de las claves para mitigar muchas de las necesidades que aparecen en las ZNI y su implementación dependerá de los recursos presentes en los territorios que pueden ser aprovechados para la generación de energía eléctrica. Al tratarse en su mayoría de sistemas de generación autónomos dedicados para atender la demanda de energía en zonas puntuales, se evitan muchas de las limitaciones mencionadas en el capítulo III.

Además, gracias a su generación a pequeña escala cerca de los puntos de consumo y su aprovechamiento, en muchos casos, de FNCER, la GD evita muchos problemas referentes a la atenuación de la tensión en líneas de transmisión extensas, tiempos de implementación de las tecnologías, costos de inversión masiva, impacto ambiental, entre otros.

En las ZNI, a pesar de las limitaciones que se han venido mencionando, se cuentan con interesantes recursos naturales que pueden ser aprovechados para la generación de energía eléctrica. Por ejemplo, en la zona del pacífico se cuenta con recursos hídricos y abundante biodiversidad en flora y fauna que podrían llevar a pensar en sistemas de generación híbridos de energía eléctrica a través de biomasa, biocombustibles y pequeñas centrales hidroeléctricas.

En el caso de La Guajira, en la punta del departamento, se podría mencionar alternativas de generación utilizando el recurso solar y el recurso eólico, gracias a los propicios vientos provenientes de las zonas costeras que según [11], a 50m de altura, podrían entregar valores de potencial eólico en los rangos de 729 - 1728 W/m^2. En cuanto al potencial solar, se estima de [12] un promedio anual en el rango de 5,5 – 6,0 kWh/m^2 para la zona.

Como los casos anteriormente mencionados, se pueden estudiar un conjunto de alternativas en función de los recursos más óptimos de la zona, para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica y encontrar un panorama amplio de opciones que podría ser utilizado para mejorar las condiciones actuales de los territorios que sienten esta necesidad energética.

En Colombia se están dando pasos importantes en beneficio de las ZNI y el IPSE viene tomando buena parte de la participación en el tema. Como casos de implementación de generación distribuida en Colombia se pueden mencionar como ejemplo los siguientes:

**1.** Generación de 25 kW Solar-Diésel con disponibilidad de energía las 24 horas para el centro de salud y la institución educativa en el municipio de Isla Fuerte, Bolívar- 2009-2012. Además se cuenta con un sistema de generación Solar FV de 3,9 kW para alimentar una cadena de refrigeración y almacenamiento de pescados con una capacidad promedio anual de 8.000 kg, que potencia la fuerza productiva en esta región pesquera de Colombia [13].

**2.** Generación energética por gasificación a partir de residuos de madera en Necoclí, Antioquia– 2010: 40 kW de energía a través de biomasa proveniente de residuos de madera en las playas del municipio [14].

Por otra parte, desde el gobierno se ha promulgado una nueva ley, la ley 1715 de 2014 [8], que pretende potenciar la GD y regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Esta nueva ley abre un panorama interesante para la participación en la matriz energética por parte de personas, empresas y usuarios.



**Fig. 4.** Sistema de generación Solar-Diésel, Isla Fuerte, Bolívar. 2009. Tomado de [15]



**Fig. 5.** Generación eléctrica a través de residuos de maderas en Necoclí. Tomadas de [16]

## V. Municipios con menor cobertura de energía eléctrica en Colombia

Con el fin de dar a luz posibles escenarios para implementación de la GD, se da a conocer el índice de cobertura de energía eléctrica por departamento para el 2013[17].
Se destaca que, los departamentos de Amazonas (62,69%), Guaviare (72,59%), Putumayo (71,44%), Vaupés (65,57%) y Vichada (59,08%), son los que poseen el nivel de cobertura de energía eléctrica más bajo, para el año 2013.
Profundizando más en la investigación y obteniendo resultados más concretos, se expone en la Tabla 1 un listado de los 20 municipios de Colombia con mayor número de viviendas sin energía eléctrica para el año 2013.

Se observa que para el caso de Uribia, ubicado en el departamento de La Guajira, se cuentan, a la fecha del estudio, 21.619 viviendas sin el suministro de energía eléctrica.

Se podría pensar para este caso, que adoptando un sistema de generación combinada entre energía eólica y solar se mitigarían muchas de las necesidades eléctricas de esta población, aprovechando la fuerte exposición solar y los altos perfiles de vientos presentes en las zonas costeras del municipio. De [11], se obtienen datos del potencial eólico presente en la zona a 20m y 50m encontrando valores de promedio anual que oscilan entre 1000 – 216 W/m^2 y 1728 – 512 W/m^2 respectivamente. En cuanto al potencial solar de la zona, según [12], en la zona se cuenta con radiación solar que oscila en el rango de 5,5 – 6 kWh/m^2.





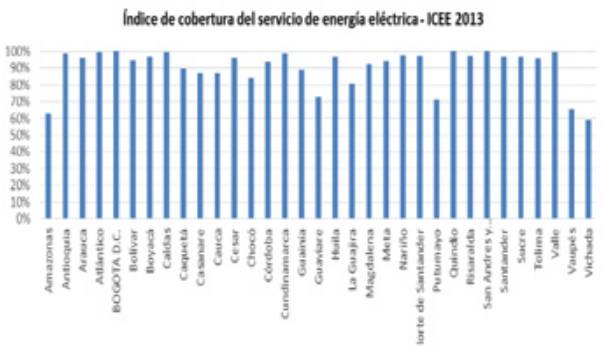


**Fig. 6.** Cobertura de energía eléctrica por Departamento 2013. Elaboración propia. Adaptado de [17]

| Puesto | Departamento | Municipio | # de viviendas sin energía eléctrica |
|---|---|---|---|
| 1 | La Guajira | Uribia | 21.619 |
| 2 | Nariño | Pasto | 10.470 |
| 3 | Córdoba | Tierralta | 9.138 |
| 4 | Putumayo | Orito | 7.552 |
| 5 | La Guajira | Manaure | 6.602 |
| 6 | Putumayo | Puerto Asis | 5.592 |
| 7 | Córdoba | San Andrés Sotavento | 5.554 |
| 8 | Putumayo | Puerto Guzmán | 5.143 |
| 9 | Putumayo | San Miguel60 | 4.925 |
| 10 | Cauca | Caldono | 4.214 |
| 11 | Magdalena | Zona Bananera55 | 4.188 |
| 12 | Cauca | El Tambo | 4.182 |
| 13 | Vichada | Cumaribo66 | 4.076 |
| 14 | Cauca | Páez | 4.007 |
| 15 | Chocó | Riosucio | 3.994 |
| 16 | Casanare | Yopal | 3.892 |
| 17 | Nariño | Tumaco + Chacal | 3.882 |
| 18 | Chocó | Alto Baudó (Pie De Pato) | 3.727 |
| 19 | Magdalena | Sitio nuevo | 3.650 |
| 20 | Guaviare | San José del Guaviare | 3.546 |

**Tabla 1.** Los 20 municipios de Colombia con mayor número de viviendas sin energía eléctrica, 2013. Elaboración propia. Adaptado de [17]

## VI. Conclusiones y Recomendaciones

Las ZNI colombianas son territorios marginados que tienen amplias necesidades básicas que deben ser subsanadas. Entre sus necesidades sobresale notablemente la de contar con un servicio de energía eléctrica de calidad para su población. En este punto es donde se presenta la GD como una alternativa importante para contrarrestar muchos de estos casos, aportando condiciones de vida favorables y creando oportunidades de desarrollo.

Con la llegada de una nueva legislación, la ley 1715 de 2014, se busca regular las condiciones en las que debe implementarse la GD en la red nacional de energía eléctrica y en las ZNI. Con esto se abre un panorama importante para que viejos y nuevos agentes del sector eléctrico participen de la matriz energética de Colombia y puedan ofrecer soluciones de generación de energía avaladas públicamente, con la posibilidad de recibir incentivos por los servicios prestados [8].

En Colombia se han implementado varios proyectos de GD que evidencian los beneficios que puede percibir una población aislada al contar con un suministro de energía eléctrica confiable. Casos como los de Isla fuerte, Necoclí, Nazareth, entre otros, muestran la importancia que representa para estas zonas adquirir energía eléctrica y la forma en que la GD aporta bases sólidas para promover el desarrollo [13-16] [18].

Para los interesados en conocer las zonas con menor cobertura de energía eléctrica en Colombia, en el año 2013, se evidencia que en los departamentos de Amazonas (62,69%), Guaviare (72,59%), Putumayo (71,44%), Vaupés (65,57%) y Vichada (59,08%) se

presentan escenarios que pueden ser propicios para la implementación de la GD. Detallando este indicador de cobertura, se encuentran los municipios de Uribia - Guajira (21.619), Pasto - Nariño (10.470), Tierralta – Córdoba (9.138), Orito – Putumayo (7.552), Manaure – Guajira (6.602), Puerto Asís – Putumayo (5.592), entre otros, como los que poseen mayor número de viviendas sin el servicio de energía eléctrica [17].

Como políticas de estado para promover la incorporación de la GD en Colombia, se recomienda adquirir datos reales del potencial energético de los diferentes recursos con los que cuenta el país, en las diferentes zonas de su territorio, fortalecer la formación del sector industrial, académico y de la población en general en aspectos de uso racional de la energía, tecnologías de GD, uso de FNCE, técnicas de almacenamiento de energía, legislación y regulación vigente en el tema energético, entre otros. Además se debe concientizar a la población del impacto ambiental que pueden ocasionar usando ciertas fuentes de energías, con el fin de promover fuentes amigables con el medio

## VIII. Referencias

[1] Super User, "IPSE - Quiénes Somos," 11-Sep-2013. [Online]. Available: http://www.ipse.gov.co/ipse/informacion-institucional/ipse. [Accessed: 01-Sep-2014].

[2] T. E. Hoff, H. J. Wenger, and B. K. Farmer, "Distributed generation: an alternative to electric utility investments in system capacity," Energy Policy, vol. 24, no. 2, pp. 137–147, 1996.

[3] D. A. Balaguera, A. F. Cortes, and M. A. Uruena, "Distributed generation scheme analysis, as an option for bogota electrical system," 2012, pp. 1–6.

[4] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, "Distributed generation: a definition," Electr. Power Syst. Res., vol. 57, no. 3, pp. 195–204, 2001.

[5] W. El-Khattam and M. M. A. Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits," Electr. Power Syst. Res., vol. 71, no. 2, pp. 119–128, 2004.

[6] L. Buitrago, C. Tautiva, E. Parra, and H. Torres, "A status report on Colombian distributed generation," 2007, pp. 1–5.

[7] M. E. Samper, A. Vargas, and S. Rivera, "Fuzzy assessment of electricity generation costs applied to distributed generation. Comparison with retail electricity supply costs," 2008, pp. 1–7.

[8] Congreso de Colombia, Ley 1715. 2014.

[9] R. Viral and D. K. Khatod, "Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 16, no. 7, pp. 5146–5165, 2012.

[10] Angela Cadena - UPME, "Acciones y retos para energización de las ZNI en el país.," 29-Oct-2012.

[11] UPME, "Cap 5. Densidad de energía eólica a 20 y 50 metros de altura," in Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, pp. 77, 102.

[12] UPME, "MAPAS DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA," in Atlas de Radiación Solar de Colombia, 2005, p. 40.

[13] Subdirección de Planificación Energética - IPSE, "Energías Renovables en las ZNI," 14-Feb-2013.





[14] IPSE, "En Necoclí los residuos de madera se convierten en importante recurso energético.," 15-Feb-2011. [Online]. Available: http://www.ipse.gov.co/ipse/comunicaciones-ipse/noticias-ipse/359-en-necocli-los-residuos-de-madera-se-convierten-en-importante-recurso-energetico. [Accessed: 04-Sep-2014].

[15] Ministerio de Minas y Energía, "Paneles y seguidores solares Isla Fuerte," 19-Feb-2009. [Online]. Available: www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosEventos/5842.ppt. [Accessed: 09-Sep-2014].

[16] Jairo Alberto Benavides Gonzáles, "FORO DE NORMALIZACION Y CONTEXTO NACIONAL EN ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA," Nov-2008.

[17] UPME - SIEL, "Informe Preliminar Cobertura de Energía Eléctrica a 2013." [Online]. Available: http://www.siel.gov.co/Inicio/CoberturadelSistemaIntercontecadoNacional/Publicaciones/tabid/83/Default.aspx. [Accessed: 03-Sep-2014].

[18] IRENA, "Experiencia Eólica en Colombia," Apr-2012.

Condensadores trifásicos cilíndricos

DISPROEL
Calidad y ahorro de energía

PARA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA




| Tensión | Potencia |
|---|---|
| 220 - 240 V | 1,5 kVAR - 17,9 kVAR |
| 380 - 415 V | 2,5 kVAR - 23,9 kVAR |
| 440 - 460 V | 2,5 kVAR - 32,8 kVAR |
| 480 - 525 V | 2,5 kVAR - 35,9 kVAR |

Con resistencias de descarga internas, **NO** removibles para su seguridad.

Sello con Reglamento Técnico
icontec internacional
RETIE Condensadores baja tensión

@Disproel /Disproel

Calle 64 G No. 92 - 39 Tel: 571 436 0066 Bogotá, Colombia, Suramérica E-mail: Ventas@disproel.com

www.disproel.com