

ALTERNAR: Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño

Andrés Pantoja; Darío Fajardo; Javier Revelo

Departamento de Electrónica
Universidad de Nariño
Pasto, Colombia

ad_pantoja@udenar.edu.co; dariofajardo@gmail.com; javierrevelof@gmail.com

Cel: 3122862881; 3137911617; 3218028358

Resumen — Analizando la problemática energética de Nariño en cuanto a la cobertura del servicio en las zonas apartadas, se hace necesario el desarrollo de un modelo que tenga en cuenta la inclusión de fuentes renovables, el aprovechamiento de los recursos locales y su gestión por medio de tecnologías avanzadas como las redes inteligentes. En este sentido, el proyecto “Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño – ALTERNAR”, plantea la caracterización de los recursos a nivel local y la investigación en sistemas integrales de suministro de energía en zonas no interconectadas para incentivar el desarrollo económico y social de estas regiones menos favorecidas.

Palabras Clave: Energías Alternativas, Investigación y Desarrollo, Microrredes Rurales, Redes Inteligentes.

Abstract — Taking into account the energy problems of the remote regions of the Nariño department, it is necessary the development of a model including renewable sources, local-natural resources, and the management of these elements by using advanced technologies such as smart grids. In this framework, the project so-called “Analysis of alternative energy opportunities with renewable sources in the Nariño department – ALTERNAR” proposes the characterization of the resources in a local environment and the research on complete energy-supply systems in off-grid areas to develop the economic and social status of this disadvantaged population.

Keywords: Renewable Energy, Research and Development, Rural Microgrids, Smart Grids.

I. INTRODUCCIÓN

Muchas de las regiones que no hacen parte del sistema central de interconexión en Nariño presentan dificultades marcadas en el suministro del servicio de energía dado como el difícil acceso geográfico a las zonas, las condiciones socioeconómicas de las poblaciones y la condición de Nariño como cola del sistema interconectado nacional. Además, a pesar de que el departamento cuenta con abundantes recursos que se pueden aprovechar en generación basada en métodos limpios, estos potenciales no se encuentran apropiadamente identificados, clasificados y cuantificados.

Esta situación causada por la carencia de estudios y mediciones reales de los potenciales en las zonas apartadas de gran parte del territorio nacional, dificulta el planteamiento de proyectos encaminados a suplir energía por métodos distintos a los convencionales y al desarrollo de nuevos potenciales de investigación en entidades del orden público y privado.

De esta manera, el fortalecimiento de un plan de investigación y desarrollo tecnológico en esta área es de vital importancia para estructurar la información requerida sobre las oportunidades energéticas de las regiones apartadas, la apropiación de nuevo conocimiento alrededor de la gestión energética, la proposición de proyectos sobre de la generación distribuida con fuentes no convencionales y el estudio de nuevas tendencias para la solución de los problemas con metodologías apropiadas, escalables, controlables y replicables que impulsen o presenten alternativas para el acceso universal a la energía. Este es el principal propósito del proyecto ALTERNAR, financiado por el fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del

Sistema General de Regalías y aprobado para su ejecución por parte de la Universidad de Nariño, en alianza estratégica con la Universidad de los Andes y ASC Ingeniería S.A. E.S.P., empresa privada comercializadora de energía en la región.

En este trabajo se presenta una descripción detallada del problema, los objetivos y productos esperados del proyecto, así como la metodología propuesta, los principales resultados alcanzados y las metas esperadas de ALTERNAR al finalizar su primera fase de ejecución.

II. PRESENTACIÓN PROBLEMA U OBJETIVO

El proyecto ALTERNAR nace como resultado de los estudios provistos por el Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento de Nariño – PERS Nariño [1], proyecto que permitió elaborar un diagnóstico de las condiciones de las zonas rurales de todas las subregiones del departamento en sus aspectos sociales, económicos y de necesidades energéticas en correspondencia con el plan de desarrollo departamental.

En Colombia, las zonas no interconectadas (ZNI) representan un 52% del territorio nacional incluyendo 39 cabeceras municipales cuya generación está basada en grupos electrógenos diésel [2]. Según [3], el déficit de cobertura en el país está en un 3,9%, representando alrededor de 470.000 viviendas sin servicio. De estas viviendas, se estima que un 12% deben ser abastecidas con soluciones aisladas. Cabe destacar que cerca de 180.000 usuarios en las ZNI son atendidos mediante soluciones diésel.

A nivel local, el problema de cobertura en las regiones apartadas del departamento de Nariño es particularmente relevante. Gracias a los programas de electrificación adelantados en los últimos años, el avance ha sido significativo en materia de cobertura y número de horas de servicio. Según el IPSE, se destaca la ampliación a 24 horas de las cabeceras municipales de Francisco Pizarro y de los cinco municipios de la subregión de Sanquianga (Santa Bárbara de Iscuandé, La Tola, El Charco, Olaya Herrera y Mosquera) mediante plantas diésel confiables [4].

Sin embargo, la mayoría de las poblaciones en las zonas rurales cuentan con escasas 4 o 5 horas de servicio y otras tantas no tienen acceso a la energía eléctrica, situación generalizada en los municipios de la costa pacífica. Según los resultados del PERS, a 2014 existen alrededor de 7.450 viviendas sin servicio, mientras que unos 28.000 usuarios obtienen el recurso de plantas diésel municipales, propias o compartidas [5].

Teniendo en cuenta esta problemática en este sector transversal al desarrollo integral de las regiones, se ha propuesto analizar soluciones basadas en microrredes rurales, que han probado ser una solución técnica y económicamente factible para el suministro de energía en zonas apartadas en países en vía de desarrollo [6], [7].

III. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

El objetivo principal del proyecto es el de contribuir a la definición de modelos adecuados de gestión para mejorar el suministro energético a las poblaciones apartadas y/o no interconectadas del departamento de Nariño, aprovechando integralmente recursos naturales disponibles con técnicas modernas de gestión de redes y fuentes descentralizadas de energía. Para esto, se han propuesto las siguientes actividades:

1. Identificar las principales fuentes energéticas alternativas disponibles en Nariño incluyendo aspectos geográficos, mediciones directas y proyecciones estadísticas de las fuentes más importantes.
2. Diseñar una posible solución de energización incluyendo redes inteligentes y generación distribuida para dos casos de estudio en ZNI de la costa pacífica nariñense con potenciales energéticos interesantes.
3. Implementar un sistema prototipo de red inteligente en el campus de la Universidad de Nariño para la apropiación e investigación de nuevas tecnologías en sistemas de distribución y generación con fuentes alternativas.
4. Fortalecer la línea de investigación en gestión energética en la Universidad de Nariño con apoyo de todas las entidades cooperantes con el fin de facilitar la formulación de proyectos sostenibles con base en los estudios de las principales fuentes alternativas identificadas.

La metodología para la realización de estas actividades inicia con un estudio técnico detallado de las fuentes disponibles en las zonas rurales de los municipios con menor cobertura eléctrica del departamento. Para esto se realiza la recopilación de la información dispersa en fuentes secundarias especializadas para la elaboración de mapas energéticos detallados. Para validar esta información, se realiza la instalación de estaciones meteorológicas que aporten mediciones reales y un sistema de información sobre posibilidades de generación de energía con viento, luz solar, hidrogenación y biomasa.

Con la información de datos reales y proyecciones estadísticas de las fuentes estudiadas, se escogieron dos

zonas con potencial adecuado para realizar el diseño técnico completo con miras a la implementación de una solución que incluya generación alternativa, redes de distribución, medición inteligente y un sistema de información basado en telecomunicaciones para el soporte del manejo de los recursos, el control de los generadores y la gestión del sistema por parte de la comunidad.

Con miras al desarrollo de proyectos en redes inteligentes, se propone realizar el diseño e implementación de una red prototipo en el campus de la Universidad de Nariño. Este laboratorio permitirá la apropiación tecnológica de las nuevas tendencias en redes de distribución de energía, el diseño apropiado de este tipo de redes a gran escala, las pruebas de sistemas comerciales para validación y formulación de proyectos con equipos validados y adaptados a las regiones, además de constituir un laboratorio de prueba para investigación fundamental y aplicada en el área de redes inteligentes.

Estos estudios posibilitan el fortalecimiento de una línea de investigación en gestión energética en la Universidad de Nariño con el apoyo de la Universidad de los Andes a través de la formación de investigadores a nivel maestría y doctorado. En general, esta línea se crea para garantizar la sostenibilidad de los proyectos iniciales y la nueva formulación de proyectos a nivel de factibilidad e implementación.

IV. RESULTADOS

Cerca de la finalización de la primera fase del proyecto prevista para dos años, se han tenido avances significativos en todas las tareas propuestas como se describe a continuación.

A. Caracterización de potenciales energéticos.

El proyecto ha desarrollado la plataforma denominada GEOALTERNAR que reúne de manera interactiva los mapas de potencial solar, eólico, de biomasa e hídrico de Nariño. La aplicación disponible en <http://geoalternar.udenar.edu.co> permite visualizar la capacidad energética local solar, eólica, de biomasa e hídrica con una resolución de 450 metros, que representa un nivel de detalle superior a las herramientas desarrolladas actualmente en el país. La Figura 1 presenta una muestra de los mapas desarrollados a partir de la investigación sobre métodos de inteligencia artificial, el uso de bases de datos reconocidas a nivel mundial, software especializado y la validación con modelos avalados por la comunidad científica internacional.

Para el caso del potencial solar, el desarrollo se realizó con base en el procesamiento de imágenes satelitales diarias

gratuitas del proyecto MODIS tomadas en el periodo desde el año 2005 al 2015 (alrededor de 3.910 imágenes). Con las imágenes filtradas, recortadas, procesadas y almacenadas, se corrieron modelos de regresión basados en inteligencia computacional para estimar la irradiancia en cada punto y analizar promedios diarios, mensuales y anuales durante la serie de tiempo. La validación cruzada de esta metodología ha mostrado niveles altos de correlación [8].

Haciendo uso de una técnica similar de procesamiento de imágenes de mayor resolución espacial (30 m/pixel), se estableció el potencial de biomasa para obtener datos promedio de la cantidad en toneladas por hectárea de este recurso. La fuente Landsat 7 realiza tomas cada 16 días, permitiendo establecer promedios adecuados de acuerdo con referentes internacionales validados en múltiples trabajos de investigación [9].

Para la caracterización del viento (velocidad y dirección), se utiliza la información de puntos específicos alrededor del departamento, adquiridos de la base de datos “Wind Prospective Tools” de 3TIER [10]. Con esta información horaria detallada en una ventana de más de 30 años, se aplican técnicas de interpolación espacial y temporal para analizar el potencial eólico a diferentes alturas (20 m, 50 m y 150 m). De igual manera, se realiza el estudio estadístico y la visualización de promedios discriminados para cada punto del mapa.

En cuanto al potencial hídrico, se elaboró un mapa de elevaciones y relieve a partir de imágenes RASTER para determinar los cauces de las principales corrientes en cada una de las cuencas hidrográficas de Nariño. Además, con el análisis de la información disponible del IDEAM sobre precipitaciones, temperaturas y evapotranspiración, se calcularon los caudales promedio de los ríos principales de las cuencas utilizando el programa especializado HIDROSIG [11].

Cabe destacar que el acceso a todos los mapas, metodologías y datos en formato de hoja de cálculo están disponibles de manera completa a cualquier usuario que acceda a la plataforma. A partir de esta información, el usuario puede identificar zonas de potencial elevado y proponer soluciones para el aprovechamiento de estos recursos.

La información de los mapas puede ser mejorada y validada con datos reales sobre las principales variables ambientales medidas con estaciones meteorológicas instaladas en puntos estratégicos. Para esto, el proyecto ha instalado 15 estaciones profesionales en los puntos detallados en la Figura 2, dando prioridad a los municipios con mayor deficiencia en cobertura de energía.

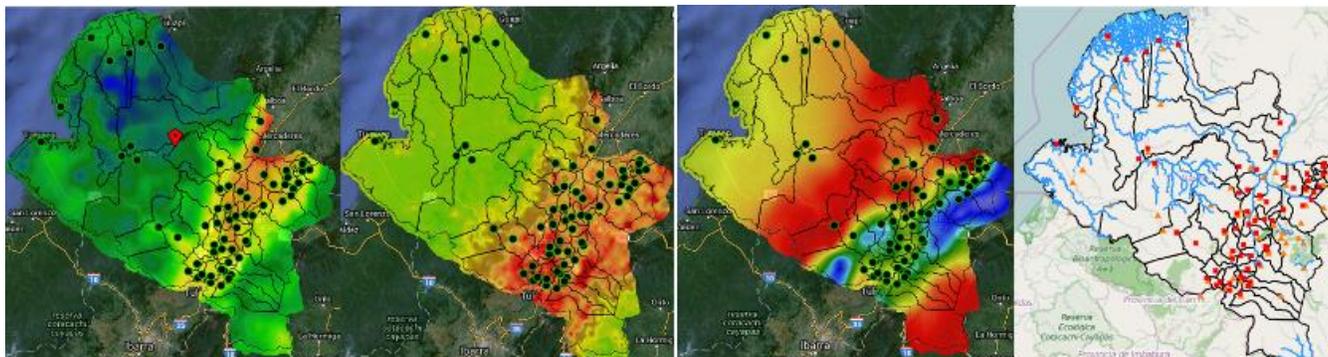


Figura 1. Muestra de los mapas energéticos del departamento de la plataforma <http://geoalternar.udenar.edu.co>. Se presentan los mapas de biomasa, solar, viento y potencial hídrico, respectivamente de izquierda a derecha.

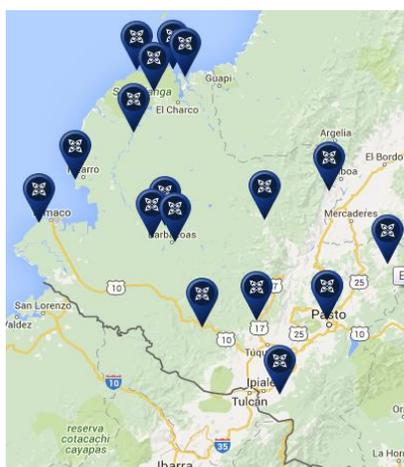


Figura 2. Localización de las estaciones meteorológicas instaladas por el proyecto.

Cada estación se energiza por un sistema solar fotovoltaico, cuenta con dos sensores de velocidad y dirección de viento, un medidor de radiación solar, temperatura, humedad y pluviosidad. Los sensores se conectan a una unidad de almacenamiento y comunicaciones que reportan sus datos a la plataforma de visualización en el servidor del proyecto en la Universidad de Nariño que puede ser consultado en <http://alternar.udenar.edu.co>.

Para cumplir con los estándares internacionales, cada módulo está montado sobre un mástil de 28 metros con estructura modular y anclada al piso con cimentación y tensores para seguridad. Es importante mencionar que la ubicación de las estaciones ha sido concertada con las diferentes comunidades por medio de un trabajo de difusión de los objetivos del proyecto y de concienciación sobre la importancia de analizar las mediciones y analizar los

resultados. Una imagen de una estación implementada y un ejemplo de la visualización de los datos se presentan en la Figura 3.



Figura 3. Estación meteorológica instalada en Bocagrande (Tumaco) y Plataforma de visualización de radiación solar. Disponible en <http://alternar.udenar.edu.co>.

B. Diseño de una microrred rural aislada en una ZNI.

Para hacer uso de la caracterización de los recursos mencionada anteriormente, se escogieron dos zonas con potenciales solares y eólicos elevados y con recursos biomásicos de residuos forestales de aserraderos cercanos y abundantes. En este caso se eligieron las veredas de Bocagrande (Tumaco) y El Naranjo (Mosquera), pertenecientes a las ZNI de la zona pacífica del departamento y con disponibilidad de información primaria proveniente de la estación meteorológica instalada en el municipio de Mosquera.

Como metodología para la realización de los diseños, en primer lugar se llevó a cabo un trabajo de campo en cada zona que comprende el acercamiento a la comunidad, la realización de mediciones de consumo eléctrico, el análisis de la infraestructura actual y la aplicación de encuestas sobre el uso y aprovechamiento de la energía. De esta manera se obtienen datos para la estimación de curvas de demanda horarias reales, así como las posibles capacidades de los sistemas de generación con cada una de las tecnologías. Es interesante la participación de la población en los procesos a través de talleres y cartografías sociales, en donde son los mismos habitantes quienes definen los puntos de mayor necesidad energética, la posible ubicación de las soluciones y nuevas ideas de autogestión del proyecto.

Para determinar la mejor solución es necesario realizar una optimización multiobjetivo teniendo en cuenta los costos de los equipos, el recurso disponible en cada zona, la demanda total estimada y los sistemas de respaldo que deben estar presentes para garantizar la prestación del servicio. Estos estudios se ejecutan con ayuda del programa especializado HOMER, que permite analizar diferentes configuraciones y obtener un dimensionamiento óptimo en cuanto al costo y la cobertura requerida [12].

Para ajustar el sistema de suministro de energía con la combinación óptima del sistema híbrido (diésel, biomasa, solar y eólica) se realizaron modificaciones en la línea base de demanda teniendo en escenarios de instalación futuros de sistemas productivos y de bienestar de la comunidad, tales como refrigeración y sistemas de potabilización de agua, además del análisis de carga diversificada y crecimiento poblacional a 15 años.

Actualmente, las comunidades cuentan con plantas diésel que suministran energía alrededor de 4 horas mediante grupos de 50 kVA y 30 kVA en Bocagrande y El Naranjo, respectivamente, equipos que se consideran de respaldo para las nuevas soluciones. Además, se considera que la localidad de Bocagrande estará pronto interconectada según información del operador de red.

De acuerdo con simulaciones de las cargas estimadas y considerando los costos de inversión, operación y mantenimiento de todas las fuentes, la solución en El Naranjo tendría una configuración híbrida con 3 aerogeneradores de 15 kWp, un sistema fotovoltaico de 58 kWp, un gasificador de 20 kWp, un banco de baterías de 24 unidades de 2 V, 3500 Ah y el generador diésel existente de respaldo de 30 kW. En este esquema, se tiene una producción de energía fotovoltaica de 34,39%; diésel de 1,92%; con el gasificador de 22,44% y el sistema eólico con un 41,24% y un factor de capacidad superior al 50% a una altura de torre de 16 m. La autonomía del arreglo de baterías

es de 5.55 horas, mientras que el sistema de respaldo diésel solo tendría una operación de 572 h/año, en comparación con el tiempo de operación del gasificador que supera las 4.540 h/año.

La solución seleccionada para el Bocagrande incluye solamente un gasificador 20 kW y conexión a la red, asumiendo que el proyecto aprobado para interconexión se lleve a cabo efectivamente. Con la demanda proyectada, la producción del gasificador estaría alrededor de 43,63%; mientras que el suministro de la red es de 56,37%, con 4.380 h/año de operación del gasificador.

Técnicamente, la instalación de las unidades de generación y el sistema de comunicaciones y control, permiten la cobertura de la demanda continua las 24 horas incluyendo sistemas de potabilización de agua y de refrigeración comunitaria como complemento a la pesca, principal actividad económica de la zona. Sin embargo, para el funcionamiento y sostenibilidad de la microrred se hace necesario que la comunidad se organice en torno un esquema cooperativo de gestión, cuya operación se soporte en una estructura flexible y que facilite la apropiación del sistema completo.

La viabilidad y funcionamiento de la microrred requiere resolver varios desafíos desde el punto de vista microeconómico y desde la lógica institucional de los miembros de la comunidad que se encargaría de operar y recibir los beneficios de la energía eléctrica producida. Por un lado, el sistema debe contar con los aportes de los miembros de la comunidad para tener acceso a los insumos necesarios para la generación. Por otro, el consumo agregado de la energía por parte de los usuarios puede sobrepasar la capacidad de producción máxima de la microrred. En ambas ocasiones, provisión y consumo, existen problemas de acción colectiva que deben ser resueltos desde las lógicas y arreglos institucionales de la comunidad.

La implementación de esta microrred en una siguiente fase de ALTERNAR constituiría la primera microrred rural híbrida en Colombia, que permitiría la replicación en ZNI con condiciones similares a los casos de estudio y el aprovechamiento sostenible de las fuentes renovables de energía en locaciones aisladas.

C. Microrred piloto en el campus de la Universidad de Nariño.

Para el diseño de una red inteligente en la Universidad de Nariño, inicialmente se realizó un diagnóstico de la red actual y de los cambios que deberían hacerse para su evolución a una red inteligente. Por esto, se tomaron datos de consumo y estimaciones de cargas en la red de media y baja tensión para proponer un modelo de la red y realizar el

análisis de los flujos de potencia, pérdidas y posibles medidas de eficiencia energética. Las estimaciones y modelos han sido validados a partir de mediciones realizadas con analizadores de red en cada transformador por un periodo de tiempo superior a ocho días, caracterizando la demanda en días de clases y fines de semana.

Con los modelos validados se realizaron simulaciones de la influencia de la instalación de posibles generadores solares, eólicos y de biomasa alrededor del campus, a fin de estudiar capacidades, protecciones y adaptaciones. Uno de los esquemas simulados se muestra en la Figura 4.

Estos diseños también involucran el dimensionamiento de una red de comunicaciones que soporte la medición inteligente en cada uno de los bloques del campus, de tal manera que se pueda establecer un centro de monitoreo y control de las cargas y establecer esquemas de ahorro, eficiencia energética, gestión de la demanda y asignación de los recursos de cada generador. La topología de comunicaciones diseñada con base en enlaces inalámbricos se muestra en la Figura 5.

El diseño de la microrred final incluye la instalación de 2 sistemas fotovoltaicos de 12,4 kWp cada uno en el bloque de laboratorios de docencia, teniendo configuraciones de inyección a red y de un sistema híbrido con almacenamiento y cargas prioritarias de iluminación de pasillos y escaleras. Además, se instala un aerogenerador de 5 kWp junto con una estación meteorológica para analizar el rendimiento de la turbina. Todos los generadores están monitoreados de forma telemétrica para determinar su producción y los costos evitados en consumo de energía

Por otra parte, todo el campus estará gestionado a través de un sistema de medición inteligente con unidades en cada transformador de la red y un sistema general de monitoreo y control SCADA profesional para el control y visualización vía web en la plataforma del proyecto, como se muestra en la Figura 6.

Como un complemento al denominado “Campus Verde Udenar”, se incluye un componente correspondiente a una alternativa de movilidad y transporte mediante un sistema de bicicletas eléctricas. Esta flota de 60 bicicletas para préstamo a la comunidad universitaria ha sido integrada gracias a un proyecto paralelo financiado por el Programa de Energías Limpias para Colombia (CEP) de USAID.

El esquema de transporte tiene un respaldo de un sistema fotovoltaico adicional de inyección a red de 12.4 kWp para compensar la energía utilizada en la carga de baterías. El generador es monitoreado e integrado al SCADA central mediante un medidor bidireccional para analizar los consumos y excedentes del sistema que cuenta con un

esquema de gestión de préstamo de los vehículos, una base de datos conectada al sistema central y un monitoreo constante de las bicicletas con GPS.

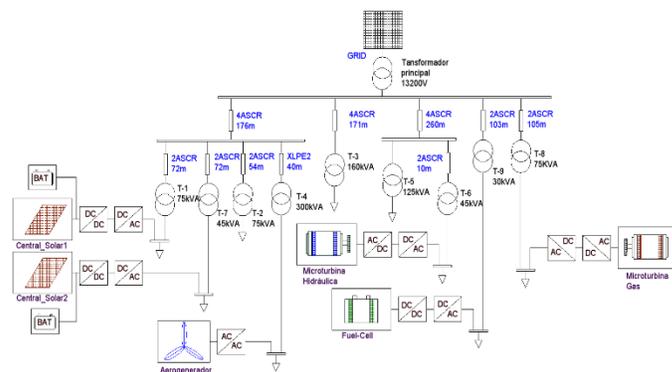


Figura 4. Diagrama esquemático de la red eléctrica de la Universidad de Nariño con la inclusión de generadores con energías alternativas.

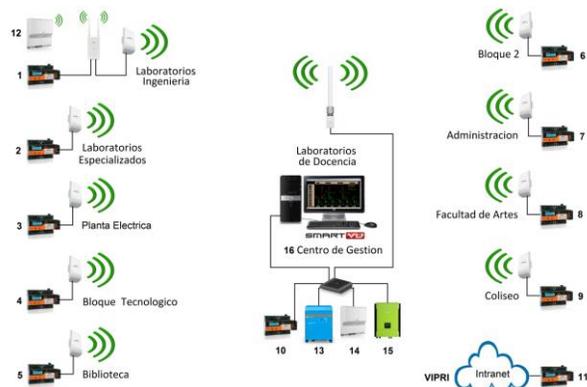


Figura 5. Topología del sistema de comunicaciones de la Microrred de la Universidad de Nariño.



Figura 6. Interfaz gráfica del sistema general de monitoreo y control SCADA.

D. Fortalecimiento de la línea de investigación en gestión energética en la Universidad de Nariño.

Esta actividad ha estado soportada principalmente por una red de investigadores en las universidades de los Andes y de Nariño, con talento humano a diferentes niveles. El proyecto ha patrocinado la formación de 15 estudiantes de pregrado y 4 jóvenes investigadores en Udenar, así como 6 magísteres, 2 estudiantes de doctorado y una pasantía posdoctoral en Uniandes. Todos los aportes en las tesis de los investigadores han sido dirigidos a las actividades del proyecto, desarrollando métodos novedosos y aportes tecnológicos importantes acerca de estrategias de control a diferentes niveles en las redes inteligentes, estimación de recursos, optimización y diseños de soluciones en microrredes rurales.

Como resultado de esta interacción se han publicado 5 artículos en revistas indexadas (3 de ellos internacionales clasificación A1 Colciencias), 3 capítulos de libro resultado de investigación, 8 ponencias en eventos internacionales y 3 ponencias en conferencias nacionales. Además, se organizó el Tercer Seminario Internacional de Energización con Fuentes Alternativas en la ciudad de Pasto, con presencia de importantes investigadores de Chile, Brasil y Colombia, quienes conocieron la iniciativa ALTERNAR y realizaron importantes aportes al desarrollo del proyecto desde la perspectiva de los avances en sus universidades y regiones.

Por otra parte, se creó el programa de Maestría en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Nariño en convenio con la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. En este programa se ha priorizado la investigación en temáticas asociadas con el proyecto con el fin de fortalecer los resultados e incentivar el desarrollo de tesis en investigación básica y aplicada. Como soporte práctico, se dotó un laboratorio de energías alternativas y microrredes en la Universidad de Nariño.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el proyecto ALTERNAR se ha mostrado que la investigación aplicada financiada con recursos del fondo CTeI puede contribuir al desarrollo de modelos novedosos para resolver problemáticas regionales de alto impacto.

Los resultados muestran que la caracterización de los recursos renovables junto con la apropiación tecnológica de nuevas tendencias facilita el aprovechamiento de las capacidades locales para la energización sostenible de regiones apartadas como base de un desarrollo socioeconómico de las poblaciones más necesitadas.

VI. RECONOCIMIENTOS

Es importante destacar la gestión de la Gobernación de Nariño en la presentación de esta primera fase al fondo de CTeI del SGR. Se reconoce principalmente la labor del equipo ALTERNAR que incluye un grupo interdisciplinario de investigadores, docentes, estudiantes y administrativos de las entidades participantes, que gracias a su trabajo dedicado han permitido obtener avances interesantes y una visión a futuro sobre el desarrollo de las energías alternativas. En especial, se destaca el trabajo del equipo de investigadores de la Universidad de los Andes en cabeza del profesor Nicanor Quijano y la labor de ASC Ingeniería S.A. E.S.P. bajo la coordinación del ingeniero David Salcedo.

VII. REFERENCIAS

- [1] O. Rey, J. Cuenca, A. Pantoja, D. Fajardo, W. Achicanoy, y G. Chávez, Planes de Energización Rural Sostenibles PERS. La Energía: un medio para el desarrollo productivo rural. XI Jornadas de distribución de energía eléctrica, 2014.
- [2] J. Giraldo y C. Álvarez, La generación distribuida como alternativa energética en zonas no interconectadas de Colombia. Revista CIDET, vol 11, pp. 9-20, 2014. Disponible en <http://publicacionescidet.com/sites/default/files/revista2/index.html>.
- [3] Unidad de Planeración Minero Energética UPME, Plan Indicativo de Expansión de la Cobertura Eléctrica 2013-2017, Bogotá DC, 2014.
- [4] Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas no Interconectadas IPSE, Centro Nacional de Monitoreo, Informe de Gestión, 2014. Disponible en: <http://190.216.196.84/cnm/cnm.php>.
- [5] Universidad de Nariño, Diagnóstico energético y social de las zonas rurales del departamento de Nariño. Reporte técnico PERS, 2014. Disponible en <http://sipersn.udenar.edu.co:90/sipersn/index.php?per=s&ener=s>.
- [6] G. Jiménez-Estévez, R. Palma-Behnke, D. Ortiz-Villalba, C. Silva-Montes, and O. Núñez-Mata, It takes a village. IEEE Power and Energy Magazine, vol. 12, no. 4, pp. 60-69, 2014.
- [7] D. Schnitzer, D. Shinde-Lounsbury, J. Carvallo, R. Deshmukh, J. Apt, and D. Kammen, Microgrids for Rural Electrification: A critical review of best practices based on seven case studies. United Nations Foundation, 2014.
- [8] O. Cabrera, B. Champutiz, A. Calderón, and A. Pantoja. Landsat and MODIS Satellite Image Processing for Solar Irradiance Estimation in the Department of Narino-Colombia, in proceedings of the XXI symposium on signal processing, images, and artificial vision, 2016.
- [9] A. Baccini, N. Laporte, S.J. Goetz, M. Sun, and H. Dong, A RST map of tropical Africa's above-ground biomass derived from satellite imagery. Environmental Research Letters, Vol. 3, No. 4, 2008.
- [10] VAISALA INC. 3TIER Wind Prospective Tools, 2015, Disponible en: <http://www.3tier.com>.
- [11] Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, HIDROSIG 4.0, disponible en: <http://minas.medellin.unal.edu.co/departamentos/geocienciasymedioambiente/hidrosig/es/>.
- [12] T. Lambert, P. Gilman, and P. Lilienthal, Micropower system modeling with HOMER, Integration of Alternative Sources of Energy, Farret FA, Simões MG, John Wiley & Sons, 2005.