

Mejoramiento de la Calidad del Producto Técnico e Impacto en la Utilización de Generación Distribuida con Energías Renovables en una Zona de la provincia de Manabí

C. Aguilar¹

L. Galarza¹

A. Recalde²

¹Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad, CNEL EP

E-mail: caguilar@cnel.gob.ec, lgalarza@cnel.gob.ec

²Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL

E-mail: arecalde@espol.edu.ec

Resumen

En el Ecuador existen zonas de mediana demanda donde el sistema eléctrico de distribución tiene alto potencial de ser atendido con soluciones tecnológicas que mejoren la calidad del servicio eléctrico implementando criterios de sostenibilidad, uso eficiente de la energía, autonomía energética, disminución de emisiones, y paralelamente se atenga al cumplimiento de las regulaciones nacionales vigentes. Se ha escogido una zona de la provincia de Manabí con problemas de voltaje y calidad como escenario base para la comparación de soluciones tradicionales de regulación reactiva o ajustes de transformadores y propuestas que utilicen generación distribuida con energías renovables incrementando los beneficios estratégicos. El presente análisis permitirá evaluar las ventajas y desventajas de instalaciones menores a 1 MW como las permitidas en la regulación CONELEC N°002/13 con las exigencias de CONELEC N°004/01 estudiando diversos modos de operación como los permitidos en IEEE Std. 929 y IEEE Std. 1547.

Palabras clave—Generación distribuida, Energías renovables, calidad de energía, Producto Técnico.

Abstract

Novel technical solutions have a high potential to assist important demand in the Ecuadorian rural electrical distribution network. There could be improvements in the quality of electrical service with implementation of sustainability criteria, energy efficiency and autonomy policies, emission reduction programs, and national regulation compliances. The base case selected was a rural location in Manabí province with constant voltage and quality problems for which a comparison of traditional reactive compensation methods and distributed generation with renewable energy for strategic development proposals were analysed. This study will evaluate advantages and disadvantages on installations up to 1MW. The regulation for non-conventional generation CONELEC N°002/13 and CONELEC N°004/01 for electrical quality will provide the statutory frame. The analysis will include different operation modes as described in IEEE Std. 929 and IEEE Std. 1547.

Index terms—Distributed generation, Renewable energies, Energy quality, Distribution reliability.

Recibido: 22-09-2014, Aprobado tras revisión: 21-11-2014.

Forma sugerida de citación: Aguilar, C.; Galarza, L.; Recalde, A. (2015). "Mejoramiento de la Calidad del Producto Técnico e Impacto en la Utilización de Generación Distribuida con Energías Renovables en una Zona de la provincia de Manabí". Revista Técnica "energía". N° 11, Pp. 92-100. ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador la producción de electricidad proviene principalmente de centrales hidroeléctricas con recursos hidrológicos abundantes y se estima incrementar este aprovechamiento con la construcción de los proyectos de generación emblemáticos hidroeléctricos [1]. El cambio en la matriz energética requiere impulsar la sostenibilidad económica, la soberanía energética, el consumo eficiente de energía, la reducción de demanda energética, y la articulación de la academia con los procesos de transformación [2]. La estrategia de desarrollo propone no solamente contribuir con compromisos medioambientales como la reducción de emisiones mediante la disminución en la utilización de centrales térmicas a combustible o la sustentabilidad en el consumo de la energía, sino también sustituir paulatinamente el uso de gas licuado de petróleo en el sector residencial y establecer una autonomía energética que sostenga el crecimiento de la demanda comercial e industrial del país.

A nivel mundial, el grado de utilización de recursos renovables no convencionales¹ (ERNC) ha tenido gran penetración en los sistemas de transmisión con la implementación de grandes proyectos energéticos como parques eólicos, generación con concentración solar, plantas geotérmicas y de biomasa, y superficies extensas de paneles fotovoltaicos. De acuerdo al reporte de REMIPEG [3] correspondiente al primer semestre del 2014, la producción de energía renovable mundial en el 2013 fue aproximadamente 5PWh que corresponde a una capacidad instalada de 1,658 GW², lo que representa una participación mayor al 20% en el panorama energético mundial. De hecho, alrededor del 35% de esta participación proviene de ERNC (1.3PWh). Estas inversiones se ven intensificadas por las políticas ambientales en la limitación de CO₂ proveniente de generación con combustibles fósiles y aminorar el impacto en el cambio climático. Adicionalmente, el fluctuante y a la vez creciente precio del petróleo ha fomentado el despliegue del uso de energías limpias y alternativas acompañado de programas gubernamentales de incentivos por kWh generado [4]. En orden de capacidad instalada acumulada, la energía hidráulica (1103.8GW) lidera las estadísticas mundiales seguida de la energía eólica (315.7GW), solar fotovoltaica (134.7GW), biomasa (88GW) y finalmente geotérmica (12GW) [4]. Al tener una capacidad acumulada de alrededor de 150GW, Latinoamérica aporta un 9% de energía renovable en el mundo, principalmente hidroeléctrica debido a su alto potencial hídrico y condiciones orográficas. Las iniciativas en el uso de ERNC han dado resultados

positivos en diversos países de la región aun cuando se prioriza inversiones hidroeléctricas de mediana y gran escala. Los programas de generación de pequeña escala pueden solucionar el consumo de energía eléctrica en zonas rurales con problemas energéticos, pero la cobertura debe fomentar el desarrollo económico local con incentivos de las autoridades y la ejecución de una política integrada [5].

El término ‘generación distribuida’ (GD) se refiere a generadores de pequeña escala conectados a la red de distribución así como unidades de gran producción basados en energías renovables conectados a la red de transmisión. Una introducción masiva de GD con energías renovables sin cambios o adaptaciones en sistema de potencia resultaría en niveles inaceptables de calidad y confiabilidad [6]. No obstante ciertas capacidades pueden ser integradas sin cambio alguno en la red obteniendo niveles aceptables de confiabilidad. Para resolver el problema se requiere definir una capacidad huésped por encima de la cual el rendimiento de la red se deteriora. El acercamiento implica definir índices de confiabilidad y calidad de producto técnico para determinar la ventana de operación adecuada [6].

2. ENERGIAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN EL ECUADOR

Los mecanismos de inclusión de energías renovables en el Ecuador se alinean con el Plan Nacional del Buen Vivir. En el PNBV 2013 – 2017 se afirma el compromiso para obtener el máximo provecho del potencial hídrico conjuntamente con fuentes de energías eólicas, geotérmicas y biocombustibles [7]. El potencial eléctrico aprovechable está dividido en hidráulico 22000MW, solar 6500MW, geotérmico 1000MW, y eólico con 900MW [8]. En el contexto energético ecuatoriano³, la promoción de ERNC se ajustan a cupos dispuestos por el CONELEC y los proyectos de esta categoría sumarán 693,28MW al 2016 [8] teniéndose previsto conceder cupos de 100MW para energía eólica, 100MW para biomasa y biogás y 200MW para geotérmica. La tecnología fotovoltaica no está mantenida dentro del esquema de incentivos [8]. De acuerdo a la legislación ecuatoriana, el estado promoverá el uso de tecnologías limpias y energías alternativas (Art. 15), la eficiencia energética (Art. 413) y adoptará medidas para mitigación del cambio climático (Art. 414).

2.1. Energía Solar Fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica es una tecnología madura que ha sido exitosamente implementada

1 Se entiende en este contexto que las energías renovables referidas son aquellas que no incluyen la producción hidroeléctrica, extensamente explotada a nivel mundial.

2 La capacidad acumulada de energía hidroeléctrica alcanza los 1,103.8 GW lo que dejaría al resto de fuentes renovables con un saldo de 554.2 GW de capacidad instalada. La producción de energía mundial en el 2013 fue de aproximadamente 23PWh.

3 Resumen de proyectos de generación de Energías Renovables No Convencionales sujetos a las disposiciones y prerrogativas de la Regulación No. CONELEC 004/11

en formatos residenciales en otros países pero se incrementa la eficiencia cuando se utiliza en concentración solar. En el Ecuador no existe una regulación que incentive el uso de energías fotovoltaicas a nivel residencial. No obstante las granjas solares son una opción que se acoge de buena forma a la regulación del CONELEC 004/11.

2.2. Biocombustible y Biomasa

El uso de biocombustibles en el Ecuador es un recurso potencialmente accesible para mejorar el producto técnico de algunas zonas de interés. Con el adecuado impulso en la producción de biomasa a nivel local se puede articular la implementación de plantas generadoras de mediana escala. La biomasa está compuesta por material proveniente de organismos vegetales o animales que pueden servir como fuente de energía. Con la tecnología actual, se clasifica principalmente en cultivos energéticos y residuos de tipo agroindustrial y domésticos. Según la producción de residuos agroindustriales en el Ecuador, el costo de producción de biodiesel a partir de palma aceitera⁴ (3.5ton/ha.) está alrededor de USD1.055/ton., de los cuales el 76% de debe al costo de la materia prima. De hecho, el costo del biodiesel está en función del costo del cultivo que da origen al aceite vegetal producido. Entre otras fuentes se encuentran las oleaginosas como el piñón (1,75ton/ha.), la higuera (0,40ton/ha.), la soya (0,30ton/ha.) y el girasol (0.75ton/ha.) [9]. Por otro lado, el aprovechamiento de la biomasa con biodigestores ha dado resultado positivos en diversas provincias del país a través del MAGAP⁵.

3. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA ZONA DE CASA LAGARTO EN MANABÍ

Se ha seleccionado alternativas de compensación tradicionales y de ERNC para mejorar el producto técnico en el cantón Santa Ana en el área de concesión de la Unidad de Negocio Manabí de CNEL EP. En este proceso se realizan simulaciones de la red de distribución para comparar las mejoras de las posibles alternativas.

El cantón Santa Ana posee las parroquias de Santa Ana de Vuelta Larga, Ayacucho, La Unión, San Pablo y Honorato Vásquez. Estos sectores son alimentados desde la subestación Lodana (69kV/13.8kV) que posee dos transformadores, uno de 5MVA y otro de 2.5MVA que dan servicio hacia el sector de Casa Lagarto y al cantón Santa Ana con alimentadores

4 La provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas es muy conocida por su producción de aceite de palma africana.
5 Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, a través del enlace www.agricultura.gob.ec

que llevan el mismo nombre. La zona estudiada se muestra en la Fig. 1 y el esquema general de red, en la Fig. 2.



Figura 1: Ubicación geográfica de la zona en estudio

El servicio de abastecimiento a dicha zona alcanza aproximadamente 10576 clientes donde el 48% son residenciales urbanos y el 52% residenciales rurales. Adicionalmente existen tres sistemas de bombeo de agua potable: Municipal y Guarumo en el alimentador Casa Lagarto, y una central de bombeo de la Empresa Pública Aguas de Manta (EPAM) en el alimentador Santa Ana.

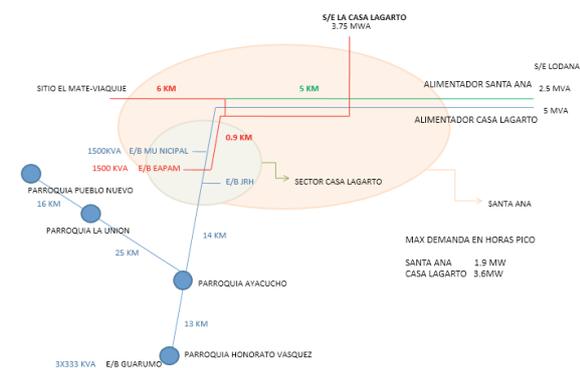


Figura 2: Esquema general del cantón Santa Ana

3.1. Caso base en Casa Lagarto

En la actualidad se registra un producto técnico regular en el cantón Santa Ana posiblemente debido a la operación de las estaciones de bombeo de agua potable. Se ha tomado la decisión de instalar un transformador de 3.75MW proveniente de la provincia de Santa Elena para el sistema de bombeo de EPAM. Los análisis de soluciones para mejorar el producto técnico serán sustentados con simulaciones en el Analizador de Sistemas de Distribución CYMDIST©. El perfil de voltaje actual en Santa Ana (caso base) puede observarse en la Fig. 3, y se ha determinado que existe bajo voltaje (color rojo) en el sector de Ayacucho y Casa Lagarto, correspondientes a los alimentadores D101 LODANA 01 (Casa Lagarto), D102 LODANA 02 (Santa Ana) y C101 JABONCILLO según su codificación en el sistema

de información geográfica GIS. El alimentador Casa Lagarto está dividido en dos tramos, el primero desde la subestación Lodana hasta la subestación Casa Lagarto, y el segundo desde la subestación Casa Lagarto hasta el sector de Taina. Las fases del alimentador troncal de Casa Lagarto están desbalanceadas. El perfil de voltaje se muestra en la Fig. 3. En Casa Lagarto, se observa un desequilibrio en la fase C respecto a las fases A y B, mientras que Jaboncillo no presenta desequilibrio en sus fases. Las simulaciones de flujo de potencia se realizaron en períodos de demanda máxima (100%), media (70%), y mínima (50%).

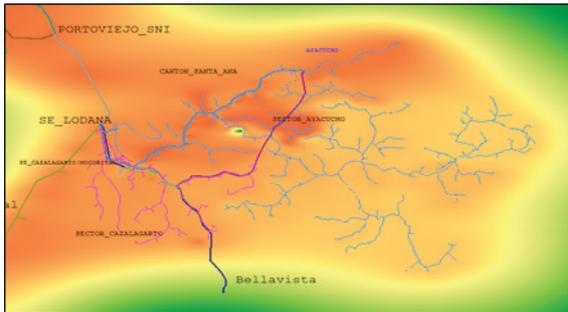


Figura 3: Perfil de voltaje actual en el cantón Santa Ana

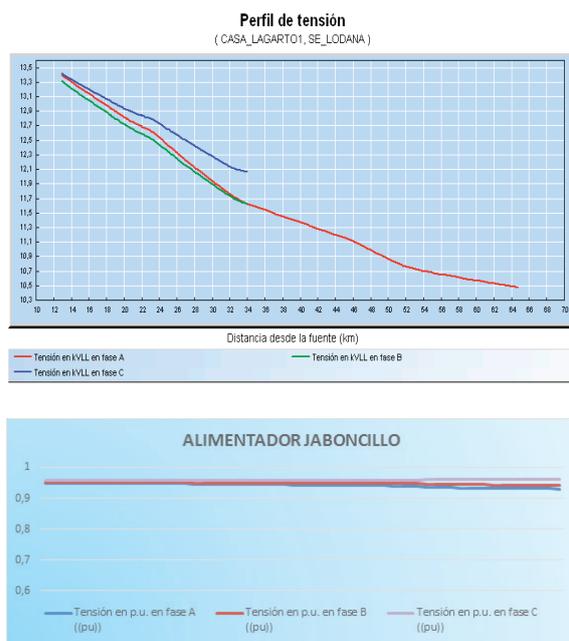


Figura 4: Perfil de voltaje actual en Casa Lagarto y Jaboncillo

En la Tabla 1 se puede observar que en Casa Lagarto existen 416.61kW de pérdidas de potencia que representa un 28% de la potencia total entregada por el alimentador. En términos energéticos, las pérdidas acumulan 187.47kWh que significa un 18% de la energía disponible total del alimentador (1042.31kWh). El voltaje en los tramos del alimentador oscila entre 0.666 y 0.668 p.u. en demanda máxima y 0.783 y 0.785 p.u. en demanda mínima. Considerando la demanda media, esta sección de distribución se encuentra en la franja de valores considerados como

no cumplidores con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, es decir, el servicio eléctrico está incumpliendo con los límites de voltaje de la regulación CONELEC 004/01 de Calidad del Servicio Eléctrico para las Unidades Distribuidoras. En la Tabla 1 se puede observar que en Casa Lagarto existen 416.61kW de pérdidas de potencia que representa un 28% de la potencia total entregada por el alimentador. En la siguiente sección se va a describir los estudios de mejoramiento de calidad del producto técnico incluyendo soluciones convencionales con compensación reactiva y soluciones con GD y energías renovables.

Tabla 1: Pérdidas totales del alimentador Casa Lagarto

Descripción pérdidas	kW	kVAR	kVA	f.p. (%)
En las líneas	222.74	206.41	303.68	73.35
En los transformadores	193.86	14.04	194.37	99.74
TOTALES	416.61	220.45	471.34	88.39

3.2. Ajuste del tap de transformador en las subestaciones Lodana y Casa Lagarto

El ajuste en el tap del lado de alta en los dos transformadores de las subestaciones Lodana y Casa Lagarto es considerada como la primera alternativa más económica para elevar el voltaje. La mejor opción resulta ser el incremento del tap en dos pasos (2 x 2.5%) del lado de alta del transformador⁶. Mediante este método, se logra una mejora de voltaje. A demanda media Casa Lagarto alcanza un valor de 0.79 p.u. que en relación con sus condiciones normales (0.73 p.u.) se mejora un 7.4%. Los resultados para esta alternativa pueden observarse en la Fig. 5.

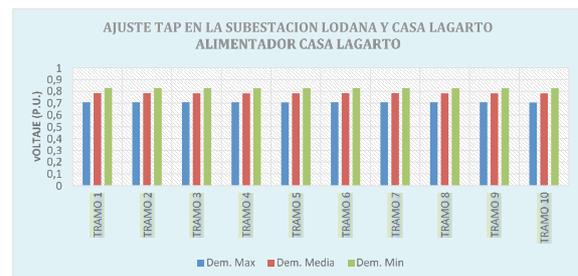


Figura 5: Perfil de voltaje Casa Lagarto con aumento de tap

3.3. Alternativa 1: Ajuste del tap de transformador con 3 reguladores trifásicos en Casa Lagarto

Con la alternativa anterior se pudo alcanzar una mejora en los voltajes pero aún existe un nivel de voltaje inaceptable. En virtud de lo estudiado, se propone ubicar un regulador trifásico de voltaje de capacidad

6 Se ha cuidado en no elevar tanto el tap de los transformadores para no afectar el voltaje en los períodos de demanda mínima.

138kVA – 100 A en la red del alimentador Casa Lagarto en el tramo 172125_MTA con coordenadas georreferenciadas X=571988.9 Y=9866338.0, un regulador bifásico en las coordenadas X=599231.9 Y=9872110.0, y monofásico en la ubicación X=589149.2 Y=9865173.0, ubicaciones mostradas en la Fig. 6. Ésta alternativa mantiene el ajuste del tap de transformador de la alternativa anterior. El regulador consiste en un autotransformador con taps en uno de sus devanados, el cual permite la variación del voltaje entregado y puede ser operado bajo carga. Como se observa en la Fig. 7, a demanda media el voltaje en Casa Lagarto alcanza 0.92 p.u. lo que supone una mejoría de 26% con respecto al caso base.



Figura 6: Ubicación de reguladores en alimentador Casa Lagarto

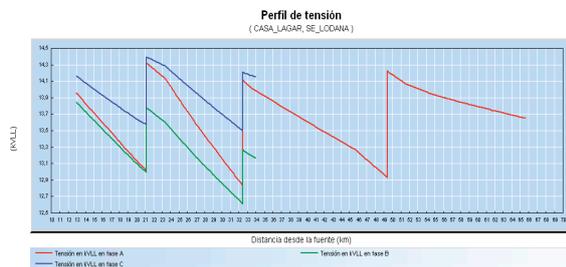


Figura 7: Perfil de voltaje con reguladores 3f/1f en Casa Lagarto

3.4. Alternativa 2: Ubicación de capacitores con localización optimizada

La colocación de bancos de capacitores es una alternativa que tiene por objetivo suministrar potencia reactiva y como efecto secundario a este suministro, regular la tensión del sistema. Se ha colocado dos bancos trifásicos de 150kVAR fijos no controlables en el tramo 170777_MTA con ubicaciones X=580151.8 Y=9871396 y X=587441.7 Y=98771534. Se ha mantenido el cambio de tap +2 x 2.5% en el transformador de la subestación Casa Lagarto. El perfil de voltaje en Santa Ana ha mejorado, pero en el alimentador Casa Lagarto se mantuvo con un perfil de voltaje bajo. El resultado se muestra en la Fig. 8.

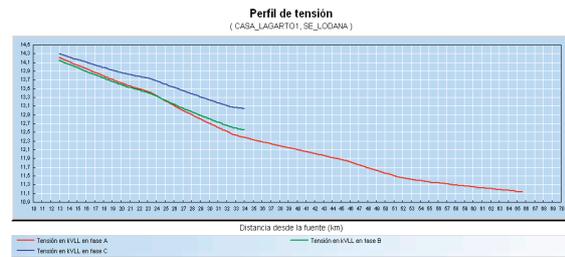


Figura 8: Perfil de voltaje con localización óptima de capacitores en el alimentador Casa Lagarto

3.5. Alternativa 3: Granja de Paneles Fotovoltaicos

Para el establecimiento de una granja fotovoltaica en la sección de Casa Lagarto se tiene que realizar el dimensionamiento de lo siguiente:

- No. De Paneles Fotovoltaicos: compuestos por un conjunto de celdas con salida de 12 y 24V.
- Banco de Baterías: acumuladores del exceso de energía producida en el día. Las más comunes son de plomo ácido, mientras que las más duraderas son de níquel cadmio.
- Regulador de carga e inversor: asegura el punto de operación con máxima eficiencia. Suele ser configuradas con técnicas de *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) como observación y perturbación, conductancia incremental, barrido de corriente, y voltaje constante.

El dimensionamiento de los equipos se realizará proponiendo la disminución de las pérdidas en máxima medida. El estudio propone la realización de múltiples simulaciones conectando la granja fotovoltaica en distintos puntos a lo largo del alimentador. Las características básicas de las células fotovoltaicas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Características de células fotovoltaicas

Corriente en MPP	IMP	4.6	A
Voltaje en MPP	VMP	17.3	V
I de cortocircuito	ISC	5	A
V de circuito abierto	VOC	21.9	V
Coefficiente de temperatura de circuito cerrado	ASTC	0.0314	%/°C
Insolación	GSTC	1000	W/m ²

Para la ubicación y tamaño óptimo de la granja fotovoltaica en el alimentador Casa Lagarto se realizó el flujo de proceso detallado a continuación.

1. Resolver flujo de potencia con pérdidas
2. Iniciar $i = 1$
3. Potencia $P(a) = 0.1$ MW
4. Ubicar la granja solar en la ubicación i con nivel de potencia $P(a)$
5. Resolver flujo de potencia con pérdidas
6. Si las pérdidas son menores que el nivel de referencia, ir a 7, de lo contrario registrar ubicación i con pérdidas y $P(a)$.
7. Si la potencia $P(a)$ es menor que la demanda máxima, ir a 8, de lo contrario, $P(a) = P(a) + 0.1$ MW y regresar al paso 4.
8. Si i alcanzó el último nodo de la troncal, finalizar el proceso, de lo contrario $i = i + 1$ y regresar al paso 3.

Con las múltiples simulaciones realizadas se determinó el punto más óptimo de ubicación del banco de capacitores mediante los resultados mostrados en la Fig. 9. El generador fotovoltaico se colocó a distintas distancias con respecto a la cabecera del alimentador. La minimización de las pérdidas totales del alimentador fue el punto de decisión fundamental para la selección de la ubicación de la granja fotovoltaica. Debido a la configuración del alimentador, que cuenta con grandes extensiones de redes bifásicas, el punto de ubicación no concordó con el centro de carga, sino con el punto de bifurcación del ramal bifásico más grande. En la optimización de la capacidad de la planta generadora se podrán observar los distintos valores de potencia máxima aplicada para disminuir las pérdidas técnicas y mejorar el voltaje en el punto de aplicación óptimo $X=579274.72$ $Y=9872085.82$ según se muestra en la Fig. 10. Las pérdidas mínimas se dan cuando la fuente generadora tiene una capacidad de 0.8MW. Los voltajes trifásicos son 7.8kV, 7kV y 6.9kV que equivale a una regulación de 0.83 p.u. en media tensión.

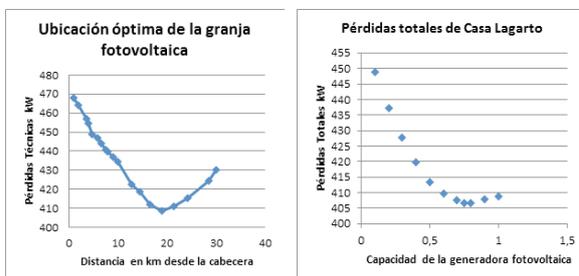


Figura 9: Perfil de voltaje con reguladores 3f/1f en Casa Lagarto

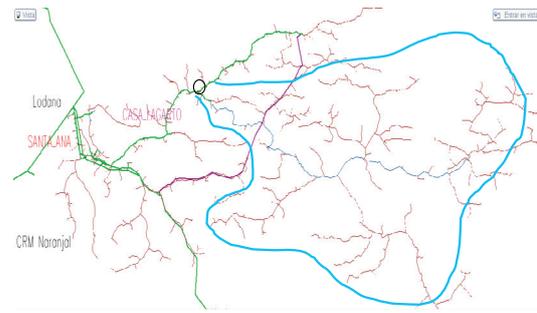


Figura 10: Localización óptima de generación fotovoltaica

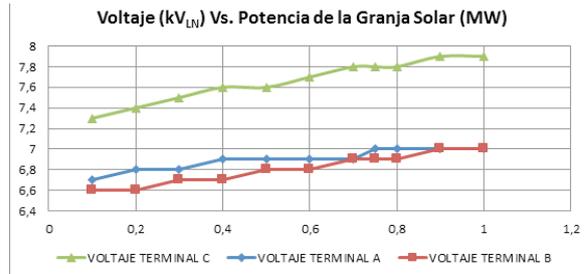


Figura 11: Localización óptima de generación fotovoltaica

Para lograr el dimensionamiento deberá ser necesario establecer la cantidad de celdas fotovoltaicas en serie y paralelo de acuerdo a la Tabla 3. En los puntos más lejanos del alimentador aún se observan condiciones de bajo voltaje (0.73 p.u.), ver Fig. 12.

Tabla 3: Dimensionamiento de la planta solar

No. Células en serie	U	15
No. De paneles en paralelo	U	800
Capacidad nominal de la planta fotovoltaica	MW	1.0
Potencia activa inicial	MW	0.8
Factor de potencia	%	95
Temperatura ambiente	°C	30

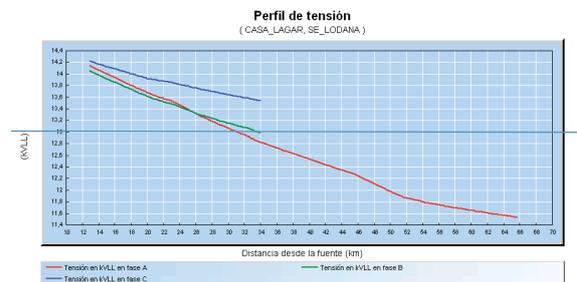


Figura 12: Perfil de voltaje con localización óptima de planta fotovoltaica en el alimentador Casa Lagarto

3.6. Alternativa 4: Generación con Biomasa

En esta alternativa se analizará el uso de una central de generación con biomasa y biocombustibles. Esta generación distribuida permite el uso de generadores sincrónicos que funcionan con un 25% de concentración de etanol, disminuyendo la huella de carbono y mejorando la calidad de servicio eléctrico. De acuerdo a las simulaciones anteriores se aprecia que el punto de ubicación óptima se encuentra en las cercanías de la bifurcación hacia el punto en que la red se torna bifásica. La generación con biomasa tiene la posibilidad de realizar control sobre el factor de potencia para mejorar la regulación de tensión y puede configurarse para demandas constantes (mínima regulación de potencia activa). Esto propiciará la existencia de una caída de voltaje menor en puntos lejanos. Al implementar una generación de 1.0MW con un factor de potencia de 90% inductivo las condiciones del alimentador mejoran notablemente como se apreció en los resultados de las simulaciones. Las pérdidas del alimentador se han reducido notablemente a 374.46kW. El punto de conexión tiene una demanda de 123kW proveniente del S.N.I. y 1MW proveniente de la generación existente a combustible ubicada en Jama. El voltaje alcanza 0.929p.u., mientras en el punto más bajo, 0.797p.u. La energía renovable aportada sumaría 3.5GWh anual, que representa el 63% de la energía que consume el alimentador (5.6GWh anual). Este sistema tiene la ventaja de operar en isla y no experimentar fluctuaciones como en el caso de la granja fotovoltaica. Sin embargo, en la actualidad el generador de Jama no cubre la demanda máxima de las regiones aguas abajo. La implementación de esta solución requeriría una cantidad de 600 mil litros de bioetanol al año. Los resultados de la simulación se muestran en la Fig. 13.

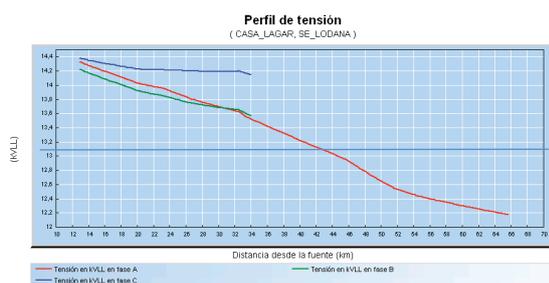


Figura 13: Perfil de voltaje con localización óptima de generación con biomasa en el alimentador Casa Lagarto

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Debido a la configuración de la red que presenta una demanda no balanceada y muy distribuida geográficamente, los ejercicios de colocar generación distribuida fueron técnicamente menos eficientes que los métodos tradicionales como reguladores monofásicos y trifásicos. A pesar de una regulación de tensión mejorada, la alternativa que presenta

mejores resultados es la instalación de reguladores de voltaje (autotransformadores). La distribución geográfica del alimentador y las cargas ha establecido un formato poco convencional con resultados dispares para métodos tradicionales de compensación reactiva. Aunque se consiga tener un uso eficiente de energía al promover la utilización de recursos locales para la generación de energía eléctrica, y esto se traduce en una disminución importante de la demanda en el punto de entrega del alimentador, se observa que la calidad del producto técnico no es proporcional a la cantidad de generación distribuida instalada a través de la red. Es interesante destacar que las pérdidas de potencia son máximas con reguladores de voltaje y mínima con la generación a biomasa. De esta manera, las alternativas demuestran no optimizar todos los índices del producto técnico a la vez. En la Fig. 14 se observa el resumen de alternativas para el mejoramiento del producto técnico en la región estudiada de Casa Lagarto. El método de optimización utilizado en las alternativas de granja solar fotovoltaica y generación con Biomasa puede ser programado para afinar mejor la búsqueda de la mejor localización y con las modificaciones apropiadas puede agregar más puntos de generación para evaluar el impacto de otros puntos de generación simultáneos.

Se observa en los resultados de las simulaciones que en los puntos más lejanos del alimentador Casa Lagarto se ha mantenido bajo el voltaje, por lo que se debe redistribuir la carga en el sector vía Ayacucho para que la fase C de la troncal de este alimentador esté equilibrada en relación a las fases A y B.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El perfil de voltaje ha mejorado con la inclusión de las alternativas de compensación reactiva convencionales y GD con ERNC. Es recomendable redistribuir la carga en el alimentador Casa Lagarto para que la fase C se equilibre con las restantes. Antes de ajustar los taps de los transformadores de poder se recomienda realizar mediciones de voltaje en distintos puntos de los alimentadores para los diferentes escenarios de demanda.

Se encontró que para la solución del producto técnico en el alimentador de Casa Lagarto, la implementación de generación distribuida supone un mejoramiento sustancial en la reducción de las pérdidas, sin embargo el voltaje logra mejorarse de óptima manera con reguladores de voltaje convencionales. De esta forma, las soluciones no brindan un mejoramiento paralelo de todo el producto técnico, por lo que se recomienda en este tipo de red implementar más de una solución. Esto tendría que

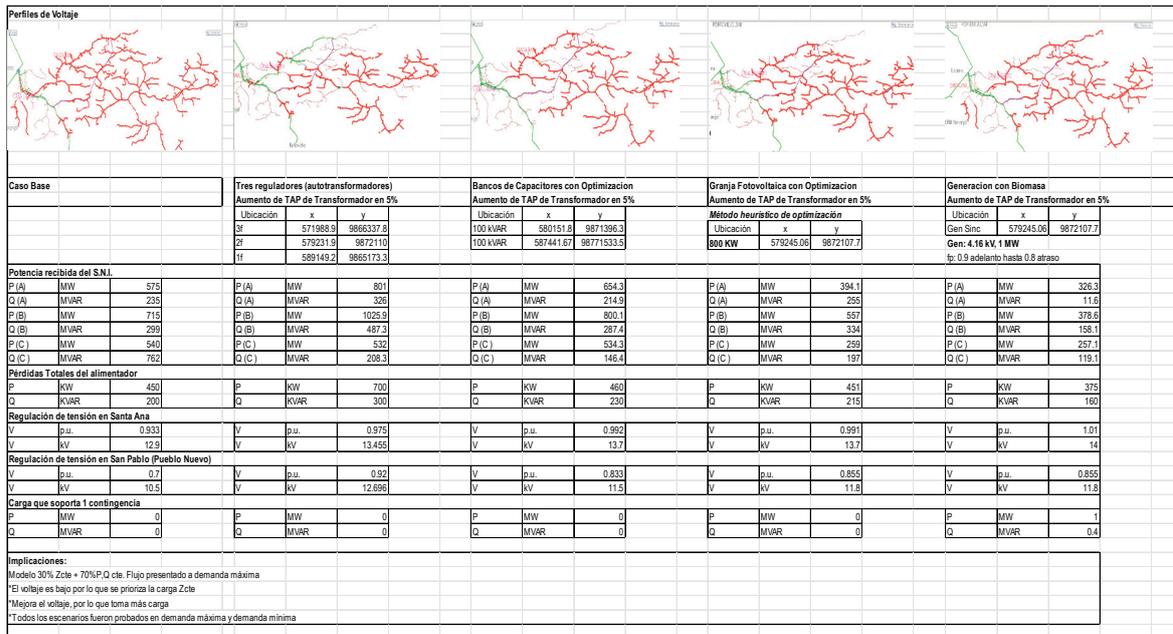


Figura 14: Resumen de alternativas para mejoramiento de producto técnico en Casa Lagarto

contrastarse con una evaluación económica y llegar a un compromiso entre la situación financiera y el peso del impacto del producto técnico de la región con el resto del área de concesión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Consejo Nacional de Electricidad, “Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022, Resumen Ejecutivo,” Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

[2] Vicepresidencia de la República del Ecuador, Ing. Jorge Glas Espinel, “La matriz energética del Ecuador,” Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Octubre 2013.

[3] Lahmeyer International GmbH, “Renewable Electricity Market, Installed Power and Annual Electricity Generation,” REMIPEG Report, First Semester 2014.

[4] Elsevier B. V. Publishing, “Renewable Energy Focus,” Volume 15, Issue 4, July & August 2014.

[5] Flavio Pinto Siabato, “Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia –El caso de la vereda Carrizal en Sutamarchán,” Cuadernos de Desarrollo Rural No. 53, pp. 103 – 132, 2004

[6] Math Bollen and Fainan Hassan, “Integration of Distributed Generation in the Power System,” IEEE Press Series on Power Engineering, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2011.

[7] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, “Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017,” Gobierno Nacional de la República del Ecuador.

[8] Consejo Nacional de Electricidad, “Las Energías Renovables – Análisis del Regulador,”

[9] Instituto Interamericano de la Cooperación de la Agricultura IICA, “Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas: II Biodiesel,” San José, Costa Rica, 2010.

[10] N. Acharya, P. Mahat, N. Mithulananth, “An analytical approach for DG allocation in primary distribution network,” Electrical Power and Energy Systems 28, Elsevier, 2006, pp. 669-678.

[11] M. Shaaban, J. O. Petrinin, “Sizing and siting of distributed generation in distribution systems for voltage improvement and loss reduction,” presented at the 2013 Int. Journal of Smart Grid and Clean Energy, CEES Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia.

[12] Carmen L. T. Borges, Djalma M. Falcao, “Impact of Distributed Generation Allocation and Sizing on Reliability, Losses and Voltage Profile,” presented at the 2003 IEEE Bologna Power Tech. Conference, June 23th-26th Bologna, Italy.

[13] Murthy, G. V. K., Sivanagaraju, S., Satyanarayana, S., & Rao, B. H. (2014), “Voltage stability analysis of radial distribution networks with distributed generation,” International Journal on Electrical Engineering and Informatics, 6(1), pp.195-204.

- [14] Wong, L. A., Shareef, H., Mohamed, A., & Ahmad, A. I. (2014), "Optimal battery sizing in photovoltaic based distributed generation using enhanced opposition-based firefly algorithm for voltage rise mitigation," The Scientific World Journal.
- [15] Eziyi, I. (2013), "Distributed renewable energy system for sustainable rural development," Order No. 3612654, The Florida State University, ProQuest Dissertations and Theses.
- [16] Rahmani, R., Seyedmahmoudian, M., Mekhilef, S., & Yusof, R. (2013), "Implementation of Fuzzy Logic Maximum Power Point Tracking Controller for Photovoltaic System," American Journal of Applied Sciences, 10(3), pp. 209-218.
- [17] Kamel, R. M., & Kermanshahi, B. (2009), "Optimal size and location of distributed generations for minimizing power losses in a primary distribution network," Scientia Iranica Transaction, Computer Science & Engineering, Electrical, 16(2), pp. 137-144.
- [18] Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución (Regulación No. CONELEC 004/01)
- [19] Participación de los generadores de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales (Codificación Regulación No. CONELEC 001/13)



César A. Aguilar.- Nació en Guayaquil en 1990. Recibió su título de Ingeniero en Electricidad Especialización Potencia en la ESPOL en 2013. Actualmente cursa la Maestría en Administración de Empresas en

la ESPAE de la ESPOL. Es Analista de Planificación Eléctrica en la Corporación Nacional Eléctrica CNEL EP Oficina Central desarrollando estudios de distribución eléctrica. Su campo de investigación se encuentra relacionado con Redes de Distribución y Sub-transmisión, Energías Renovables, y Gestión de Proyectos.



Luis C. Galarza.- Nació en Guayaquil en 1986. Recibió su título de Ingeniero en Electricidad en la ESPOL en 2013 y actualmente es egresado de la Maestría en Control y Automatización MACI de la ESPOL. Se ha desempeñado

como docente en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Es Analista de Planificación Eléctrica en la Corporación Nacional Eléctrica CNEL EP Oficina Central desarrollando estudios de distribución eléctrica. Su campo de investigación se encuentra relacionado con Redes de Distribución y Sub-transmisión, Energías Renovables, Control Industrial No Lineal.



Angel A. Recalde.- Nació en Guayaquil en 1984. Recibió su título de Ingeniero en Electricidad en la ESPOL en 2007 y posteriormente recibió su título de Master of Engineering Science con especialización en Sistemas de Potencia en The University

of Queensland en 2013. Actualmente es docente de la carrera de Sistemas de Potencia en la ESPOL y trabaja en la Dirección Nacional de Planificación de la Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP. Su campo de investigación se encuentra relacionado con Redes Inteligentes, Energías Renovables y Estabilidad y Confiabilidad de los Sistemas de Potencia.