

## **MODIFICACIONES EN LA RED DE LA PROVINCIA VILLA CLARA ANTE LA CONEXIÓN DE FUTURAS BIOELÉCTRICAS**

### **CHANGES IN THE VILLA CLARA PROVINCE NETWORK DUE TO THE CONNECTION OF FUTURE BIOELECTRIC PLANTS**

*Marta Bravo de las Casas<sup>1\*</sup>, Grettel Quintana de Basterra<sup>1</sup>  
y Lendy Sánchez Vázquez<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Eléctrica Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera Camajuaní  
km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>2</sup> Empresa de Mantenimiento a Grupos Electrónicos de Fuel Oil, Ciego Norte. Carretera Central km. 464  
Reperto Aeropuerto, Ciego de Ávila, Cuba.

Recibido: Octubre 4, 2018; Revisado: Noviembre 13, 2019; Aceptado: Enero 11, 2019

#### **RESUMEN**

El avance en las tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables hace cada vez más factible y útil el uso de las mismas. Cuba no se queda detrás en relación a este aspecto. Se están realizando varios proyectos para la construcción e implementación de plantas de biomasa con el objetivo de generar electricidad; hay zonas de la isla en la que se ha empezado la realización de la obra. En la provincia de Villa Clara están planificadas la puesta en marcha de tres bioeléctricas (BE), Héctor Rodríguez, Washington y Quintín Banderas, para los años 2019, 2023 y 2028 respectivamente. El objetivo del trabajo es determinar las afectaciones a la red eléctrica de la provincia de Villa Clara al conectar al Sistema Eléctrico Nacional las BE, tanto en aspectos constructivos como eléctricos. Con la ayuda del software PSX se obtuvieron las condiciones de operación de la red en lo que respecta a las tensiones en las barras, transferencias de potencia por las líneas, y niveles de cortocircuito en diferentes barras. Se realizó un análisis preliminar del costo de las inversiones necesarias en la red eléctrica.

**Palabras clave:** energías renovables; producción de electricidad; sistemas eléctricos de potencia.

Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Marta Bravo, Email: [mbravo@uclv.edu.cu](mailto:mbravo@uclv.edu.cu)

## **ABSTRACT**

Progress in technologies for the exploitation of renewable energy sources makes increasingly the use of them feasible and useful. Cuba does not remain behind in relation to this aspect. In the country is being carried out several projects for construction and implementation of biomass plants in order to generate electricity. There are areas of the island where the work realization has begun. In Villa Clara province, the start-up of three bioelectric plants, Héctor Rodríguez, Washington and Quintín Banderas, is planned for years 2019, 2023 and 2028 respectively. This work objective is to determine the electric network problems in Villa Clara province by connecting the bioelectric plants to the National Electric System, both in construction and electrical aspects. The network operation conditions for bars voltages, power lines transfers, and levels of short circuit in different bars were obtained with PSX software help. A preliminary calculus has done for the necessary cost inversions in the electric network.

**Key words:** electricity production; renewable energies; power electrical systems.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de un país depende de su grado de industrialización y este a su vez necesita de las fuentes de energía, especialmente de la energía eléctrica (Vanek y Albright, 2008).

Un sistema eléctrico de potencia tiene como finalidad la producción de energía eléctrica en los centros de generación y transportarla hasta los centros de consumo. Para ello, es necesario disponer de la capacidad de generación suficiente y entregarla con eficiencia y de una manera segura al consumidor. El diseño de un sistema eléctrico tiene en cuenta cómo brindar el servicio aún en las peores condiciones de operación, González (2008).

Cuba no es un país ajeno al incremento en la demanda de la energía eléctrica, cada vez, son más los consumidores. Para cubrir esta necesidad surgen varias alternativas, pero debido a los problemas medioambientales que conllevan algunas tecnologías, se hace necesario la elección de sistemas de generación más eficientes, menos contaminantes, y por tanto el uso de tecnologías alternativas como la biomasa (Umbarila y col., 2015).

Hoy en día el mundo está enfrascado en el uso de los diferentes tipos de energías renovables. Dentro de este grupo de energías renovables se encuentra la producida a partir de la biomasa. La cogeneración con biomasa permite acercar la generación eléctrica y térmica a los centros de producción, reduciendo pérdidas de transporte y evitando la construcción de nuevas plantas de energía convencional que suministren esa demanda eléctrica y térmica, Cerdá (2008).

La caña de azúcar es uno de los cultivos con mayor capacidad para convertir la energía solar en biomasa (Agüero y col., 2015). La agroindustria cubana de la caña de azúcar es la fuente más importante de biomasa con que cuenta el país para el desarrollo de energía renovable, y constituye la única a partir de la cual se está generando electricidad.

En Cuba existe un elevado potencial de recursos biomásicos provenientes de la agroindustria azucarera; estos recursos no se aprovechan adecuadamente y todavía el peso de la generación de electricidad proviene de las centrales termoeléctricas, con un

alto índice de contaminación ambiental. Se puede aprovechar la biomasa excedente y utilizarla para producir energía eléctrica.

Durante las zafas anuales en el país se producen grandes cantidades de bagazo y una cantidad similar de residuos agrícolas (como son paja, cogollo y hojas). Actualmente la propia industria azucarera y sus derivados consumen bagazo para alcanzar satisfacer aproximadamente tres cuartas partes de la demanda eléctrica del Grupo Empresarial del Azúcar de Cuba, Montiel (2003) y entregar energía sobrante al sistema eléctrico nacional.

El país ha trazado la política de construcción, en diversas zonas de la isla, de bioeléctricas (BE) para el aprovechamiento de esta materia prima en pos del desarrollo, fundamentalmente el bagazo de la caña de azúcar y con esto ayudar a cuidar el medio ambiente.

Las plantas BE se dedicarán a generar vapor a alta presión, a partir de bagazo y residuos de la cosecha de la industria azucarera, y convertirlo en vapor tecnológico de calentamiento y en electricidad por cogeneración, para satisfacer las necesidades de la fábrica de azúcar y “exportar” la electricidad remanente a la red pública nacional.

Con las nuevas BE que se construirán en la región central, la red eléctrica debe sufrir cambios en su comportamiento, ya que habrá que construir nuevas líneas, colocar interruptores y reconfigurar algunos lugares de la zona; provocando cambios en distintos parámetros como son: la tensión, el flujo de carga y los niveles de cortocircuito, (Crow, 2015). Es por eso que se hace necesario analizar la red en su nuevo contexto.

El objetivo del presente trabajo es determinar las afectaciones eléctricas y constructivas de la red de la provincia de Villa Clara al conectar al Sistema Electroenergético Nacional las BE que se van a instalar en los próximos años.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

La provincia Villa Clara, por su posición geográfica está ubicada en el mismo centro del Sistema Electroenergético Nacional (SEN), por tanto, las redes fundamentales para la operación del mismo tienen trazado por el territorio villaclareño.

El eje principal del sistema eléctrico de la provincia de Villa Clara está localizado en la subestación Santa Clara 220 kV (Yabú), la cual está enlazada por la red de 220 kV con la subestación de Guiteras 220 kV (occidente), Tuinicú 220 kV (oriente) y Cienfuegos 220 kV. Relativo al esquema de 110 kV, se puede decir que estas líneas traspasan y enlazan las fronteras territoriales (Sancti Spíritus y Cienfuegos) con la provincia de Villa Clara. La provincia Villa Clara cuenta con 10 subestaciones eléctricas (SE) de 110/34,5 kV.

En la región montañosa de la provincia se encuentra la hidroeléctrica CHE Robustiano León que con una potencia instalada de 45 MW, está modernizada con tecnología de punta.

## **2.1. Propuesta de conexión al SEN de las Bioeléctricas que se van a instalar en la provincia de Villa Clara**

Las tres BE propuestas en la provincia de Villa Clara son en las industrias azucareras Héctor Rodríguez, Washington y Quintín Banderas, definidas con una potencia de 20 MW cada una (UNE, 2016), las cuales tienen como proyecto su construcción en tres años diferentes.

### **2.1.1. Héctor Rodríguez**

Su potencia estimada es de 20 MW y se pronostica la puesta en marcha para el año 2019. Para la conexión al SEN de este biogenerador se propone una doble línea a 110 kV de entrada y salida a una SE (SE), proveniente de la línea Sagua 110 kV-Santa Clara 220 kV.

Las inversiones necesarias respecto a líneas para la realización de esta propuesta son las siguientes: construcción de las líneas de entrada y salida a 110 kV de aproximadamente 3 km de distancia, cada una, desde la línea Sagua 110 kV-Santa Clara 220 kV hasta la SE correspondiente y construcción de una línea de 110 kV de 700 m de longitud desde la estación de enlace hasta la BE Héctor Rodríguez. En total serían aproximadamente 7 km de líneas de 110 kV a construir.

Se plantea ubicar la estación de enlace en un área disponible ubicada en la carretera que va a la Presa Alacranes, aproximadamente a 700 m de la carretera Sagua - Santa Clara.

Es de interés por parte de la Empresa Eléctrica que junto con el proyecto de la BE Héctor Rodríguez quede solucionada la problemática de la derivación a Calabazar de Sagua que existe en estos momentos, lo cual trae serios problemas de operación y protección. Para la eliminación de la derivación de Calabazar se propone como solución conectar esta subestación como entrada y salida a una de las líneas de Santa Clara – Sagua 110 kV, quedando conectada la BE en el otro circuito. La zona donde se ubicará la BE, junto con todos sus componentes, se muestra en el monolineal de la figura 1.

### **2.1.2. Washington**

La potencia estimada de esta BE es de 20 MW y el año en el que se prevé su puesta en marcha es en el 2023.

Como propuesta de conexión al SEN de este biogenerador se plantea la alimentación del mismo de dos líneas independientes a 110 kV, de manera una de las líneas proceda de Santo Domingo 110 kV hasta la SE y la otra línea va desde esta última hasta el Quintín Banderas, lugar donde se instalará otro biogenerador.

Las inversiones necesarias respecto a líneas para la realización de esta propuesta son las siguientes: construcción de la línea de 110 kV de Santo Domingo 110 kV - Washington de 9 km de longitud y construcción de la línea de 110 kV Washington –Quintín Banderas de 38 km de longitud; esta línea, para cuando se ponga en marcha la BE del Quintín Banderas, será una línea común para ambas BE. En total serían aproximadamente 47 km de líneas de 110 kV a construir.

Existen dos posibilidades para la ubicación de la SE. La primera es detrás del Central, cerca del actual enfriadero, y tiene el inconveniente que se necesita construir una vía de acceso de 200 m para llegar a la carretera Central. Al tratarse de una zona relativamente baja se necesita un trabajo de relleno. La segunda área es al lado de la carretera Central

a 220 m de la industria, presenta muy buenas características topográficas y cuenta con fácil acceso; de esta manera se considera que esta última es la más factible.

Se propone hacer en la ubicación de la estación de enlace una subestación de 110/34.5 kV la cual se hace necesaria ya que la subestación actual de Santo Domingo 110 kV según estudios debe sobrecargarse para el año 2020. La misma cuenta con un transformador de 25 MVA, llegando actualmente a 19 MW de demanda, tiene un pequeño grupo electrógeno diesel de 2,8 MW instalado; y se ha solicitado ampliación del mismo, sin definición hasta la fecha. Esta subestación tiene una sola línea de alimentación de 110 kV la cual está en malas condiciones, por lo que resulta muy importante la instalación de generación a este nodo del sistema.

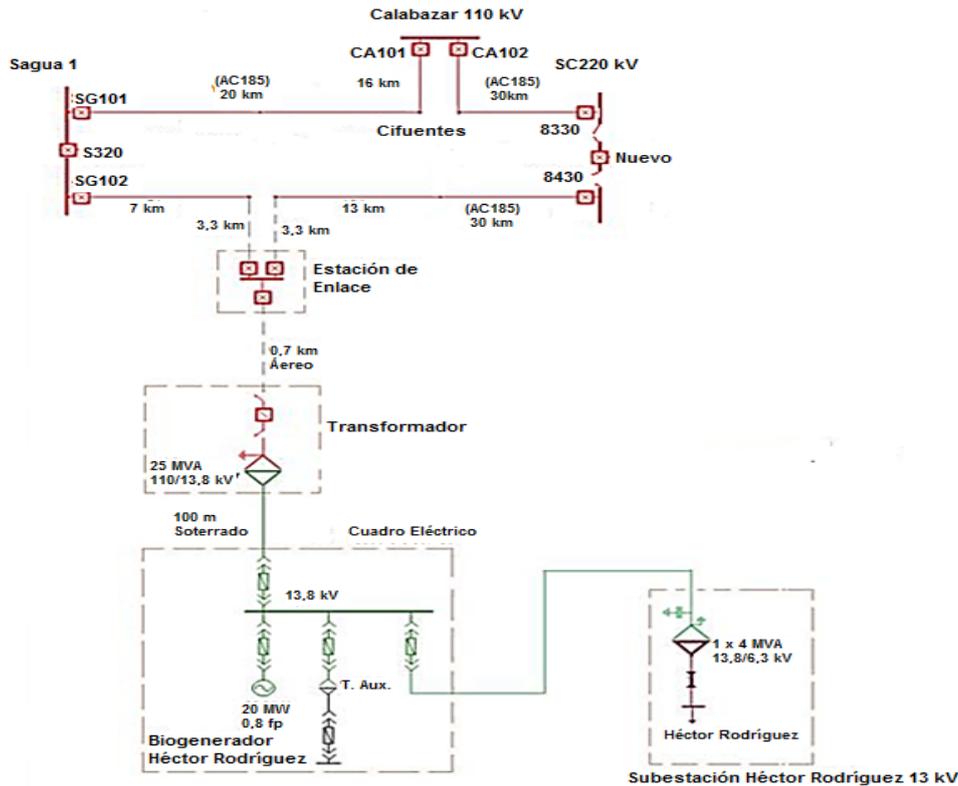


Figura 1. Monolateral de instalación de la BE Héctor Rodríguez

### 2.1.3. Quintín Banderas

Su potencia estimada es de 20 MW y el año de puesta en marcha es el 2028. Como variante de conexión al SEN de este biogenerador se propone alimentar de 110 kV a través de dos líneas independientes, de forma tal que una línea sea desde Washington 110 kV (ya mencionada anteriormente) y la otra desde la subestación Sagua 110 kV.

Las inversiones necesarias en cuestiones de líneas es la siguiente: construcción de línea de 110 kV Quintín Banderas hasta la subestación Sagua 110 kV de 30 km de longitud.

Como el proyecto del Washington se realizará primero que el del Quintín Banderas, ya la línea común de 38 km de longitud entre los dos centrales debe estar en pie, por tanto, no se considerará dentro de las inversiones. Por lo que en total serían aproximadamente 30 km de líneas a construir. Lo antes mencionado se resume en la figura 2.

En el caso del Quintín Banderas existen dos posibles áreas para la ubicación de la SE, una en la parte trasera del Central donde mismo se pretende colocar la nueva BE, área

con suficiente espacio para todos los elementos, una segunda área a 200 m del Central que pertenece a una cooperativa agropecuaria con la cuál se puede negociar en caso de que la primera no resulte seleccionada. La definición exacta de la posición de la SE se realizará cuando se tenga el proyecto y la vista en planta de la instalación. Ambas áreas pueden tener acceso independiente.

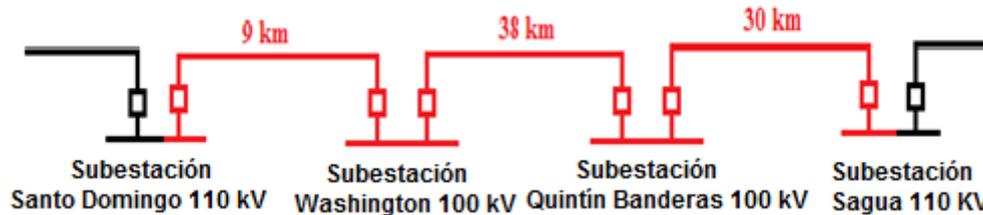


Figura 2. Interconexión entre Washington y Quintín Banderas

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para lograr la conexión al SEN de las BE será necesario la realización de cambios en la red. La construcción de nuevas líneas y las modificaciones en algunas zonas, principalmente entre Sagua y Santa Clara, conllevan la necesidad de realizar un análisis de cómo esto afectará o beneficiará al sistema eléctrico.

Para esto fue necesario utilizar el software, Power System eXplorer (PSX) v3.02 confeccionado por la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas utilizado por el despacho nacional de carga para los estudios del sistema eléctrico cubano en régimen estable y transitorio. Se implementó el circuito de la provincia, y se realizaron las distintas corridas de flujo de carga y cortocircuito en las distintas condiciones o variantes de la red, Gönen (2013).

Estas variantes son: sin las BE, con la BE Héctor Rodríguez, con las BE Héctor Rodríguez y Washington y con las BE Héctor Rodríguez, Washington y Quintín Banderas en los tres regímenes de trabajo o demanda de la red, mínima, media y máxima. Este orden está dado por las fechas de puesta en marcha de cada una de ellas.

En la Tabla 1 se pueden apreciar los distintos niveles de tensión y de cortocircuito trifásico que toman las barras en el estado de demanda máxima a medida que cambian las variantes antes mencionadas, desde la condición actual del circuito hasta incluir la puesta en marcha de las tres BE. Las barras fueron seleccionadas teniendo en cuenta diversos factores dentro de los que se incluyen principalmente, la importancia de la barra y la cercanía a la zona de puesta en marcha de las BE.

En la tabla 1 se puede apreciar un aumento tanto en los niveles de tensión como de cortocircuito en general. Ejemplo de esto es el aumento significativo de estos niveles en lugares como: la barra de Sagua (SG102) al introducirse el biogenerador de Héctor Rodríguez sube la tensión 2,42 kV y en 45,25 MVA el nivel de cortocircuito.

La barra de Santa Clara 220 kV tiene tensión constante de 220 kV ya que constituye el nodo de balance en el circuito. Sin embargo es de vital importancia notar el aumento significativo que ocurre en el nivel de cortocircuito desde la condición actual hasta la puesta en marcha de las tres BE, el cual ronda los 70 MVA.

La tabla 2 muestra la transferencia de potencia por distintas líneas que componen la red. Para seleccionar estas líneas se hizo lo mismo que con las barras. Se pueden apreciar los cambios que ocurren en la transferencia de potencia y pérdidas en las distintas líneas a medida que se van incorporando biogeneradores a la red eléctrica.

**Tabla 1.** Niveles de tensión y cortocircuito en máxima demanda

<i>Máxima Demanda</i>		<i>Condiciones de Operación</i>			
<i>Barras</i>	<i>Parámetros Eléctricos</i>	<i>Condición Actual</i>	<i>Con BE Héctor Rodríguez</i>	<i>Con BE Héctor y Washington</i>	<i>Con BE Héctor, Washington y Quintín</i>
<i>Sagua (SG102)</i>	Vop (kV)	115,16	117,58	117,84	118,34
	MVAcc	457,48	502,73	505,15	673,77
<i>Santo Domingo</i>	Vop (kV)	112,28	113,36	116,66	117,49
	MVAcc	386,57	390,61	447,2	609,08
<i>Santa Clara 220kV</i>	Vop (kV)	220	220	220	220
	MVAcc	2459,3	2483,2	2507,9	2527
<i>Santa Clara Nueva</i>	Vop (kV)	113,46	114,47	114,86	114,93
	MVAcc	1722,6	1811	1864,2	1906,5
<i>Santa Clara Vieja</i>	Vop (kV)	113,57	114,56	114,94	115,01
	MVAcc	1515,9	1581,2	1619,7	1646,1

Nota: Vop: Tensión de operación. MVAcc: MVA de cortocircuito.

**Tabla 2.** Transferencia de potencia y pérdidas por las líneas en máxima demanda

<i>Máxima Demanda</i>		<i>Condiciones de Operación</i>			
<i>Líneas</i>	<i>Parámetros eléctricos</i>	<i>Condición Actual</i>	<i>Con Héctor</i>	<i>Con Héctor y Washington</i>	<i>Con Héctor, Washington y Quintín</i>
<i>Santa Clara Nueva-Interruptor Héctor</i>	Flujo (MVA)	10,6	16,2	15,7	19,3
	Pérdidas P (MW)	0,1	0,1	0,1	0,2
	Pérdidas Q (MVA <sub>r</sub> )	0,2	0,4	0,4	0,5
<i>Interruptor Héctor-Sagua (SG102)</i>	Flujo (MVA)	10,7	9,6	9,5	8,1
	Pérdidas P (MW)	0	0	0	0
	Pérdidas Q (MVA <sub>r</sub> )	0	0	0	0
<i>Santa Clara Nueva-Santo Domingo</i>	Flujo (MVA)	17,4	17,4	11,1	12,6
	Pérdidas P (MW)	0,2	0,2	0,1	0,1
	Pérdidas Q (MVA <sub>r</sub> )	-1,6	-1,7	-2,1	-2,1

Esto puede provocar una disminución de la transferencia de potencia en algunas líneas pero también un aumento en otras, lo que está dado por el lugar de emplazamiento de las BE en el circuito. Ejemplo de esto es la línea Santa Clara Nueva-Interruptor Héctor que al poner en marcha la BE Héctor Rodríguez pasa de tener un flujo de 10,6 MVA hasta 16,2 MVA, siendo el caso contrario la línea Santa Clara Nueva-Santo Domingo donde la transferencia baja, va de 17,4 MVA a 12,6 MVA.

En esta tabla también se pueden destacar los valores de pérdidas, tanto de potencias activas como reactivas, en cada una de las líneas, las cuales presentan variaciones en dependencia de las líneas que sean. Esto está dado por la introducción de generación en el circuito en un punto dado de la red eléctrica. En algunas líneas disminuyen las pérdidas ya que parte del suministro ahora les llega directamente de las BE o circula por otras líneas, en las cuales aumentan estos parámetros.

La conexión al SEN de Washington y Quintín Banderas será una solución importante a la subestación Santo Domingo 110 kV que en estos momentos se alimenta por una línea radial con muchos años de explotación, ya que permite cerrar el lazo. Esta nueva línea de 38 km de longitud no provoca grandes pérdidas. Por último se aporta generación a la zona Norte de la provincia de Villa Clara.

Los valores en las pérdidas, tanto de potencia activa como de reactiva, que indican "0" no significan que estas sean cero, sino que al ser estas líneas relativamente pequeñas las pérdidas son pequeñas, bastante cercanas al cero. Las unidades de medida en el software son MW o MVar, y en los ajustes a mostrar resultados no se tuvo en cuenta.

Notar que en Santo Domingo el reactivo es negativo, nada alarmante, lo que significa es que se está generando reactivo por esta línea, cuestión que no es normal en líneas de 110 kV, pero esto se debe al dato de susceptancia capacitiva que presenta esta línea, aspecto que es necesario revisar en la práctica.

Estudio similar se realizó para la demanda media y la mínima mostrando resultados parecidos. En forma general se puede resumir como que la construcción de las BE contribuye al aumento en el nivel de tensión en distintas barras importantes del circuito, sin sobrepasar los límites permisibles de 10 %. Esto resulta en un beneficio para la red. Provoca un aumento en el nivel de cortocircuito en estas barras, cuestión que es lógico de esperar pues se incrementa la generación, lo que conjuntamente con la construcción de las BE se debe realizar un estudio adecuado de las protecciones de las zonas respectivas. Por último se disminuyen de manera significativa las pérdidas y las transferencias por las líneas varían de tal forma que benefician este aspecto.

Se realizó un análisis del valor aproximado de las inversiones en redes eléctricas para las tres BE, solo para tener una referencia, en cuestiones de líneas y subestaciones de enlace, sin tener en cuenta gastos como son el transporte, la mano de obra, otros equipamientos como pararrayos, la propia BE con su equipamiento, incluyendo dentro de ésta la subestación de transformación de cada una.

Según datos ofrecidos por la Empresa Eléctrica la estación de enlace de interconexión con el SEN (patio de 110 kV) que incluye la fibra óptica y la automática asociada a la operación de los despachos provinciales y nacionales presenta un costo aproximado de: \$ 1 200 000,0 (CUP) sin tener en cuenta los equipamientos en protecciones y pararrayos, Se tomaron como referencia datos de equipamientos de ofertas hechas a la Empresa Eléctrica Villa Clara, fundamentalmente de China.

El costo preliminar total será de aproximadamente 1 338 646 000,00 USD para las tres BE en cuanto a subestaciones de enlace y líneas de 110 kV. Será un costo incremental en varios años, pues las BE serán construidas por etapas.

El costo de la inversión de construcción de las BE en cuanto a las modificaciones en la red eléctrica de la provincia de Villa Clara es relativamente alto si se analiza fríamente con números y no calculando los beneficios que se tendrán anualmente por reducción de

gasto en combustible fósil y reducción de pérdidas en las líneas, cuestión que sería bueno calcular para darle más solidez al proyecto.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. La construcción de tres BE en Villa Clara: Héctor Rodríguez, Washington y Quintín Banderas, definidas con una potencia de 20 MW cada una, desde el punto de vista técnico de la red eléctrica no confronta impedimentos para su instalación, son posibles sus construcciones conectadas al Sistema Electroenergético Nacional, lo que traerá un conjunto de cambios y beneficios para la red eléctrica de la provincia.
2. Con el estudio se hizo evidente la mejora en las tensiones y los aumentos de generación el crecimiento en los niveles de cortocircuito en la red de la provincia en todos los estados de operación, por lo tanto será necesario un estudio de los ajustes de las protecciones.
3. El costo de las inversiones será relativamente alto, pero los beneficios serán mayores.

#### **REFERENCIAS**

- Agüero, J., Tepetla, J., y Torres, B., Producción de biocombustibles a partir de la caña en Veracruz, México: perspectivas y riesgos socio-ambientales., Revista de la Universidad Veracruzana. Área VI, Biotecnología y Ciencias Agropecuarias., Vol. 9, No. 2, Ene - Jun 2015, pp. 74-84.
- Cerdá, E., Energía obtenida a partir de biomasa., Cuadernos Económicos de Información Comercial Española (ICE), No. 83, 2012, pp. 117-140.
- Crow, M., Computational Methods for Electric Power Systems, 3ra Edición, Editorial Taylor & Francis Inc., Dec 2015, pp. 1-150.
- Gönen, T., Modern power system analysis, 2da Edición, Editorial CRC Press, Febrero 2013, pp. 159-185, 293-388, 471-52.
- González, F.M., Introducción a los Sistemas de Potencia, Empresa CADAPE de Venezuela, Capítulo 1, 2008, pp. 1-57. Disponible en: [http://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/SP\\_I/PPT-IntroSP.pdf](http://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/SP_I/PPT-IntroSP.pdf)
- Montiel, L.R., La biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental, Centro Azúcar, Vol. 30, No. 2, 2003, pp. 14-21.
- Umbarila, L., Alfonso, F., y Rivera, J., Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico., Revista de Investigación Agraria y Ambiental, Vol. 6, No. 2, 2015, pp. 231-241.
- UNE., Empresa Eléctrica Villa Clara., Propuesta de Conexión al SEN de las bioeléctricas que se van a instalar en la provincia de Villa Clara., Informe Técnico, 2016, pp. 1-18.
- Vanek, F., & Albright, L., Energy Systems Engineering: Evaluation and Implementation, Editorial McGraw Hill, 2008, pp. 1-22.