



del 21 al 25 de noviembre de 2016  
**18 CONVENCIÓN CIENTÍFICA  
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA



## “ANÁLISIS PARA LA CONEXIÓN DE PARQUES FOTOVOLTAICOS DE CIENFUEGOS A LA RED ELÉCTRICA”.

**MsC. Ing. Emilio Francesena Bacallao<sup>1</sup>. MsC. Ing. Roberto Ripoll Salcines<sup>2</sup>. Ing. Pedro Rivero Yera<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup>Centro de Estudios Electroenergéticos. Univ. Central Marta Abreu de Las Villas. [emiliof@uclv.edu.cu](mailto:emiliof@uclv.edu.cu)

<sup>2</sup>Empresa Eléctrica Provincial Cienfuegos. [ripoll@elecfcg.une.cu](mailto:ripoll@elecfcg.une.cu)

<sup>3</sup>Graduado en Adiestramiento. [emiliof@uclv.edu.cu](mailto:emiliof@uclv.edu.cu)

### RESUMEN

Para el análisis se realiza una descripción del estado actual de la red de 34,5 kV de la provincia de Cienfuegos en su parte más comprometida para la conexión de los parques solares fotovoltaicos, fundamentalmente el de Cantarrana en Cienfuegos y el nuevo Proyecto del Cárnico en Palmira, además se describen las posibles conexiones de las variantes a realizar, partiendo de la necesidad del trabajo. En el estudio se utilizan software como el Radial, Excel y otras normativas e indicaciones implementadas por INEL y la dirección de la UNE. Luego se hace un análisis del comportamiento de la red en las diferentes variantes de conexión de los parques, hasta llegar a la comparación con la situación actual, con la que se declara la mejor variante a tomar desde el punto de vista técnico.

Se determina el ahorro en cuanto a la comparación de las variantes antes mencionadas desde el punto de vista económico, para mostrar la mejor de ellas en forma integral. Se llega a importantes conclusiones y se ofrecen recomendaciones para trabajos futuros; así el trabajo se encuentra en aplicación en la Empresa Eléctrica Provincial de Cienfuegos y se prevé un análisis similar con esta metodología, para alrededor de 4 parques fotovoltaicos nuevos en el 2016 en dicha provincia, actualmente se trabaja en el análisis para los que se instalarán en la zona cercana a Rodas.

**PALABRAS CLAVES:** parques fotovoltaicos, variantes de conexión, pérdidas.

## ANALYSIS FOR THE CONNECTION OF PHOTOVOLTAIC PARKS OF CIENFUEGOS TO THE ELECTRIC NET.

### ABSTRACT

A description of the present-day status of 34.5 kV net of Cienfuegos's province in his more part compromised for the connection of solar photovoltaic parks comes true for analysis, fundamentally the one belonging to Cantarrana in Cienfuegos and the new Project of the Cárnico in Palmira, besides the possible connections of variants describe themselves to realize. In the study its utilize software like the Radial, Excel and another ground ruleses and indications implemented by INEL and the direction of he joins it. Next an analysis of the behavior of the net in the different connection variants of parks to come to comparison with the present-day situation, with the one that declares the best variant itself to elect from the technical point of vie is done.

It determines the saving as to the comparison of variants from the economic approach to show the best their in integral form above-mentioned. It takes place to important conclusions and they offer recommendations for future works; Thus he finds the work in application at Cienfuegos's Electric Company and a similar analysis with this methodology for about 4 photovoltaic new parks, in the 2016 at the aforementioned province is foreseen, at present it is worked up in the analysis for which Rhodes will be installed at the close zone.

**KEY WORDS:** Photovoltaic parks, connection variants, losses.

## 1. INTRODUCCIÓN.

El uso eficiente de la energía se ha convertido actualmente en una de las mayores preocupaciones a escala mundial. Debido al alto costo de la energía eléctrica actualmente, se impone cualquier medio que permita ahorrarla y aprovecharla óptimamente, lo que puede traducirse en disminución de pérdidas y mejora del factor de potencia, todo esto teniendo en cuenta las limitaciones actuales que requieren la búsqueda de nuevos métodos que sean eficientes y económicamente justificables.

El reto está en conseguir que las energías alternativas y renovables vayan sustituyendo paulatinamente a los combustibles fósiles tradicionales. La principal ventaja de las energías renovables es la de su menor impacto ambiental, ya que, reducen el número de contaminantes a la atmósfera, además de su distribución territorial menos concentrada. La energía solar eléctrica o fotovoltaica, es una energía limpia y renovable, de fácil instalación y mantenimiento.

En el presente trabajo se aborda este tipo de generación distribuida, pero evaluando su inserción dentro de la red eléctrica de distribución territorial en la provincia de Cienfuegos, lugar en que es posible aprovechar sus virtudes de energía limpia con su relativa facilidad de instalación y lo más próxima al consumo, lo cual conduce al siguiente **objetivo general del trabajo**:

- Proponer la conexión de los parques fotovoltaicos de Cantarrana y el nuevo proyecto del Cárnico, para lograr una incidencia positiva en la operación de la red de 34,5 kV en la provincia de Cienfuegos.

## 2. DESARROLLO

### Análisis técnico para la conexión de los PSFV Cantarrana y el Proyecto el Cárnico a la red de 34,5 kV.

La parte de la red de 34,5 kV de la provincia de Cienfuegos que de acuerdo a la situación geográfica, se verá más comprometida con la conexión de las instalaciones fotovoltaicas de Cantarrana (2,6 MW) y el nuevo proyecto próximo al combinado Cárnico (3 MW), tiene como nodo inicial, la subestación de 110 kV situada en la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes (CMC), cuya barra de salida a 34,5 kV (llamada barra 33 kV CMC) se describe a continuación.

La subestación de CMC 110/34,5 kV (figura 1) es una de las más importantes de la provincia. Desde ella parte la alimentación a 34,5 kV para los municipios de Cienfuegos, Cumanayagua, Palmira y Rodas. Esta subestación cuenta con dos transformadores de 25 MVA de tecnología checa, no tropicalizados, por lo que su capacidad se reajusta a 22 MVA. Cada uno de ellos alimenta a una barra de 34,5 kV las cuales se interconectan con un interruptor de enlace. Desde las barras parten 6 líneas de subtransmisión a través de los interruptores 1610, 1615, 1620, 1635, 1640 y 1645. El interruptor 1620 es el encargado de mantener energizada la barra auxiliar. Los niveles de cortocircuito de esta barra se encuentran en el orden de los 2079 MVA trifásicos y los 2532 MVA monofásicos para máxima, así como 1460 MVA trifásicos y 1858 MVA monofásicos para mínima.

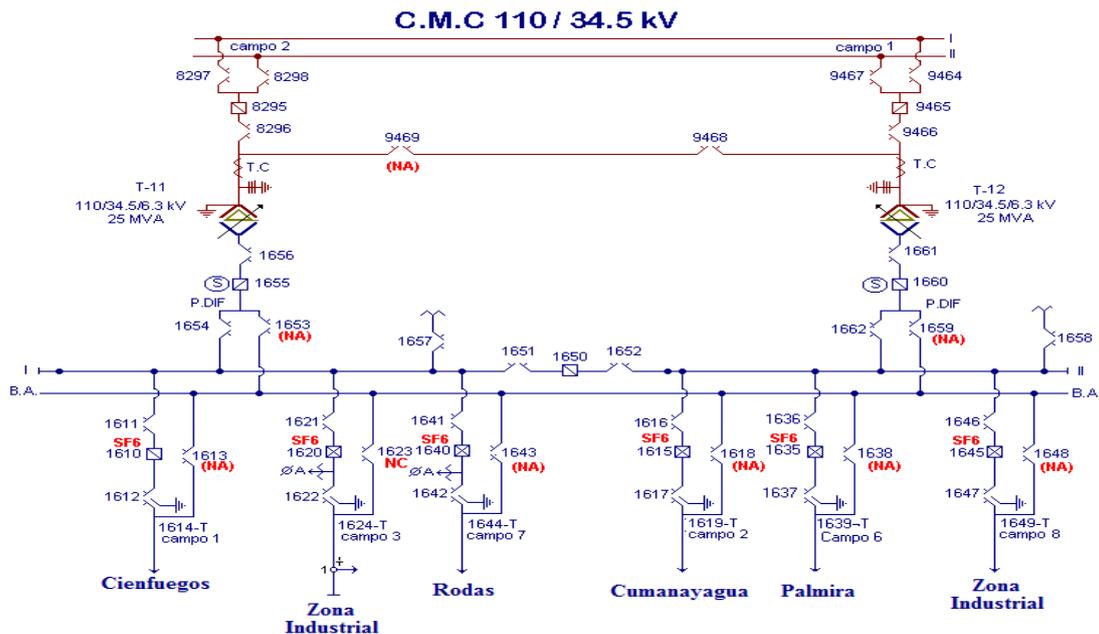


Figura 1: Esquema monolineal de la barra 33 kV CMC.

En la figura 2 se muestra, que dada la ubicación geográfica del nuevo proyecto fotovoltaico Cárnico este debe ser conectado al 1635, y el PSFV existente en Cantarrana conectado actualmente al 1635, se puede valorar conectarlo (con la construcción de una línea) al alimentador 1640 y utilizar el 1635 para el nuevo PSFV, desde este punto de vista, el estudio de variantes se centra en dichos alimentadores.

Además de lo antes expuesto en cuanto a ubicación geográfica y con la consiguiente factibilidad de conexión por cercanía física, se realiza un estudio de potencia y pérdidas con la ayuda del programa Radial (versión 10.0), el cual facilita el estudio y la comprensión de los resultados actuales y esperados en años futuros.

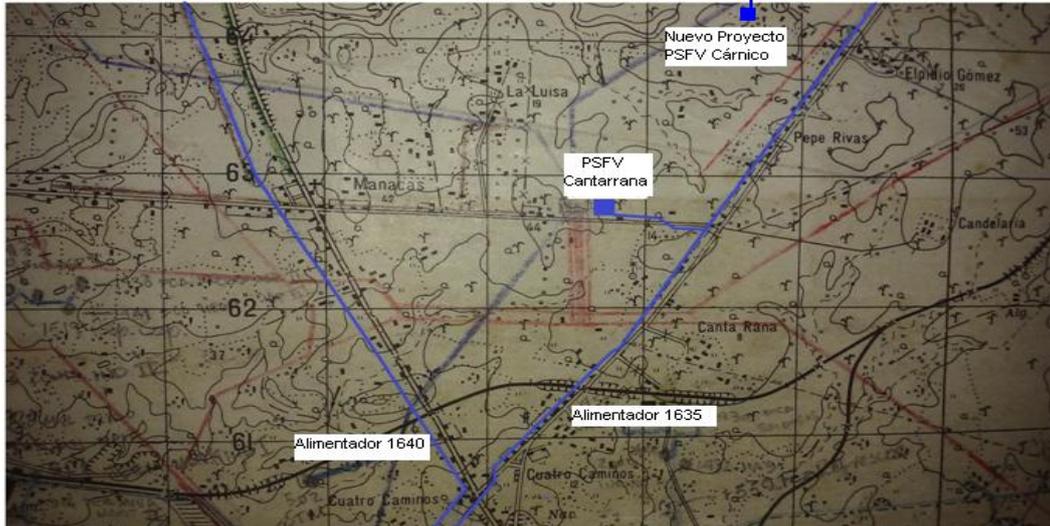


Figura 2: Localización geográfica real del PSFV Cantarrana y el nuevo proyecto del Cárnico.

Primeramente se decidió estudiar el comportamiento de la barra CMC con todos sus alimentadores conectados, para verificar el comportamiento del flujo en el año uno, donde la potencia de entrega de ambos PSFV es máxima y mínimo crecimiento de las cargas de los alimentadores.

Un aspecto importante a tener en cuenta es la obtención de un gráfico de potencia entregada por los PSFV, que se implementa como carga negativa para poder conectarlos a través de su transformador de enlace en su introducción al Radial.

Desde años anteriores y hasta la realización de este trabajo, se declaran entre 1400 a 1500 horas equivalentes (Heq) anuales en el funcionamiento de estas instalaciones fotovoltaicas, como una indicación implementada por INEL y la dirección de la UNE a nivel nacional, pero al carecer de la justificación en tal sentido; se realiza un estudio de potencia entregada (kW) por el PSFV de Cantarrana, tomadas las lecturas durante varios meses del año actual, para verificar las horas equivalentes estimadas; muestra de lo obtenido se ofrece en la tabla 1.

Tabla 1: Comportamiento de PSFV Cantarrana 2 para el mes de marzo 2015.

Paneles Solares	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	****	Pico	Pm	Pmáx	FC	Heq anuales																										
01/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.6	0.000	0																									
02/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.6	0.000	0																									
03/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.4	1.2	0.7	0.09	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.195	1.6	0.122	1070																									
04/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.41	0.89	1.05	1.23	0.8	1.24	1.17	0.98	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.355	1.6	0.222	1945																									
05/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.22	0.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.028	1.6	0.077	151																									
06/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.38	0.79	0.95	1.4	0.28	1.45	0.35	0.32	0.52	0.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.269	1.6	0.168	1472																									
07/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.3	0.9	0.5	0.7	1.4	1.2	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.300	1.6	0.188	1643																									
08/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.54	0.9	1.07	1.19	1.47	0.6	0.36	0.22	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.275	1.6	0.172	1504																									
09/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.13	0.22	0.32	0.2	0.23	0.55	0.34	0.41	0.47	0.36	0.4	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.156	1.6	0.096	855																									
10/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.41	0.81	1.07	1.26	1.42	1.35	1.31	1.31	0.19	0.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.388	1.6	0.242	2124																									
11/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7	1	1.2	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.193	1.6	0.121	1059																									
12/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.54	0.77	1.1	1.18	1.37	0.47	1.35	0.91	0.56	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0.358	1.6	0.224	1939																									
13/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.59	0.99	0.77	1.05	1.23	0.85	0.21	1.25	1.07	0.77	0.42	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0.361	1.6	0.228	1976																									
14/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.14	0.98	0.98	1.18	0.59	0.42	1.27	1.09	1.01	0.68	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0.354	1.6	0.221	1939																									
15/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.49	0.8	1.13	1.2	1.23	1.24	1.1	0.58	0.74	0.35	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.388	1.6	0.242	2122																									
16/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.011	1.6	0.007	53																									
17/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0.74	0.61	1.13	1.33	0.31	1.32	0.3	0.63	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.274	1.6	0.171	1499																									
18/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.21	0.61	0.82	1.02	1.12	1.23	1.29	1.14	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.336	1.6	0.210	1639																									
19/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.5	0.9	1.1	0.4	1.2	1	0.59	0.6	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.323	1.6	0.205	1600																									
20/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.62	0.78	1	1.09	1.27	1.24	1.04	0.97	0.68	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0.379	1.6	0.237	2076																									
21/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.85	0.42	0.78	1.02	1.25	1.23	1.43	1.18	1.04	0.75	0.33	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0.448	1.6	0.280	2452																									
22/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.24	0.89	1.21	1.2	1.14	1.15	0.04	1.04	0.53	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	0.332	1.6	0.207	1915																									
23/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.77	0.78	0.79	1.3	1.2	1.1	0.97	0.76	0.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.344	1.6	0.215	1981																									
24/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0.24	0.77	0.89	1.2	1.21	1.24	1.05	0.97	0.76	0.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0.368	1.6	0.230	2013																									
25/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.11	0	0.87	0	1.13	1.23	1.24	1.5	1.02	0.65	0.35	0.38	0	0	0	0	0	0	0	0.330	1.6	0.208	1904																									
26/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.72	0.44	0.58	0.96	0.85	0.89	0.53	1.02	0.3	0.64	0.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0.288	1.6	0.179	1567																									
27/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	0.78	1.05	1.24	1.27	1.25	1.18	0.99	0.68	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0.384	1.6	0.240	2104																									
28/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	0.54	0.83	0.86	0.72	0.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.166	1.6	0.104	908																									
29/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0.61	0.78	1.35	1.35	1.14	1.3	0.77	0.86	0.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.350	1.6	0.219	1916																									
30/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.17	0.32	0.54	0.85	0.85	0.53	0.83	0.62	0.34	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.208	1.6	0.128	1128																									
31/03/2015	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.59	0.85	0.92	1.45	1.39	1.32	1.22	1.05	0.64	0.27	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.387	1.6	0.242	2119																									
<b>1510</b>	<b>Promedio de horas equivalentes anuales</b>																																																						

Los resultados corroboran que dichas horas equivalentes están en el entorno de las 1500 horas. Con todo esto como base se estima el gráfico de carga de los PSFV.

Los datos reales de las cargas y transformadores, así como su pronóstico de crecimiento, se tomaron a partir de los datos aportados por el despacho eléctrico de la provincia.

Los datos suministrados y los resultados extraídos son para un día típico del año, por eso es necesario extrapolar todos los resultados al año, para poder realizar el estudio técnico-económico.

De dicho estudio se obtuvo que el flujo de potencia en los alimentadores involucrados no tenía retorno hacia la barra 33 kV CMC, lo cual lleva a no incluir los demás alimentadores y apoya la decisión de trabajar con los de la problemática existente, o sea, el 1635 y 1640.

Para completar esta tarea se tomaron todas las lecturas de potencia (kW) y energía (kW.h) de ambos alimentadores.

Se representaron los dos alimentadores en un fichero único en el Radial (figura 3), así como la introducción de los PSFV con sus interruptores, lo que posibilita el cambio para las posibles variantes a valorar.

Primero se abren los interruptores del PSFV Cárnico y el PSFV Cantarrana del alimentador 1640, la cual es la representación actual, o sea Cantarrana conectado al 1635 y el Cárnico sin incluir. Se realizan todas las corridas hasta 25 años para extraer los valores manualmente e introducirlos en una tabla en Excel, para realizar las extrapolaciones y cálculos necesarios, que permitan observar los resultados y compararlos con las variantes a escoger.

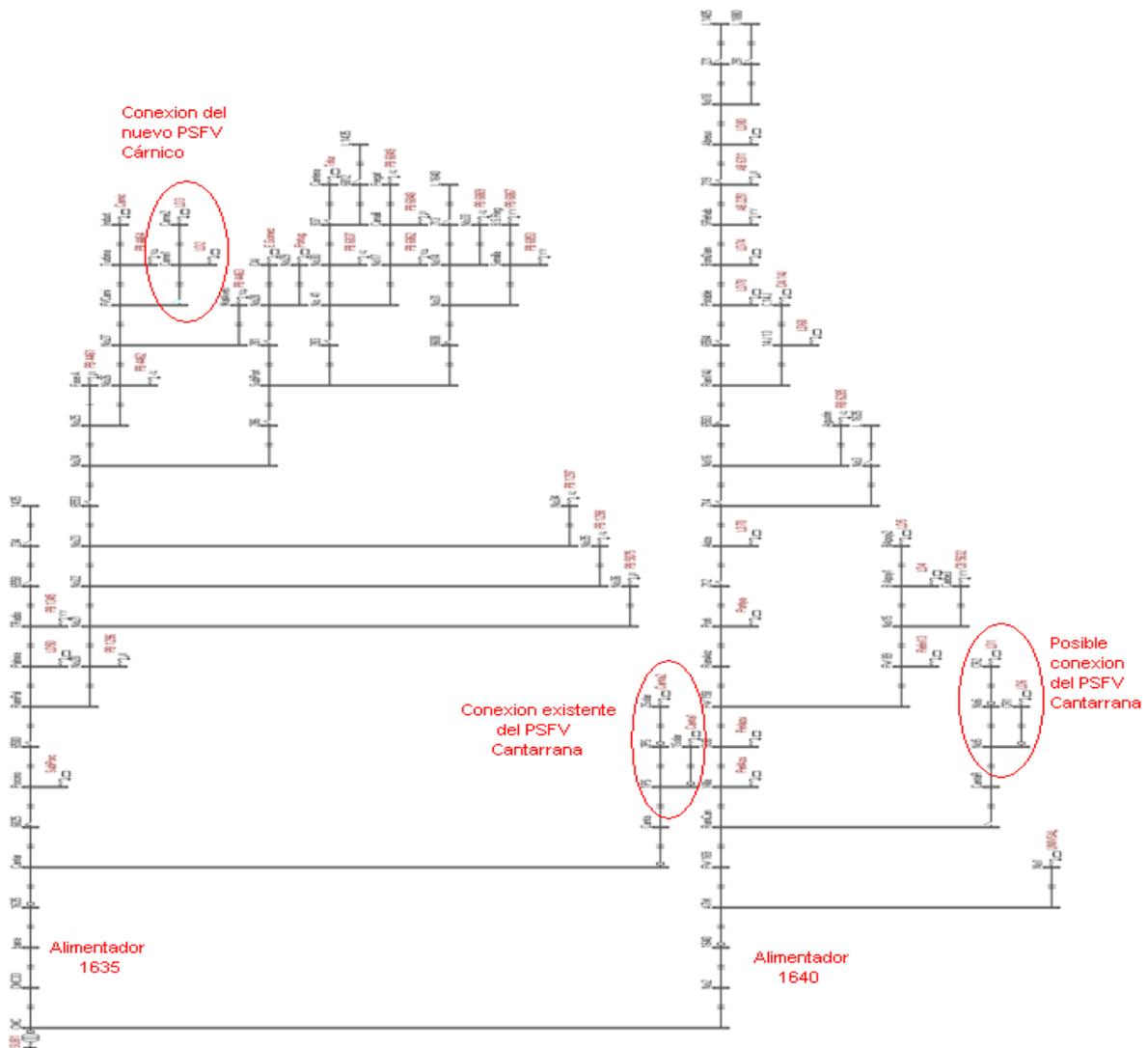


Figura 3: Esquema del fichero resultante del Radial con la unión de los dos alimentadores.

Los resultados del estado actual para la variación de pérdidas de energía activa en las líneas ( $\Delta E_{aL}$ ) en un día del año, se pueden observar en la figura 4 y las pérdidas de energía en las líneas (EL) ya extrapolada para los años se refleja en la figura 5.

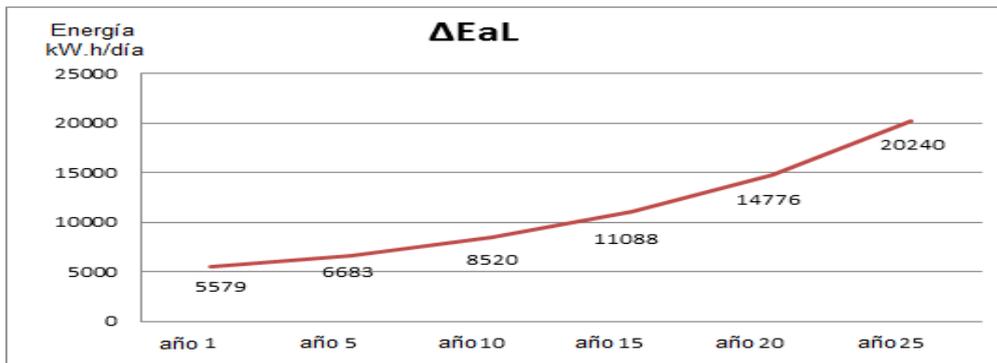


Figura 4: Variación de pérdidas de energía en línea para un día del año en estado actual (kW.h/día).

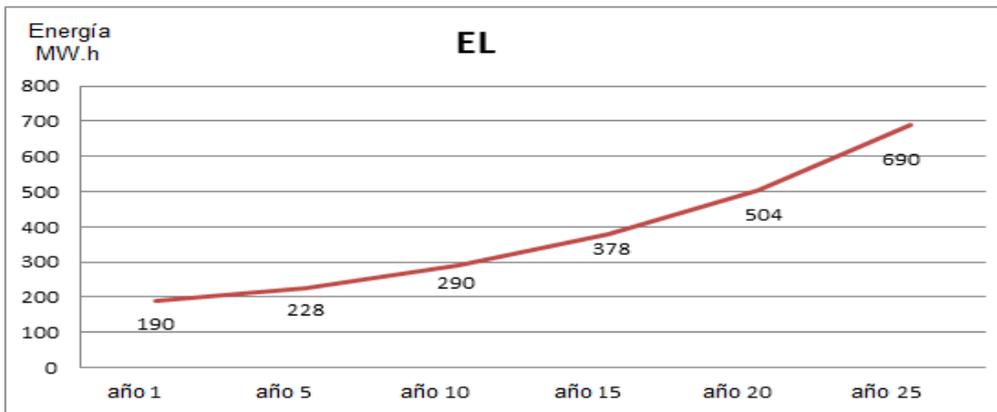


Figura 5: Pérdidas anuales de energía en línea en estado actual (MW.h Anual).

### Análisis de las variantes

#### Primera variante

El PSFV del nuevo proyecto del Cárnico con un valor aproximado de 3 MW, dada su ubicación, se debe conectar al alimentador 1635 (Cienfuegos-Palmira) y dejar el PSFV Cantarrana, como en el estado actual, conectado a dicho alimentador, lo cual se puede observar en la figura 6.

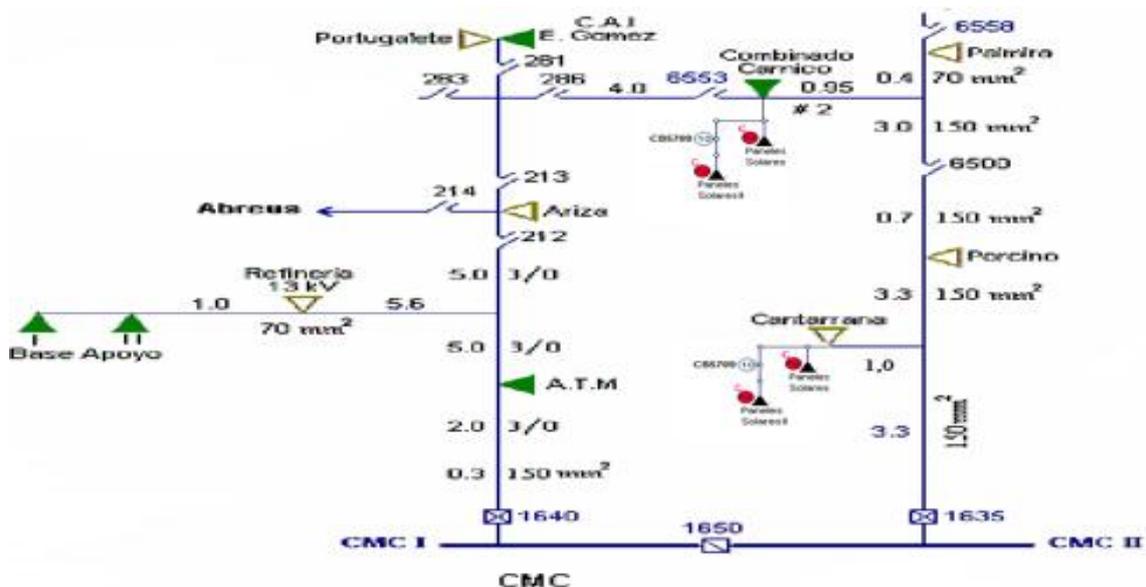


Figura 6: Ambos alimentadores reducidos en la primera variante.

Para esta variante, en el Radial se cierra el interruptor del PSFV Cárnico y se mantiene el PSFV Cantarrana cerrado en el 1635 y abierto en el 1640. Se realizan todas las corridas para 25 años posteriores y se extraen todos los datos mostrados en el programa de forma manual y se introducen en la tabla Excel, las variación de pérdidas de energía activa en las líneas ( $\Delta E_{aL}$ ) para un día del año se puede observar en el gráfico de la figura 7 y las pérdidas de energía en las líneas ( $\Delta EL$ ), ya extrapolada para los años se refleja en la figura 8.

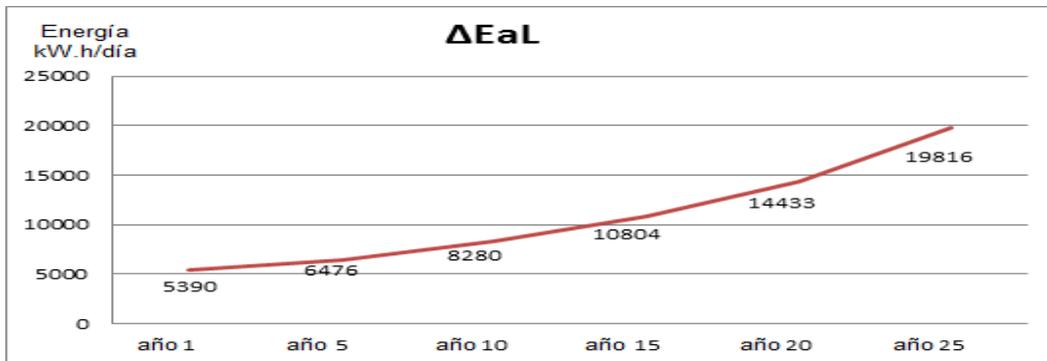


Figura 7: Variación de pérdidas de energía en línea para un día del año en variante1 (kW.h/día).

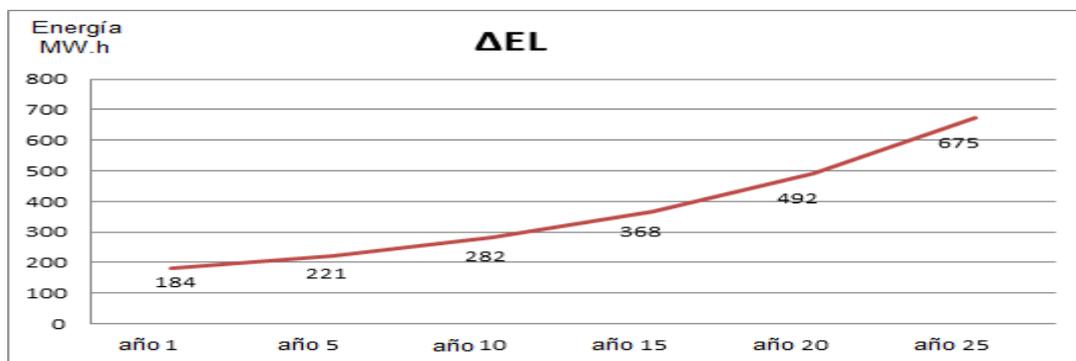


Figura 8: Pérdidas de energía anual en líneas en variante1 (MW.h Anual).

Esta variante produce una disminución de pérdidas de energía en líneas respecto a la conexión actual (situación original), lo que se puede observar en la figura 9 como un crecimiento en la reducción en pérdidas con el transcurso de los años (ahorro), lo cual es beneficioso para la operación actual y futura de la red.

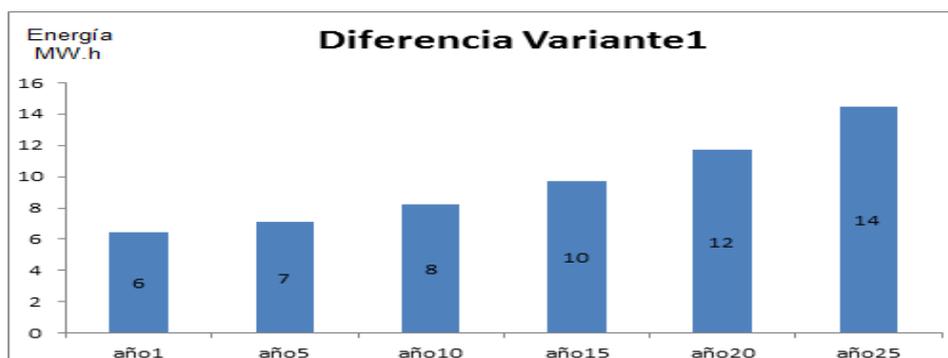


Figura 9: Ahorro en cuanto a pérdidas de energía en línea anuales entre la variante uno y la original.

### Segunda Variante

La segunda variante de conexión consiste en mantener el PSFV Cárnico al alimentador 1635 y el PSFV Cantarrana pasarlo al alimentador 1640 (ver figura 10).

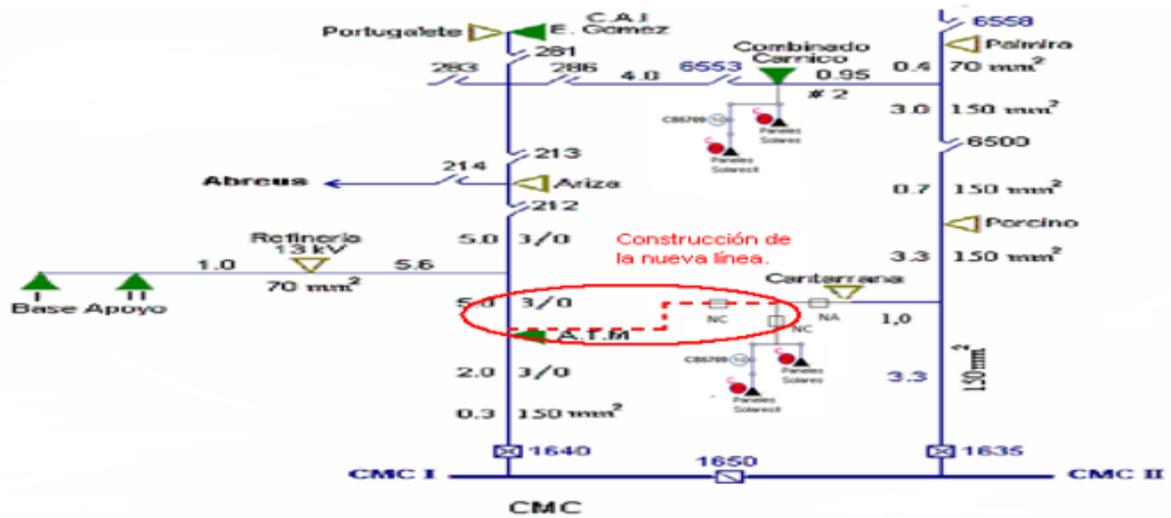


Figura 10: Esquema simplificado con nueva conexión del PSFV Cantarrana.

Se ejecutan las corridas para 25 años posteriores en el programa y la extracción manual de dichos resultados e incorporarlos a una tabla Excel, las variación de pérdidas de energía activa en las líneas para un día del año se puede observar en el gráfico correspondiente a la figura 11 y las pérdidas de energía en las líneas ya extrapoladas para los años se refleja en la figura 12.

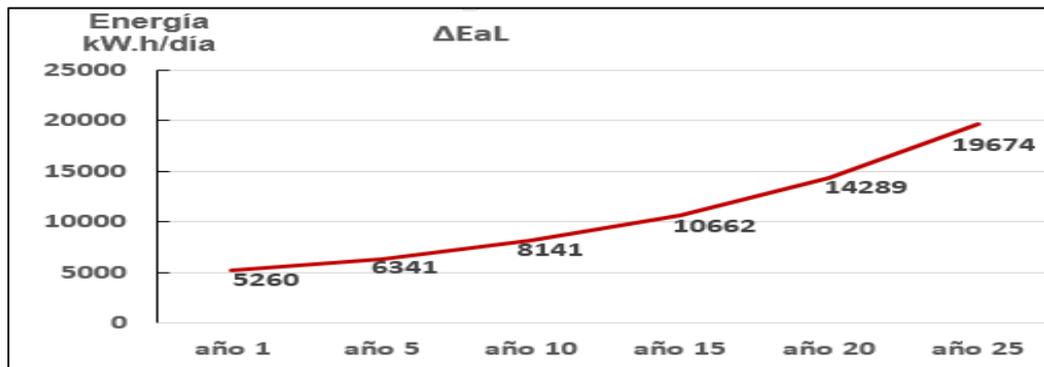


Figura 11: Variación de pérdidas de energía en líneas para un día del año en variante 2 (kW.h/día).

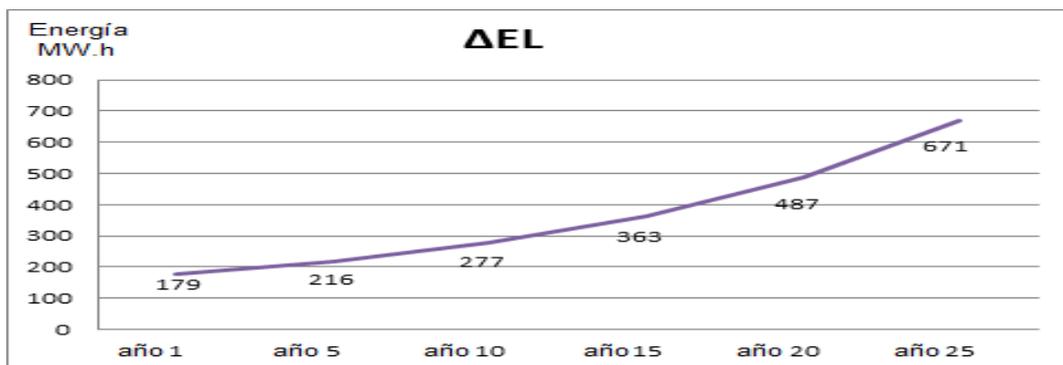


Figura 12: Pérdidas de energía anuales en líneas variante 2 (MW.h Anual).

En esta variante también se obtiene una disminución de la pérdidas de energía en líneas respecto a la situación original (ver figura 13).

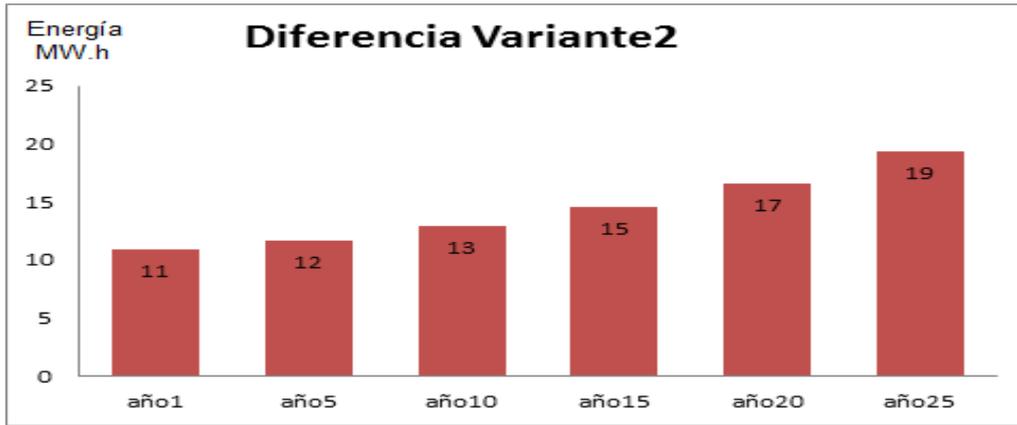


Figura 13: Diferencia de pérdidas energía en líneas entre la variante dos y la situación original.

Luego de comparar los resultados obtenidos en las variantes, se tiene que ambas ofrecen una reducción de pérdidas en líneas de los alimentadores, pero la segunda en una mayor magnitud (ver figura 14).

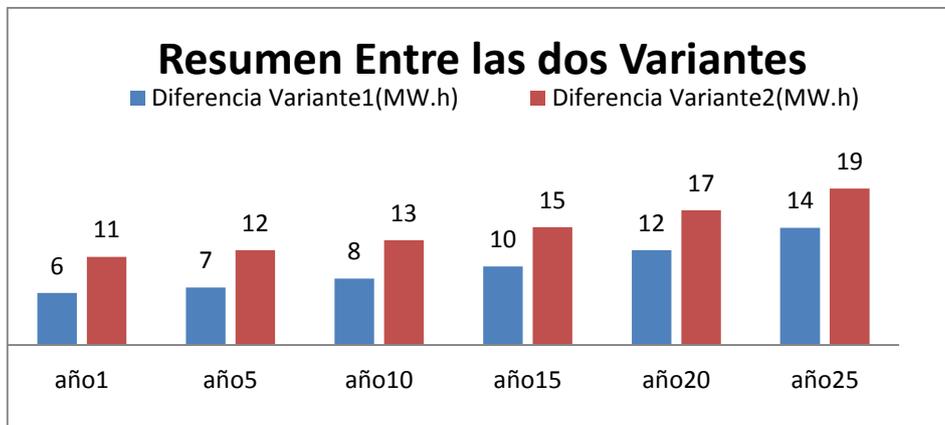


Figura 14: Comparación entre el ahorro anual de pérdidas en líneas de las dos variantes con respecto a la situación actual (MW.h).

Se puede expresar que la variante dos en comparación con la variante uno ahorra en el orden de 5 MW.h más al año, lo cual no es una cifra muy significativa, dado que para realizarla se necesita un proceso inversionista para la construcción de una línea.

Es de señalar que en todas las variantes, incluyendo la original, los voltajes en los nodos se comportan de manera satisfactoria, por lo que no fue objetivo reflejarlos en el trabajo.

El PSFV Cantarrana posee una generación diaria promedio de 12 MW.h, por lo que resulta de gran beneficio garantizar que toda esta energía renovable producida de forma limpia sea incorporada al SEN. Se han presentado ocasiones en que la línea a la cual está conectado el PSFV ha estado en avería y toda la energía implicada en el tiempo de duración de la misma se ha quedado sin entregar e indirectamente se ha dejado de ahorrar una apreciable cantidad de combustible. Por ejemplo, una avería ocurrida en el horario de máxima producción de energía con un tiempo de duración de aproximadamente 2 horas, la energía no suministrada sería de 4 MW.h y el petróleo dejado de ahorrar sería de aproximadamente 1 ton. Por otro lado, la generación ausente tiene que ser suministrada por los grupos de generación diésel, con su correspondiente consumo de combustible y efectos de contaminación, hasta que las condiciones del SEN sean las adecuadas para su desconexión.

La generación del PSFV de Cantarrana también es usada como respaldo de energía en el caso de la salida de uno de los transformadores de la subestación CMC 110/34,5 kV. El esquema actual permite que, cuando está en esquema de vía libre el transformador T-12 y el T-11 está asumiendo la carga restante, la energía producida por los paneles sea inyectada directamente y ayude a mantener controlado el valor de carga del transformador, impidiendo de esta forma que no se entre generación diésel para respaldar este esquema anormal. En el caso de vía libre del T-11 se realiza la misma actividad, pero el número de manipulaciones para lograr el esquema de respaldo se hace mayor, por lo que puede traer un aumento del tiempo de afectación a los clientes.

Debido a estas razones se propone la construcción de una sección de línea de 34,5 kV que partirá desde la línea del 1640 hasta el PSFV Cantarrana con una longitud de 2,311 km. Se montarán 2 desconectivos adicionales, los cuales permitirán el cambio de alimentación entre las dos líneas, manteniendo como posición normal el interruptor del 1635 en estado abierto por dar mejores condiciones económicas de reducción de pérdidas eléctricas por la línea del 1640, tal como dicen los resultados del Radial.

Se declara más ventajosa la segunda variante, dado que ofrece una mayor reducción de pérdidas y a su vez una mayor flexibilidad de operación y fiabilidad al sistema.

#### **Análisis económico financiero del estudio.**

En la primera variante se contempla la reducción de las pérdidas calculadas en líneas, además la construcción de 50 metros de línea y la instalación de un interruptor seccionalizador para la conexión del nuevo parque a la red, como se puede observar en la tabla 2 donde C y M se refiere a la construcción y montaje.

Tabla 2: Descripción de las inversiones en redes eléctricas variante 1.

<b>Descripción de las inversiones en las redes eléctricas vinculadas al PSFV variante 1.</b>						
<b>Inversiones en LTE</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Equipos</b>	<b>C y M</b>	<b>Otros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total Equipos</b>
	<b>MP/km</b>	<b>MP/km</b>	<b>MP/km</b>	<b>MP/km</b>	<b>km</b>	<b>MP</b>
LTE 33 kV SC conductor AAAC Butte Línea Larga	21	8	10	3	0,000	0,0
LTE 33 kV SC conductor AAAC Línea Corta	18	7	9	2	0,050	0,4
<b>Inversiones en SE's</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Equipos</b>	<b>C y M</b>	<b>Otros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total Equipos</b>
	<b>MP</b>	<b>MP</b>	<b>MP</b>	<b>MP</b>	<b>U</b>	<b>MP</b>
<b>Nueva Construcción</b>						
Campo 33 kV de línea	135	55	60	20	0	0
<b>Ampliación</b>						
Campo 33 kV	95	55	30	10	0	0
<b>Seccionalizador</b>	57	45	10	2	1	45
<b>TOTAL INVERSIONES DIRECTAS DE LA VARIANTE 1</b>						<b>45,4</b>

En la segunda variante es necesario agregar la construcción de una línea de 2311 metros para la reconexión del PSFV Cantarrana al alimentador 1640 e incluir 3 seccionalizadores, uno para el nuevo Proyecto el Cárnico y dos para la nueva línea y salida del PSFV Cantarrana. También se le incorporan la reducción de las pérdidas en líneas calculadas. Todos estos gastos se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3: Descripción de las inversiones en redes eléctricas variante 2.

<b>Descripción de las inversiones en las redes eléctricas vinculadas al PSFV variante 2.</b>						
<b>Inversiones en LTE</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Equipos</b>	<b>C y M</b>	<b>Otros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total Equipos</b>
	<b>MP/km</b>	<b>MP/km</b>	<b>MP/km</b>	<b>MP/km</b>	<b>km</b>	<b>MP</b>
LTE 33 kV SC conductor AAAC Butte Línea Larga	21	8	10	3	0,000	0,0
LTE 33 kV SC conductor AAAC Línea Corta	18	7	9	2	2,311	16,2
<b>Inversiones en SE's</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Equipos</b>	<b>C y M</b>	<b>Otros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total Equipos</b>
	<b>MP</b>	<b>MP</b>	<b>MP</b>	<b>MP</b>	<b>U</b>	<b>MP</b>
<b>Nueva Construcción</b>						
Campo 33 kV de línea	135	55	60	20	0	0
<b>Ampliación</b>						
Campo 33 kV	95	55	30	10	0	0
<b>Seccionalizador</b>	57	45	10	2	3	135
<b>TOTAL INVERSIONES DIRECTAS DE LA VARIANTE 2</b>						<b>151,2</b>

La evaluación económica financiera constituye la etapa del estudio de factibilidad, donde se mide si la magnitud de los beneficios obtenidos con la ejecución del proyecto supera los costos y gastos en que se

incurrieron. Los principales indicadores calculados son los siguientes: costo de inversión y período de recuperación de la inversión.

El costo de inversión preliminar se elabora teniendo en cuenta experiencias anteriores y resultados alcanzados en la instalación de los PSFV que en la actualidad ya se encuentran en funcionamiento (Frigorífico en la provincia Villa Clara, Cantarrana I y II y Cruces en la provincia Cienfuegos, CIES Santiago de Cuba entre otros), así como ofertas técnicas recibidas para el equipamiento tecnológico de un PSFV.

#### Variante 1

Se analiza la primera variante y los resultados se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4: Desglose del valor total de inversión Variante 1.

VALOR TOTAL DE INVERSIÓN				Variante 1
Divisas (MCUC)	MN (MCUP)	MT (MCUP)	IMPORT. (MUSD)	V-1 PSFV Cárnico Palmira 3,0 MWp con Inversión en redes eléctricas.
4.822,02	697,97	5.519,99	4.319,49	<b>EQUIPOS (1)</b>
4.594,51	664,74	5.259,24	4.113,80	Equipos
227,51	33,24	260,74	205,69	Imprevistos (5%)
1.750,48	856,16	2.606,64	0,00	<b>CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE (2)</b>
72,63	164,79	237,42		Electricidad BT
1.667,12	815,39	2.482,51		Construcción y Montaje
83,36	40,77	124,13		Imprevistos (5%)
688,36	325,39	1.013,74	0,00	<b>OTROS (3)</b>
655,58	309,89	965,47		Otros
32,78	15,49	48,27		Imprevistos ( 5 %)
7.260,85	1.879,52	9.140,37	4.319,49	<b>TOTAL (1+2+3)=4</b>
66,60	50,80	117,40		<b>Inc. Del Capital de Trabajo (6)</b>
7.327,45	1.930,31	9.257,77	4.319,5	<b>VALOR TOTAL DE INVERSIÓN (4+5+6)=(7)</b>

#### Variante 2

Incluye además de lo descrito en la Variante 1, la construcción de una línea y dos desconectivos adicionales. Los resultados de la inversión total se reflejan en la tabla 5.

Tabla 5: Desglose del valor total de inversión Variante 2.

VALOR TOTAL DE INVERSIÓN				Variante 2
Divisas (MCUC)	MN (MCUP)	MT (MCUP)	IMPORT. (MUSD)	PSFV Cárnico Palmira 3,0 MWp con Inversión en redes eléctricas.
4.927,84	697,97	5.625,82	4.319,49	<b>EQUIPOS (1)</b>
4.700,34	664,74	5.365,07	4.113,80	Equipos
227,51	33,24	260,74	205,69	Imprevistos (5%)
1.750,48	856,16	2.606,64	0,00	<b>CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE (2)</b>
72,63	164,79	237,42		Electricidad BT
1.667,12	815,39	2.482,51		Construcción y Montaje
83,36	40,77	124,13		Imprevistos (5%)
688,36	325,39	1.013,74	0,00	<b>OTROS (3)</b>
655,58	309,89	965,47		Otros
32,78	15,49	48,27		Imprevistos ( 5 %)
7.366,68	1.879,52	9.246,20	4.319,49	<b>TOTAL (1+2+3)=4</b>
66,66	50,84	117,50		<b>Inc. Del Capital de Trabajo (6)</b>
7.433,34	1.930,36	9.363,70	4.319,5	<b>VALOR TOTAL DE INVERSIÓN (4+5+6)=(7)</b>

Se observa que la segunda variante tiene un costo de equipos de 4700,34 MCUC lo cual es mayor que la primera variante que tiene 4594,51 MCUC. Esta diferencia se debe a la construcción de la línea y la incorporación de dos seccionadores adicionales.

### Período de recuperación de las inversiones

#### Variante 1

Luego de la realización de los cálculos, los resultados del período de recuperación de la primera variante en moneda total se pueden observar en la tabla 6.



Se puede ver que en esta variante el VAN se hace positivo para una tasa entre el 10% y el 8%, teniendo este último un valor de 789 MCUP. Además la TIR con una tasa de 9.87%, el período de recuperación de 9.89 años.

### Análisis de resultados

Se puede observar que las variantes 1 y 2, antes presentadas son económicamente factibles, dado que su recuperación se realiza para un período menor de los 10 años, con una tasa de 9,73% y 9,87% respectivamente. La variante 2 con respecto a la variante 1, desde el criterio del VAN y para una misma tasa de descuento menor o igual al 8%, se torna más factible el proyecto, aunque su inversión inicial sea aún mayor que la otra variante, todo esto se debe a que la misma ofrece una mayor reducción de pérdidas, las cuales se incrementan al transcurrir los años.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En las condiciones originales con el PSFV Cantarrana conectado al alimentador 1635 se garantiza una adecuada operación de dicha parte de la red de 34,5 kV, lo cual se comprobó en las simulaciones con el Radial y se corroboró en la práctica.
- Una vez realizado el análisis técnico de las variantes, a partir la inserción del PSFV del Cárnico y sus extrapolaciones correspondientes, los resultados obtenidos arrojan que la variante 2 ofrece una mejor operación en la red, así como una mejoría en la flexibilidad y fiabilidad del sistema.
- Del estudio económico realizado se concluye que la variante dos es la mejor opción de conexión, ya que para una misma tasa de interés el valor actual neto es más ventajoso.
- Por todo lo anterior se concluye, que a pesar de la necesidad de una mayor inversión inicial, la segunda variante de reconfiguración de la red es la más ventajosa.
- Por los resultados obtenidos con este análisis, se recomienda esta metodología para la inserción en la red eléctrica de los nuevos parques previstos en la provincia, ya se analizan de manera similar las variantes para los ubicados en la zona más al oeste de la provincia.

### 4. REFERENCIAS

1. Cabrera Martínez, I. (2013). Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Recuperado a partir de <http://lossistemasfotovoltaicosconectadosalared/html>
  2. Carrandi., J. (2010). *Aprovechamiento de las fuentes renovables para la electrificación de los asentamientos en Villa Clara* (Tesis de Grado). Universidad Central de las Villas. Departamento de Electroenergética.
  3. Días, I. (2014). *Prospectiva de las Tecnología Solar Fotovoltaica para la Generación de Electricidad*. México.
  4. García Gattorno, J. (2013). *La Penetración Fotovoltaica en las redes De Distribución*. (Tesis de Grado). Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
  5. Raya Narváez, V. (2008, 2009). *Estudio Técnico Económico De Instalación Fotovoltaica En Cubierta Y Conectada A Red en El Instituto De Enseñanza Secundaria «Francisco Salinas» De Salamanca (España)* (Tesis presentada en opción al grado de Master). Universidad de Andalucía, España.
  6. Vázquez, G. (2013). *Explotación de red de 34,5 kV en Villa Clara con parques fotovoltaicos* (Tesis de Grado). Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Departamento de Electroenergética.
- ✓ Datos brindados por el Despacho Territorial de la OBE Cienfuegos
  - ✓ Normativas y requisitos implementados por INEL y la Dirección de la UNE.



**Emilio A Francesena Bacallao** es graduado de Ingeniero Electricista en la Universidad Central de Las Villas en 1985. Titulado de Master en Ingeniería Eléctrica, mención Sistemas Eléctricos en 2001. Profesor Auxiliar del Centro de Estudios Electroenergéticos en la Universidad Central de Las Villas. Se ha desempeñado como jefe disciplina y jefe de colectivos pedagógicos en la carrera. Nominado Profesional de Alto Nivel de la UNAICC. Laboró desde su graduación y durante nueve años en el montaje, puesta en marcha y explotación de un Complejo Petroquímico, donde fue especialista técnico, jefe de departamento eléctrico y eléctrico principal. Cursó entrenamiento en sistema eléctrico industrial en la antigua URSS, impartió cursos de postgrado en Nicaragua y colabora como especialista en la República de Angola. Cursado varios estudios de postgrado y participa en la impartición de varios diplomados, cursos de postgrado y maestrías, varios vinculados a la generación distribuida. Tutor de alrededor de veinte trabajos de diploma en las ramas de Protecciones Eléctricas y Sistema Eléctrico Industrial e Ingeniería Eléctrica como integradora, así como oponente y miembro del tribunal evaluador. Interviene directamente en varias tareas y proyectos en colaboración con la UNE, OBE e industrias de la región central de Cuba. Participación como ponente en más quince eventos internacionales, con varias publicaciones nacionales e internacionales.