



Estudio de las redes eléctricas de la zona oeste de la provincia La Habana

Norberto Rodríguez
Juan Carlos Pérez

Julio del 2001

Resumen / Abstract

Se estudian las redes de distribución urbana en la zona rural de la parte oeste de la provincia La Habana a consecuencia de la entrada de cargas de la agricultura. Dicho aumento de cargas viene dado por la sustitución de los motores de combustión interna que se utilizan para el riego de los cultivos por motores eléctricos de una mayor eficiencia. Este estudio tiene gran importancia práctica debido a que el estado técnico actual de las líneas de distribución no permite la entrada de las cargas propuestas y por tanto es necesaria la modificación y mejora de los circuitos y subestaciones involucradas en este proceso en aras de disminuir las pérdidas al mínimo posible y de entregarle al usuario una energía con la mejor calidad posible. Por último, se hizo la evaluación económica de las variantes propuestas para cada caso y se escogió la mejor desde el punto de vista técnico y económico, en concordancia con los criterios modernos de selección de variantes en un estudio técnico, como es el caso.

Palabras clave: redes eléctricas de distribución

The theme of this article is the study of the distribution circuits (with voltage level between 4,16 kV and 13,8 kV) in province Havana. This study was necessary due to the substitution of internal combustion engines in electric engines in order to use this technology to irrigate different plantations. Distribution net in this territory are not able to support this increment of power flowing on these lines, therefore, we proposed a group of actions that must be executed to achieve the correct operation of the circuits. Finally, we made an analysis from the economic point of view of all situations proposed and selected the best option of all.

Key words: distribution electrical network

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las empresas y ministerios se han enfrascado en un proceso de redimensionamiento económico, en el cual se incluyen, tanto la reducción de los costos de producción como la introducción y utilización de nuevas tecnologías. Es por ello que el Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) en la provincia La Habana, decidió ejecutar un cambio en la tecnología de riego, al proponer la sustitución de los motores de combustión interna (utilizados hasta este momento) por motores eléctricos.

Este cambio conllevó un estudio por parte de la Empresa Eléctrica de dicho territorio acerca del estado en que se encontraban sus redes de distribución primaria para afrontar esta repentina y poderosa entrada de cargas en ese territorio, puesto que se estimó que la situación actual que presentaban los circuitos de distribución no era buena para enfrentar la entrada de esas nuevas cargas sin tener que modificarlas o mejorarlas, ya que se corría el peligro de que, al introducir estos nuevos consumidores, algunos de los parámetros que caracterizan la calidad

de la transmisión de la energía (como son las caídas de voltaje y las pérdidas de potencia y energía) adquieran valores que estén fuera de los límites establecidos por el Sistema Electroenergético Nacional (SEP).

En este artículo, y en otros que posteriormente serán publicados, se hará referencia a los resultados obtenidos en una investigación en los municipios de Artemisa, Güira de Melena y Quivicán. Además de ello, en una segunda parte del trabajo, se mostrará este mismo estudio, pero realizado por el método de optimización de redes, para la posterior comparación de ambos resultados y la exposición de las conclusiones en un último artículo.

En esta primera parte, se analiza el municipio Artemisa. Se escogió este territorio para comenzar, debido a que es uno de los que más cargas va a recibir según la propuesta del MINAGRI.

ESTADO ACTUAL DE LOS CIRCUITOS Y SUBESTACIONES DEL MUNICIPIO ARTEMISA

Al comenzar este estudio se consideró como estado actual, el alcanzado por los circuitos estudiados al agregarles las cargas y hacer una corrida utilizando el programa zonal, con lo cual se obtuvieron los valores de pérdidas de potencia y energía en las líneas y también los valores de las caídas de voltaje sobre la base de los cuales se tomaron las decisiones puntuales para darle solución a cada caso en particular.

PROPUESTAS DE LAS MEJORAS A INTRODUCIR

En el municipio Artemisa hay ubicada tres subestaciones con las que se cubre el servicio del municipio. Las características de estas subestaciones se muestran en la tabla 1.

| Nombre | Voltaje (kV) | Capacidad (kVA) | Porcentaje de carga (%) | Longitud (km) |
|--------------|--------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Artemisa 33 | 13,8 | 12 600 | 35,3 | 34,5 |
| Mart. Art. | 13,8 | 1 600 | 107,6 | 84 |
| B. Platanera | 13,8 | 1 000 | 99,8 | 28,3 |

Para este territorio se propuso la entrada de 26 máquinas de riego y 33 estaciones de bombeo localizado. Estos motores tienen como promedio un factor de potencia de 0,85 (inductivo) por ser motores asíncronos y se estimó para ellos un factor de diversidad de 0,9, porque es bastante frecuente que el horario de regadío coincida para los agricultores, toda vez que en el horario "pico" (de 6:00 pm a 10:00 pm) no se puede regar, lo que provoca que haya gran coincidencia en toda la mañana y primeras horas de la tarde.

En primer lugar se distribuyeron las cargas entre las tres subestaciones mostradas en la tabla 1, para luego evaluar las mejoras necesarias a efectuar en cada caso. Hecho esto, se decidió repartir la carga de la siguiente manera: a la subestación Artemisa 33 se le asignaron 3 203,1 kVA, a Mártires de Artemisa 1 475,5 kVA y Base Platanera 307, 2 kVA por ser a la subestación que, debido a su nivel de voltaje, se le deterioran los parámetros más rápidamente.

Además, se decidió aumentar la capacidad en los transformadores de las subestaciones para que pudieran asumir la carga a ellos asignada. En el caso de la subestación Mártires de Artemisa, se propuso la inclusión de un transformador de 1600 kVA en paralelo con el ya existente y en Base Platanera, la sustitución del transformador de 1000 kVA allí existente por otro de 1 600 kVA. En el caso de la subestación Artemisa 33, no fue necesaria esta mejora porque está cargada solo al 35 % de su capacidad y puede absorber la carga sin necesidad de un aumento de la capacidad de sus transformadores.

Por otra parte, se propuso también la construcción de un enlace de alrededor de 2 km de longitud entre los nodos 207 del circuito Mártires de Artemisa y 86 del circuito Artemisa 33, y hacer un abierto en el nodo 202 de Mártires de Artemisa,¹ con lo cual se liberó capacidad de este circuito. Con esto se logró que esta última subestación estuviera más descargada para asimilar la carga propuesta para ella.

La tabla 2, refleja los resultados obtenidos al hacer la corrida de las subestaciones con las cargas incorporadas utilizando el programa zonal.

Como se puede comprobar, los parámetros de calidad están fuera de los rangos permitidos por el SEP (un 3 % para las pérdidas de potencia y un 5% para las caídas de voltaje) Por lo que es evidente que los circuitos necesitan mejoras inducidas para perfeccionar esos parámetros, lograr que no se derroche la energía en

pérdidas de potencia y que llegue al cliente un voltaje estable y con valores adecuados para la operación de sus máquinas y demás equipamiento eléctrico.

Dentro de las mejoras que se aplicaron a estos circuitos están las siguientes:

1. Instalación de bancos de capacitores.
2. Cambio del calibre de los conductores en el tronco y(o) ramas del circuito.
3. Cambio y conversión del nivel de voltaje.
4. Acomodo de cargas.

En el caso de la subestación Artemisa 33, el único valor no adecuado es el del factor de potencia, el cual está por debajo del establecido para circuitos de distribución (0,93-0,94) por lo que se propusieron dos variantes de instalación de capacitores para mejorar este parámetro, aunque con esta mejora también se obtiene ahorro de potencia y energía. Los resultados se muestran en la tabla 3.

| Nombre | Pérdidas de potencia (%) | Pérdidas de energía (%) | Caídas de voltaje (%) | Factor de potencia |
|--------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|
| Artemisa 33 | 2,18 | 1,93 | 4,3 | 0,85 |
| Mart. Art. | 3,85 | 3,13 | 7,03 | 0,85 |
| B. Platanera | 12,1 | 11,27 | 19,78 | 0,85 |

Tabla 3
Resultados obtenidos en la subestación Artemisa 33 después de la instalación de los capacitores

| | ckva | | nodos | | f.p | Δp | Δu | Ahorro de | |
|-------|-------|-----|-------------------------------|-----|------|------------|------------|-----------|-------|
| | Fijos | ctn | Fijos | cnt | | | | P | E |
| Var 1 | 750 | 0 | 90 98 118 124 132 | | 0,91 | 1,79 | 3,57 | 16,93 | 118,7 |
| Var 2 | 1 050 | 300 | 1 228 6 82 97 | 21 | 0,94 | 1,67 | 3,15 | 18,99 | 142,6 |

En la subestación Mártires de Artemisa se aplicaron dos variantes también: la primera, la instalación de 600 kvar en cuatro bancos de 150 kvar en los nodos mostrados en la tabla 3 y la segunda, la instalación de esa misma cantidad de capacitores y un cambio de calibre a 4 km del tronco del circuito. Los resultados están reflejados en la tabla 4.

La subestación Base Platanera presentó una situación particular, en la cual no fue posible aplicar otra mejora que no fuera el cambio del nivel del voltaje de 4,16 kV a 13,2 kV debido a que con ninguna otra solución se logró ubicar los parámetros de las líneas en los valores adecuados. Junto con esta situación, está también la necesidad de realizar el cambio en ese circuito ya que está rodeado de otras líneas de 13,2 kV de voltaje nominal y sería muy fácil un enlace en el futuro con alguno de ellos en caso de necesidad, además, la carencia de elementos de líneas de 4,16 kV en el mercado mundial hace necesario el cambio aquí propuesto. En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos.

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS VARIANTES PROPUESTAS

Cuando se obtuvieron las variantes técnicamente factibles se procedió al análisis económico de las mismas para tomar la decisión final acerca de cuál se aplicaría debido a que en la actualidad no se concibe un estudio técnico sin un análisis económico que respalde la solución técnica del problema.

En dicho estudio se escogió el método del VAN (valor actual neto) y la TIR (tasa interna de retorno) para hacer el análisis económico. Este método es muy efectivo y se utiliza actualmente por la Empresa Eléctrica con estos mismos fines.

En la tabla 6 se muestran los resultados del análisis económico realizado en el municipio.

En el caso de la subestación Artemisa 33 se escogió la variante 2 porque tiene una TIR mayor, un menor costo y su relación beneficio-costos (B/C) es la más elevada. También es más ventajosa porque, a pesar de no ofrecer tanto ahorro como la primera, su VAN es aproximadamente igual y la inversión se recupera en menos tiempo.

De las dos variantes propuestas en Mártires de Artemisa, se escogió la que combina el cambio de calibre con la instalación de capacitores por tener un VAN muy bueno y una TIR aceptable, además de que ahorra una cantidad considerable de potencia.

| Tabla 4 Resultados obtenidos en la subestación Base Platanera después de la instalación de los capacitores | | | | | | | | | |
|---|-------|-----|-------------------------------|-----|------|-----|------|-----------|------|
| | ckva | | Nodos | | df.p | dP | dU | Ahorro de | |
| | Fijos | ctn | Fijo | cnt | | | | P | E |
| Var 1 | 600 | 0 | 91 118 124 132 | | 0,92 | 1,8 | 4,07 | 13,4 | 77 |
| Var | 600 | 0 | 217 186 82 94 229 | | 0,95 | 1,1 | 3,02 | 18,4 | 85,5 |

| Tabla 5 Resultados obtenidos en la subestación Base Platanera después de la instalación de los capacitores | | | | |
|---|---------|------|-------|------|
| Variante | Voltaje | dP | dU | f.p |
| 1 | 4,16 | 12,1 | 19,78 | 0,85 |
| 2 | 13,8 | 1,05 | 1,81 | 0,85 |

| Tabla 6 Resultados del análisis económico en las subestaciones del municipio Artemisa | | | | | | | |
|--|----------------------|-----------------|------------|------|----------|---------|--------------|
| Subestación | Tipo de mejora | Red. de dP (kW) | Costo (\$) | B/C | VAN | TIR (%) | Recuperación |
| Artemisa 33 | 500 ckvar | 16,93 | 7 625 | 3,6 | 17 533,7 | 101 | 2 |
| | 1 050 ckvar | 18,89 | 103 72 | 2,9 | 18 165,1 | 57 | 3 |
| Mártires de Artemisa | Aumento de capacidad | 16,8 | 4 333 022 | 1,44 | 16 874,4 | 31 | 5 |
| | 600 ckvar | 13,4 | 6 157 | 3,42 | 13 276,5 | 89 | 2 |
| Base Platanera | Cambio de calibre | 45,6 | 61 157,12 | 2,04 | 56 912,2 | 65 | 3 |
| | Aumento de capacidad | 21,3 | 43 330,22 | 1,74 | 28 544,6 | 44 | 4 |
| | Cambio de voltaje | 36,4 | 147 920 | 1,31 | 11 839,9 | 20 | 7 |
| | 225 ckvar | 2,26 | 2 420 | 1,79 | 1 679,61 | 8 | 6 |

El cambio de nivel de voltaje en la subestación Base Platanera es una inversión muy costosa por lo que, a pesar de tener una TIR relativamente baja y un tiempo de recuperación largo, se puede considerar aceptable para este tipo de mejora y por tanto, se decidió que era factible.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que es imprescindible la aplicación de estas mejoras para poder mantener el sistema eléctrico funcionando satisfactoriamente con sus parámetros dentro de los límites establecidos. Todas las decisiones tomadas obedecen a criterios tanto técnicos como económicos aplicados en el ámbito nacional para lograr la mayor calidad posible en los resultados de este trabajo.

Como se explicó anteriormente en próximos números se completará el trabajo realizado en los demás municipios hasta llegar a las conclusiones generales de este estudio acerca de la comparación entre los

métodos de las mejoras inducidas y de optimización de redes.

REFERENCIA

1. Rodríguez Barallobre, Norberto y Juan Carlos Pérez Plasencia: "Estudio y optimización de las redes en la zona oeste de la provincia La Habana debido a la entrada de cargas de la agricultura", Tesis de grado, Ciudad de La Habana, 1999.

AUTORES

Norberto Rodríguez Barallobre,
Ingeniero Electricista, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE) Ciudad de La Habana
e-mail: norberto@cipel.ispjae.edu.cu

Juan Carlos Pérez Plasencia
Ingeniero Electricista, ECI#8, Güira de Melena, La Habana



El ISPJAE te oferta las carreras:

- *Arquitectura*
- *Ingeniería Hidráulica*
- *Ingeniería en Automática*
- *Ingeniería Informática*
- *Ingeniería Química*
- *Ingeniería Civil*
- *Ingeniería Eléctrica*
- *Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica*
- *Ingeniería Industrial*
- *Ingeniería Mecánica*