

Estudio de la reconfiguración de las redes 34.5kV para la puesta en marcha de la subestación Velasco 110kV*

Alberto García Labrada

agarcial@ismm.edu.cu

Yetsy Silva Cala

ysilva@ismm.edu.cu

Especialidad: Ingeniería Eléctrica

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se analizan 3 redes de transmisión y subtransmisión de energía eléctrica 6045, 9771 y 6880 comprendidas entre los municipios Holguín, Gibara, Calixto García y Rafael Freyre para analizar las diferentes formas de reconfigurar dichas redes posterior a la puesta en marcha de la subestación Velasco 110kV. Se propone la variante más ventajosa económicamente para el país utilizando el software DIgSILENT Power Factory.

Palabras clave: software DIgSILENT Power Factory; subestación; redes; transmisión; subtransmisión; energía eléctrica.

* Recibido: 4 enero 2018/ Aceptado: 23 julio 2018.

Study of the reconfiguration of 34.5kV networks for the commissioning of the Velasco 110kV substation

Abstract: In the development of this work a study of the networks 6045, 9771 and 6880 between the municipalities Holguín, Gibara, Calixto García and Rafael Freyre is carried out to analyze the different ways of reconfiguring these networks after the implementation of the Velasco substation 110kV and the most economically advantageous variant is proposed for the country using Dig SILENT Power Factory software.

Key Words: Dig SILENT Power Factory software; substation; networks; transmission; subtransition; electric power.

Introducción

El elevado crecimiento de las tecnologías y el desarrollo alcanzado por el ser humano ha explotado en una extraordinaria expansión del consumo de energía que se ha basado principalmente en el consumo de combustibles fósiles, que como se ha planteado miles de veces no es renovable y se acabará dentro de algunos años.

El crecimiento continuo de las cargas es una consecuencia obligada del desarrollo que en el orden económico y social experimenta la sociedad moderna. Este crecimiento es causa de que el incremento de generación de energía eléctrica se duplique en periodos de aproximadamente 10 años.

Durante los últimos años, mundialmente crece la conciencia acerca de la importancia del uso eficiente de los recursos energéticos, y en particular, del control de las pérdidas eléctricas. El ahorro se ha tomado como la mejor forma de contribuir a optimizar los requerimientos de inversión en el sector electro energético (Grainger & Stevenson, 1996; John, Grainger & Stevensom, 2002).

La energía eléctrica es de vital importancia en la sociedad debido a que esta sienta las bases del desarrollo de cualquier país, por ello, deben ser buscados las mejores soluciones y alternativas para brindar un servicio con mayor calidad y eficiencia a los consumidores. La utilización tan amplia de la energía eléctrica en la industria y los servicios ha convertido la generación electro energético en unas de las ramas básicas de la Economía Nacional, y de su oportuno desarrollo depende la planificación de toda la economía del país y la elevación del nivel de vida de la sociedad. En el caso de Cuba hace apenas unos años el Comandante en Jefe " FIDEL " declaró el inicio de La Revolución Energética y a partir de ese momento el país se enrumbo en una ola de cambios en lo que respecta a la energía eléctrica que no ha parado hasta nuestros días (Alfajarin, 2016; Balcells, 2010).

A raíz de estos cambios se aumentó el número de clientes y el consumo ha ido en aumento; unido esto se ha heredado una red eléctrica algo obsoleta y, a que la prioridad número uno es el ahorro y la distribución eficiente de la energía; los proyectos son muy numerosos y los cambios bastantes importantes.

Entre los principales objetivos que se ha planteado la UNE en la provincia Holguín es la creación de un lazo alrededor de la ciudad entre 4 subestaciones para que en caso de una

avería no ocurran grandes pérdidas en un área tan industrializada y de tanta importancia económica para el país, pero para lograr este objetivo debe liberarse el portal que va de la subestación Holguín 110kV hasta el circuito 9771 y al ponerse en marcha la subestación Velasco 110kV también se requiere buscar la mejor variante de reconfiguración de la red para la cual el incremento de las pérdidas sea mínimo, dicho de otra manera el esquema óptimo de las líneas 6880 y 6045 una vez eliminado el 9771.

En este estudio se analizan 3 redes de transmisión y subtransmisión de energía eléctrica 6045, 9771 y 6880 comprendidas entre los municipios Holguín, Gibara, Calixto García y Rafael Freyre para analizar las formas de reconfigurarlas posterior a la puesta en marcha de la subestación Velasco 110kV.

Comportamiento de las cargas

Las necesidades energéticas de los consumidores son diferentes a cada hora del día lo que ocasiona variaciones en el consumo en el transcurso del mismo. Cada consumidor en particular presenta sus propias necesidades en mayor o menor magnitud a determinadas horas, pudiendo o no coincidir con los requerimientos de los demás usuarios. Un consumidor aislado no influye en forma sustancial en el régimen de carga del sistema, a menos que sean muy grande, es por lo general el conjunto de usuarios afines con características propias el que determina el régimen de carga.

La regularidad de las variaciones diarias de las cargas solo se mantiene en la medida en que las condiciones que los provocaron persistan, en el transcurso del año son muchas las circunstancias naturales que las alteran, la duración de los días, las condiciones climatológicas, etc. Y existen también circunstancias propias, tales como las condiciones del trabajo industrial, un caso típico es el periodo de la zafra azucarera que influye significativamente en la demanda diaria.

Disminución de las pérdidas de energía eléctrica en redes de subtransmisión

La disminución de las pérdidas de energía en las redes puede elevar notablemente los índices económicos de un sistema energético.

Las medidas para reducir estas pueden agruparse en constructivas y operativas. Las medidas constructivas requieren inversiones complementarias y pueden resumirse así:

-Refuerzo de las redes, construcción de circuitos complementarios, cambio de conductores en las líneas por otro de mayor calibre.

-Instalación de equipos que liberen las redes de la transmisión de capacidad reactiva, a condensadores sincrónicos y estáticos, etc.

-Instalación de equipos que eleven el voltaje de operación en las redes, condensadores sincrónicos y estáticos, etc. Estas medidas son particularmente para los sistemas energéticos que sufren déficit de capacidad reactiva, en vista de lo cual operan en el periodo de mayores cargas reactivas con un voltaje bajo.

-Paso de las redes al nivel siguiente de voltaje nomina, ejemplo de 3 a 6 kV.

Principales mejoras a emplear en los circuitos de subtransmisión

En los circuitos de subtransmisión existen un gran número de mejoras que se pueden realizar con el fin de obtener beneficios en la gestión energética, tema este en el que se han interesado un sin número de autores donde se plasma las principales mejoras que se pueden realizar en un circuito de subtransmisión los cuales son: (Chapman, 2012).

- Ajuste de las derivaciones de los transformadores.
- Uso de reguladores de voltaje.
- Inyección y control de reactivo en las líneas.
- Cambio de calibre de los conductores.
- Elevación del voltaje nominal del circuito (conversión de voltaje).
- Completamiento de los bancos de transformadores en conexión incompleta.
- Construcción de nuevos circuitos.

Seguidamente se explican de la forma más simple algunas de estas mejoras con el propósito de entender mejor las características de los sistemas eléctricos.

Ajuste de las derivaciones de los transformadores

Esta medida consiste en lograr una coordinación entre las derivaciones de los transformadores del nivel de subtransmisión y distribución, con el fin de garantizar que para los estados de carga máximo y mínimo el voltaje en el metro contador del consumidor sea lo más cercano posible al nominal. Conocidos los límites de variaciones de voltajes en los diferentes niveles, así como los valores de las derivaciones o (taps) de

los transformadores conectados a estos, se puede analizar la forma de realizar los ajustes de las mismas, con el fin de mantener un voltaje lo más estable posible, independientemente de las funciones de las cargas (John, Grainger & Stevensom, 2002).

A continuación, se muestra la metodología a seguir para para lograr el ajuste de las derivaciones de los transformadores en líneas de subtransmisión.

- Calcular los voltajes en los nodos para máxima y mínima demanda.
- Determinar el voltaje promedio en cada nodo.
- Elegir las derivaciones de los transformadores lo más próxima a los valores de los voltajes promedios.
- Ajustar el voltaje de suministro.

Uso de reguladores de voltajes

La regulación del voltaje consiste en mantener el voltaje aplicado a las instalaciones de los consumidores lo más próximo posible a su valor nominal; esto requiere reducir lo más posible la desviación media del voltaje, que caracteriza la diferencia entre el valor medio del voltaje en ese punto y el valor nominal y la desviación típica, que caracteriza la amplitud de las fluctuaciones del voltaje alrededor de ese valor medio.

Los reguladores de voltaje utilizados en los circuitos de subtransmisión y distribución se colocan por lo general en las subestaciones, aunque pueden instalarse también en algún punto de alimentadores primarios, y tienen como objetivos neutralizar las variaciones de voltajes que se producen en la red de transmisión y compensar en parte las variaciones de voltajes que se producen en estos sistemas.

Inyección y control de reactivo en las líneas

La circulación de Potencia reactiva por el sistema de distribución aumenta la magnitud de la corriente y las pérdidas por efecto Joule y causa un incremento de la caída de tensión y por lo tanto, afecta la regulación del mismo. Si la Potencia reactiva se produce en un lugar próximo adonde se va a consumir, y se evita su transmisión por el sistema de distribución, se obtienen los siguientes beneficios:

- Se regula la corriente que circula por el sistema, liberando capacidad instalada para la transmisión de la Potencia real.

- Se reducen las caídas de tensión en el sistema, contribuyendo así a mejorar la regulación de voltaje.
- Se reducen las pérdidas en el sistema.

Cambio de calibre de los conductores

El calibre de los conductores debe ser el indicado a la hora de trabajar en los sistemas de potencia eléctrica ya que una mala selección de estos podría traer muchos problemas como son el caso de pérdidas muy grandes o incluso fallas. Estos son algunos de los factores que deben cumplir un conductor eléctrico:

- Transportar la potencia requerida con total seguridad.
- Que dicho transporte se efectúe con un mínimo de pérdidas de energía.
- Mantener los costes de instalación en unos valores aceptables.
- A la hora de dimensionar un conductor se aplican tres criterios básicos:
 - Que su caída de tensión (ΔV) esté dentro de los límites admisibles.
 - Que el calentamiento por efecto Joule no destruya el material aislante del conductor.
 - Que en caso de cortocircuito, no se destruya el conductor.

Construcción de nuevos circuitos

La construcción de nuevos circuitos es una técnica para eliminar pérdidas de las redes eléctricas que se basa principalmente en crear tramos de líneas con el objetivo de unir circuitos que presenten deficiencias tales como caídas de tensión o pérdidas importantes de energía ya sea por exceso de cargas o por otros factores, y así mejorar los circuitos, logrando un mejor funcionamiento de las redes eléctricas a las que se le hacen los cambios.

Principales ventajas al implementar este método:

- Se logra un correcto funcionamiento de las redes distribuyendo más eficientemente las cargas.
- Se estabilizan los niveles de tensión en las redes.

Principales desventajas:

- La construcción de nuevos tramos de líneas implica mayores costos de inversiones.
- Se hace necesario un estudio bien detallado de todas las redes y de sus características.

Para el caso de este estudio el método que se va a implementar es el de construcción de nuevos circuitos ya que es necesario construir nuevos tramos de líneas para la nueva distribución de los circuitos con los que se trabajan.

Descripción de los circuitos de subtransmisión en estudio

El Sistema de subtransmisión al que se realiza el estudio presenta como características principales ser un sistema radial muy extenso debido a las grandes distancias de las líneas que lo componen, en cuanto a la composición de los consumidores existe un predominio del tipo residencial, aunque también se destacan por su importancia consumidores del tipo industrial como son los molinos y bombeos.

El sistema a estudiar, como se muestra en la tabla 1, consta de 3 líneas de 34,5 kV, un total de 16 subestaciones, 83 transformadores monofásicos, 3 bancos de tres transformadores monofásicos y 10 bancos de dos transformadores monofásicos y aproximadamente 134 km de líneas. De los tres circuitos en estudio el 6045 presenta los niveles de voltajes más bajos.

Tabla 1 Distribución de los elementos de los circuitos a reconfigurar

Circuito	Transformadores monofásicos	Bancos de 2 Transformadores	Bancos de 3 Transformadores	Transformadores Subestaciones	Subestación
6880	19	4	1	3	4
9771	24	6	2	12	7
6045	8	0	0	4	5
Total	51	10	3	19	16

A continuación, se presenta una breve descripción de las líneas de 34,5 kV a reconfigurar de acuerdo a su composición y distribución geográfica.

(6880): Este circuito se alimenta de la subestación La Caridad 110kV y se desplaza por lo que es conocida como LSTE Caridad-P Eólico, comienza en el desconectivo (6882) y termina en el (O428), se desvía hacia el sur hasta llegar a la subestación "La Naza" por el

desconectivo (O345). También se comunica con el circuito (9771) por el desconectivo (O351); cuenta con 26 transformadores, 28 cargas, 4 subestaciones y 45,2 km de líneas en su totalidad.

(9771): Este circuito se alimenta de la subestación Holguín 110 kV, comienza en el desconectivo (9801) y termina en diferentes puntos como son las subestaciones del poblado San Andrés y del poblado de Velasco. Se comunica con el (6880) por el desconectivo (O351) y con el (6045) por el desconectivo (O493); cuenta con 42 transformadores, 49 cargas, 7 subestaciones y 48,5 km de líneas en total.

(6045): Este circuito se alimenta de la barra de 34,5 kV de la red de transmisión de Holguín 220 kV que alimenta el transformador 2ATHg220. Alimenta toda la zona alrededor de la carretera central y llega hasta las subestaciones de Cruce Mir por el desconectivo (O356) y La Jíquima por el desconectivo (O357). Se comunica con el (9771) por el desconectivo (O493); cuenta con 15 transformadores, 17 cargas, 5 subestaciones y 40,3 km de líneas.

Principales subestaciones que integran los circuitos en estudio

Las subestaciones pertenecientes a los circuitos en estudio presentan distintas diferencias, como son el caso de los molinos y bombeos en comparación con las subestaciones de distribución, ya que no requieren de transformadores de la misma potencia al representar cargas mucho más bajas que las últimas. También algunas presentan generadores que son utilizados para alimentar cargas en horario pico principalmente.

Descripción de la subestación de Velasco 110kV

La subestación de Velasco 110 kV es creada con el doble propósito de sustituir a la subestación Holguín 110 kV en la alimentación de las cargas que pertenecían al circuito 9771 y de distribuir la energía eléctrica proveniente de los parques eólicos Herradura 1 y Herradura 2 además de alimentar o recibir carga del central Guiteras de la provincia Las Tunas de acuerdo a si está en tiempo de zafra o no. El transformador de 110kV a 34.5 kV es el mismo transformador que se encontraba en la subestación Holguín 110 kV ya que al utilizar esta subestación para el lazo alrededor de la ciudad de Holguín, este transformador pasa a ser parte de Velasco 110 kV lo que representa un ahorro de dinero y materiales al no tener que construir ni comprar otra máquina tan costosa.

La figura 1 muestra las distribuciones de las líneas de la subestación Velasco 110 kV.

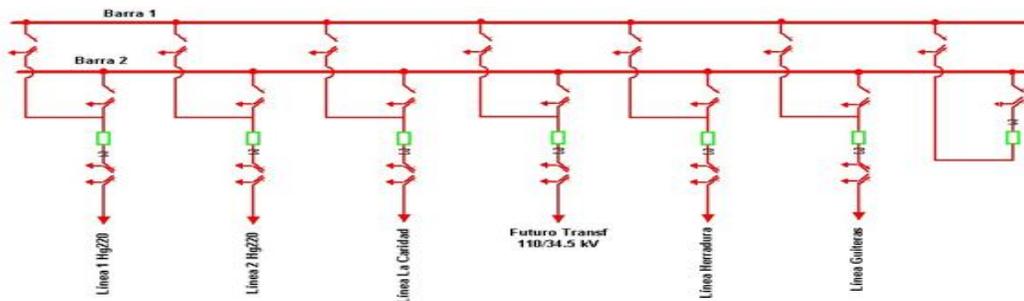


Figura 1 Distribución de las líneas de Velasco 110 kV.

Esta subestación estará conectada a la Red de Transmisión Holguín mediante 2 líneas; línea 1 Hg220 y línea 2 Hg220 conocidas como 8870 y 8860, el resto de las conexiones son a la subestación La Caridad 110kV, al central Antonio Guiteras de Puerto Padre y a los parques eólicos Herradura 1 y Herradura 2, con esta subestación se logra la unión de importantes puntos de generación y distribución de las provincias Holguín y Las Tunas. De esta saldrán dos líneas con nombres Línea Futuro 1 y Línea Futuro 2 respectivamente que serán las que permitirán reconfigurar los circuitos descritos anteriormente, enlazando y distribuyendo las distintas cargas para la posterior propuesta de variantes, ya que al dejar de alimentar Holguín 110 kV al circuito 9771, las cargas de este circuito pasan a formar parte del 6045 y del 6880 lo que provoca que las pérdidas en estas redes se disparen hasta un 66.55% comparadas con la reconfiguración que existía originalmente.

La figura 2 muestra cómo quedó organizado el circuito 9771, el cual ahora forma parte de los circuitos 6880 y 6045 aumentando bruscamente las cargas de estos circuitos.

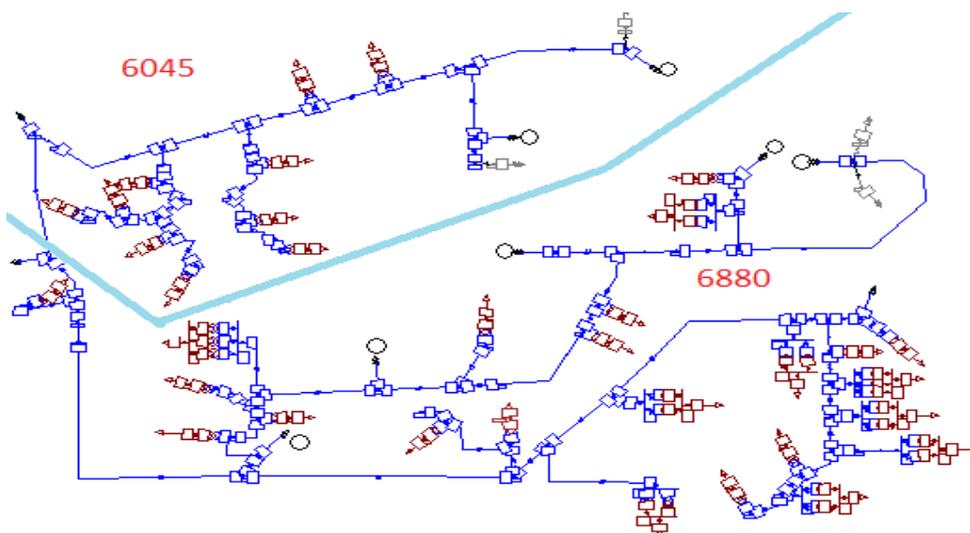


Figura 2. Esquema previo a calentar Velasco 110kV.

Propuestas de variantes para la reconfiguración

Para la realización de las propuestas de las variantes de reconfiguración se analizaron factores como topología y enlaces entre los circuitos para crear variantes fiables y lo más acorde posible a las condiciones económicas del país. Todas las variantes consisten en la creación de dos tramos de líneas que salen de la subestación Velasco 110 kV llamados L. Futuro 1 y L. Futuro 2 con el objetivo de unir tramos buscando el propósito de recoger algunas cargas de los circuitos 6880 y 6045 y mantener los niveles de tensión lo más estables posibles para reducir las pérdidas en estas redes.

Variante 1: en esta variante se comienza por construir un tramo de la línea L. Futuro 1 de 17.8 km para enlazar Velasco 110 kV con la subestación Purnio, esta línea sigue hasta la subestación de San Andrés y se construye un segundo tramo hasta la subestación La Jíquima de 12.9 km obteniendo L. Futuro 1 toda la carga que le había sido dada al 6045 hasta el desconectivo O493 y además la parte perteneciente a la subestación La Jíquima hasta el desconectivo O357. En el caso de la L. Futuro 2 se construye un tramo de 300m para enlazar Velasco 110 kV con la subestación del Poblado de Velasco esta línea sigue hasta llegar a la subestación de Uñas y al desconectivo O348 y otro tramo que sale de Poblado Velasco hasta la subestación La Naza de 7.2 km y llega hasta el desconectivo O551 obteniendo L. Futuro 2 parte de la carga que le había sido dada al 6880 del circuito 9771 y parte de la carga del propio 6880. Para la implementación de esta variante se hace necesario construir 38.2km de líneas tipo 3x ASCR 150.

Las figuras 3, 4 y 5 muestran los esquemas donde se ven más detalladamente los cambios realizados con respecto a los circuitos originales.

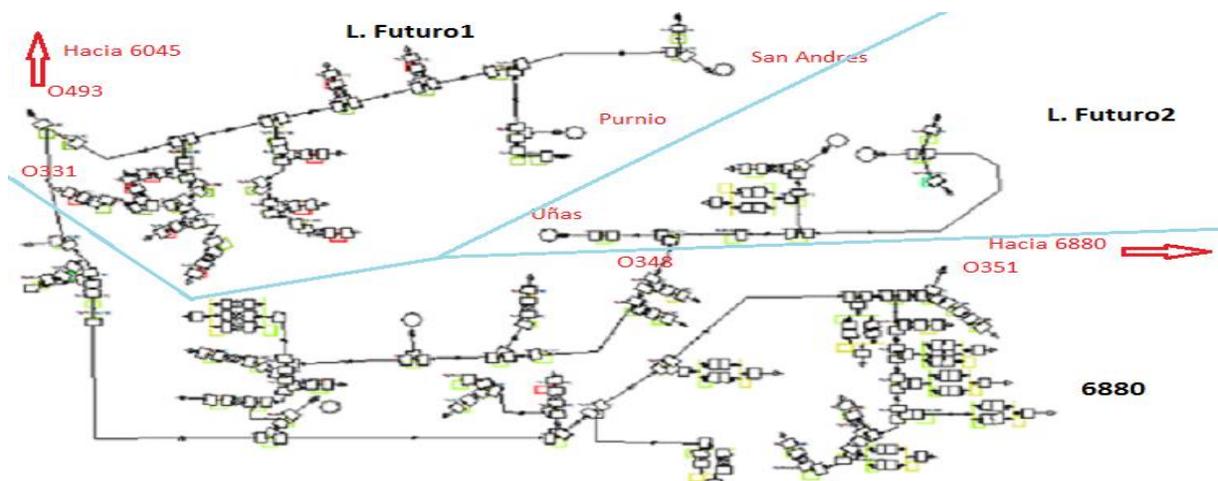


Figura 3. Esquema de distribución de la variante 1.

Variante 2: para el caso de la variante 2 la reconfiguración es casi la misma que la variante 1 cambiando solamente una pequeña parte del esquema que pertenecía anteriormente al circuito 9771 como se muestra en la figura 4, el cambio con respecto a la anterior variante es el caso de que el circuito 6880 se quede con la parte de la subestación de Uñas y llegue hasta el desconectivo O341 buscando que en la L. Futuro 2 no ocurra una sobrecarga ya que presenta tramos de líneas muy largos y podrían aumentar las pérdidas.

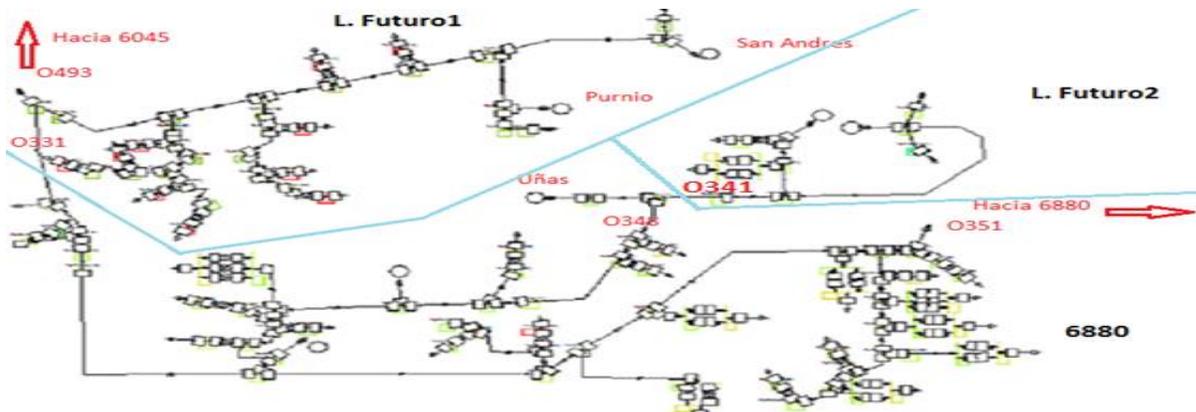


Figura 4. Esquema de la distribución de la variante 2.

Variante 3: esta variante propone que el circuito 6045 se mantenga con la parte de la subestación de La Jíquima y el resto que se le había dado a L. Futuro 1 se mantenga igual, buscando con esto evitar la construcción de 12.9 km de líneas dejando a L. Futuro 1 un tramo menor y evitando las posibles afectaciones al ser tramos de líneas muy largos (Figura 5).

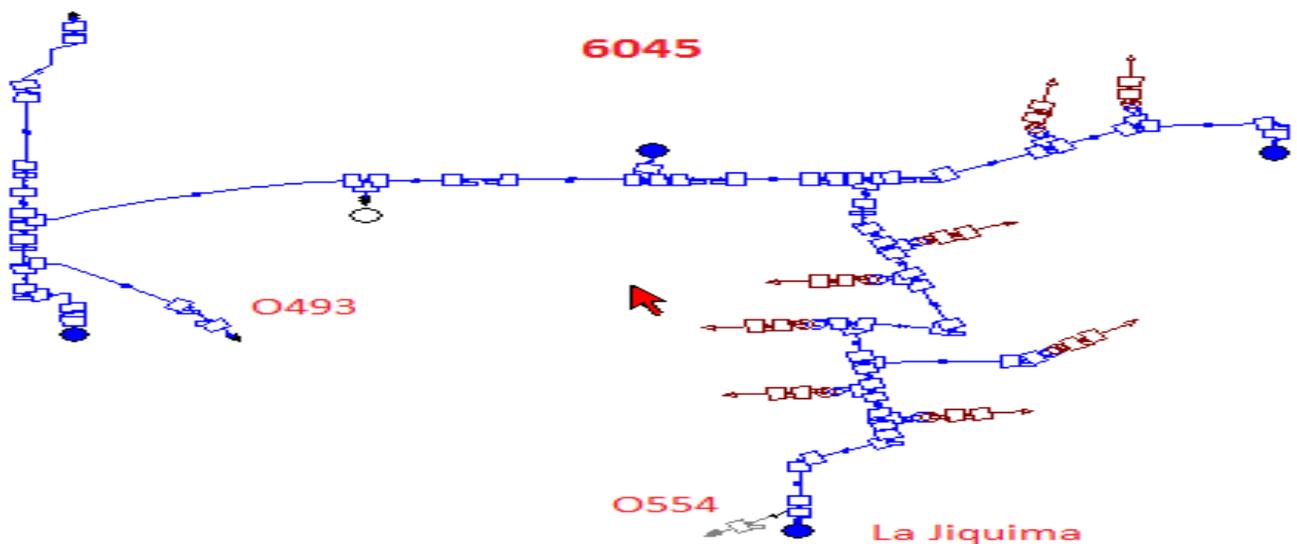


Figura 5. Esquema de la distribución de la variante 3 en el 6045.

Resultados obtenidos de las simulaciones

Después de diseñar en el software Power Factory los circuitos de cada variante, se pasó a la simulación de los mismos teniendo en cuenta el esquema actual y los escenarios o variantes propuestas. Estas simulaciones arrojaron una serie de resultados que fueron analizados en conjunto, para así poder determinar cuál es el esquema más conveniente, teniendo en cuenta los niveles de pérdidas.

A continuación, se muestran en la figura 6 los valores de pérdidas en kW de los diferentes esquemas de las redes en estudio empezando por el valor actual de las pérdidas con la configuración original; seguido de los valores que alcanzan después de desconectar Holguín 110kV, eliminar el 9771 y sin haber calentado Velasco 110kV; y por último las variantes para lograr la reconfiguración deseada.

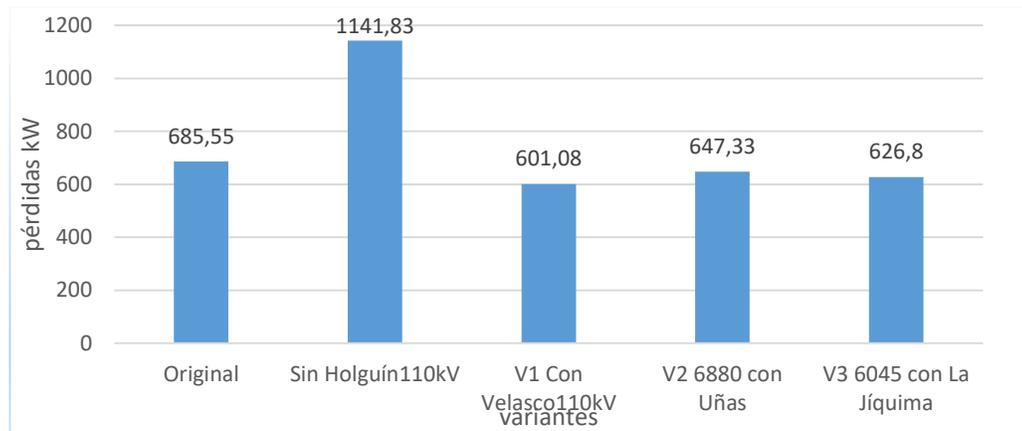


Figura 6. Comportamiento de las pérdidas en los diferentes esquemas.

Con los resultados mostrados en la figura anterior se puede observar que la Variante 1 es la que menos pérdidas presenta disminuyendo en 84,47kW, lo que representa una disminución del 12,32% de las pérdidas con respecto a la configuración original de los circuitos.

La Variante 2 presenta una reducción de pérdidas del 5,57% pero no se compara en eficiencia con otras variantes y aunque las líneas 6045, Futuro1 y Futuro 2 presentan disminución de pérdidas, el 6880 tiene un aumento muy grande de estas.

La Variante 3 tiene como ventajas principales que se dejan de construir 12,9km de líneas, además de que las líneas 6880, Futuro 1 y Futuro 2 presentan pérdidas muy bajas, pero su principal problema es que el 6045 tiene pérdidas muy grandes y este es

un circuito que como se había mencionado anteriormente presenta una ligera caída de tensión lo que podría provocar fallas.

En la figura 7 se muestran las reducciones de pérdidas en % por cada variante donde se puede observar la principal ventaja de la variante 1 con respecto a las demás, que es la reducción de pérdidas.

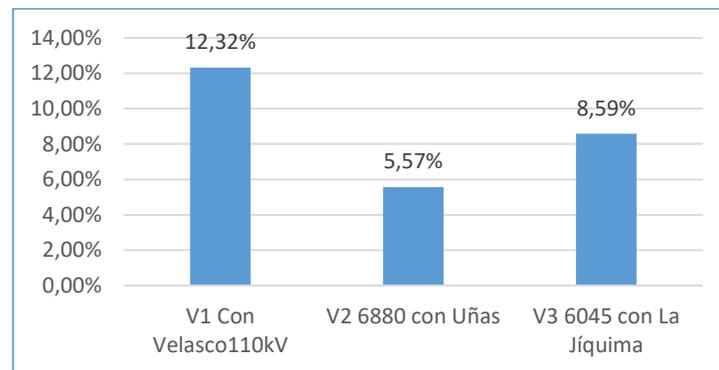


Figura 7. Reducción de pérdidas en % por variantes.

Con esta variante se reducen las pérdidas en un 8.59% en comparación con la configuración original de las redes en estudio constituyendo esto un ahorro de 58,75 kWh, representando al año 514.6 MWh, si se llevan estas cifras a combustibles ahorrados se verá que equivalen a 44,24 toneladas menos por año lo que supondría un ahorro de divisas de 13 535,3 USD equivalentes a \$ 338.382,5 CUP. En la tabla 10 se detallan los datos de ahorro de la variante 3.

Tabla 2. Ahorro económico para la variante 3

Ahorros	Ahorro en MWh/años	Ahorro en ton/años	Ahorro en Bar/años	Ahorro en USD/años	Ahorro en ton CO ₂
Variante 1	514,6	44,24	302,6	13 535,3	31,4

Al calcular los datos de inversión y ahorro utilizando la fórmula del tiempo de amortización de la inversión (T_a) el resultado de la amortización fue de 4.78 lo que significa que el proyecto amortiza en 4 años y 9 meses aproximadamente, siendo esta variante la que más rápido amortiza ya que la inversión era menor y la reducción de pérdidas bastante buena.

Análisis y comparación de las variantes en estudio

Para seleccionar la mejor variante a implementar se tuvieron muchos factores en cuenta a la hora de elegir entre la variante 1 y la variante 3; ya que la variante 2 cuenta con un

tiempo de amortización de 11 años lo que sería demasiado extenso para recuperar la inversión, además es la variante que menos reducción de pérdidas presenta, creándose una comparación paso a paso con el fin de comparar lo más correctamente posible.

1. Comparación en cuanto a tiempo de amortización (Ta):

En cuanto a tiempo de amortización las dos variantes presentan un tiempo de recuperación de las inversiones bastante similar, variante 1 (5 años) y variante 2 (4 años y 9 meses), por tanto ya que la diferencia es de solo 3 meses esta no es una característica que pueda definir cuál será la mejor variante.

2. Comparación en cuanto a pérdidas de circuitos específicos:

En cuanto a esta característica la variante 1 presenta una estabilidad en cuanto a pérdidas en los circuitos ya que ninguno tiene grandes valores de estas como puede observarse en la tabla 3, sin embargo la variante 3 presenta muchas pérdidas en el circuito 6045 que como se ha mencionado anteriormente es el circuito que presenta los niveles de tensión más bajos, por tanto la variante 1 tiene ventajas en cuanto a la característica analizada.

3. Comparación en cuanto a reducción de pérdidas en general y tramos construidos de líneas:

La variante 1 reduce en un 12,32% las pérdidas, pero para esto son necesarias la construcción de 38,2 km de líneas, mientras la variante 2 reduce pérdidas en un 8,59% y son necesarias la construcción de 25,3 km de líneas.

La principal característica que se busca en este estudio es la reducción de pérdidas por tanto la variante 1 es la propuesta a implementar.

Conclusiones

Se lograron establecer las bases teóricas para el desarrollo del estudio.

Mediante la implementación de la variante 1 se puede obtener mayor provecho debido a que en esta nueva reconfiguración las pérdidas disminuyen en un 12,32 %.

Se caracterizaron y se reconfiguraron las líneas de subtransmisión, obteniéndose el mejor esquema de operación.

Se realiza una valoración económica y medio ambiental evidenciando la factibilidad del estudio realizado ya que cuenta con 5 años de tiempo de amortización, con un ahorro de aproximadamente 735 MW al año y dejando de suministrar a la atmosfera 44.87 t de CO_2 por año.

Referencias bibliográficas

ALFAJARIN, F. R. 2016. Instructivo metodológico para la implementación del software Power Factory," 2016. TESIS DE GRADO, ISMM

BALCELLS, J. M., AUTONELL, J., & BARRA, V. (2010). *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica*. Marcombo.

CALZADILLA, Y. C. 2012: Estudio de reconfiguración y esquema óptimo de las nuevas redes de subtransmisión de los municipios Antillas y Banes," TESIS DE GRADO, ISMM

CHAPMAN, S. J. 2012. Induction motors. *Electric Machinery Fundamentals*, 4, 394-401. 5ta edición, Mcgraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. Ciudad de México.

GRAINGER, J. J., & STEVENSON, W. D. 1996: *Análisis de sistemas de potencia*. México: McGraw-Hill.

JOHN J; GRAINGER & WILLIAM D. STEVENSON, 2002. Análisis de sistemas de potencia. 2da edición. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE MÉXICO, S. A.