



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOVIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Eléctrica Departamento de Electroenergética.



TRABAJO DE DIPLOMA

Conexión al Sistema Eléctrico Nacional del Cayo Santa María.

Autor: Eduardo Morales Méndez.

E-mail: emorales@uclv.edu.cu

Tutor: Ing. Alejandro Morales Torres.

E-mail: alejandromt@elecvc1.une.cu

Santa Clara

2014

“Año 56 de la Revolución”



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOVIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Eléctrica Departamento de Electroenergética.



TRABAJO DE DIPLOMA ***Conexión al Sistema Eléctrico Nacional del*** ***Cayo Santa María.***

Autor: Eduardo Morales Méndez.

E-mail: emorales@uclv.edu.cu

Tutor: Ing. Alejandro Morales Torres.

E-mail: alejandromt@elecvccl.une.cu

Santa Clara

2014

“Año 56 de la Revolución”



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Eléctrica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

*“LA DIFERENCIA ENTRE LO QUE
HACEMOS Y SOMOS CAPACES DE
HACER, RESOLVERÍA LA
MAYORÍA DE LOS PROBLEMAS
DEL MUNDO.”*

Mahatma Gandhi.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

- A mi familia.

- A mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer por su ayuda para la realización de este trabajo:

- A mi familia.

- A mis amigos.

- A mis compañeros de aula.

-A mi tutor.

- A mis profesores.

- A todos los que de una forma u otra me han brindado su apoyo en determinado momento, tanto en la vida como estudiante como en el ámbito personal.

TAREA TÉCNICA

- ✓ Búsqueda bibliográfica sobre el desarrollo de la tecnología de cables soterrados con fines de transmisión de energía.
- ✓ Búsqueda bibliográfica sobre el desarrollo de la tecnología de cables submarinos con fines de transmisión de energía.
- ✓ Familiarización con el software PSX v3.2 profesional.
- ✓ Realización de las corridas en el software PSX con diferentes variantes de conexión para así conocer la forma más adecuada de interconectar con el Sistema Eléctrico Nacional.
- ✓ Proposición de variantes de solución.
- ✓ Confección del informe final.
- ✓ Confección de la exposición.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

A lo largo de la historia el sistema eléctrico en Cuba ha tratado de cumplir con la gran tarea de llevar a todos los clientes un buen servicio eléctrico, pero el desarrollo y crecimiento lógico de las tecnologías en los sectores tanto estatal como particular ha dejado al descubierto problemas en los sistemas eléctricos. La ocurrencia de averías en ocasiones hace imposible lograr que el servicio llegue de forma satisfactoria a los usuarios. En esta investigación se analiza detalladamente la situación actual del sistema eléctrico aislado del Cayo Santa María, principal polo turístico de la provincia de Villa Clara, motivado por un conjunto de fallas que se han presentado en los últimos meses en las instalaciones eléctricas de este, que han provocado la caída del sistema eléctrico del cayo. Se realiza un sondeo de las perspectivas futuras en materia de crecimiento turístico planificado para el Cayo Santa María del 2012 al 2017.

Debido al incremento de las interrupciones del sistema y de la potencia que consumirá este polo turístico como consecuencia de su desarrollo en un período corto de tiempo se necesita de un notable aumento de la capacidad de generación para poder abastecer las 13 102 habitaciones que se encontrarán en explotación para finales del 2017. Es decir que la potencia instalada hoy es de unos 14.2 MW y para el 2017 se pronostica que la misma casi se duplique llegando a 26.5 MW. Para dar solución a esta inminente afectación al sistema eléctrico aislado de la hotelería norte de la provincia de Villa Clara, en el presente trabajo se realiza un estudio de posibles variantes para aumentar su capacidad de generación, como elevar la generación propia del cayo o la posibilidad de interconectar el cayo mediante la tecnología de cables submarinos o soterrados para la transmisión de energía, haciendo mayor énfasis en tecnología de cables submarinos.

Se realizan numerosas simulaciones con la ayuda del software PSX v3.2 a diferentes niveles de voltaje para conocer sobre el comportamiento de los principales parámetros de operación frente a diversos escenarios y la influencia sobre el resto de los nodos del sistema para así obtener un criterio válido sobre la variante más factible a utilizar desde el punto de vista eléctrico.

TABLA DE CONTENIDOS

<i>PENSAMIENTO</i>	I
<i>DEDICATORIA</i>	II
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	III
<i>TAREA TÉCNICA</i>	IV
<i>RESUMEN</i>	I
<i>INTRODUCCIÓN</i>	1
<i>CAPÍTULO 1: Introducción Técnica.</i>	5
1.1 Introducción.....	5
1.2 Historia de las Líneas Subterráneas.....	5
1.3 Protección de los cables soterrados.....	6
1.4 Agresiones mecánicas.....	6
1.5 Elementos a tener en cuenta para la instalación.....	7
1.6 Métodos de colocación de sistemas soterrados.....	7
1.6.1 Tendido directamente enterrado.....	8
1.6.2 Tendido mecanizado en mortero pobre.....	9
1.6.2.1 Características.....	9
1.6.3 Colocación en trébol unido.....	9
1.6.3.1 Características.....	10
1.6.4 Tendidos dentro de tubos.....	10
1.6.5 Tubos en trébol no unido.....	10
1.6.5.1 Características.....	10
1.7 Historia de las Líneas Submarinas.....	11
1.8 Cables submarinos.....	12
1.8.1 Algunos cables con tecnología submarina.....	13
1.9 Conductores utilizados para líneas subterráneas y submarinas.....	14
1.9.1 Algunos conductores.....	15
1.9.2 Composición.....	16
1.9.3 Conductores más usados.....	18
1.9.3.1 XLPE (Polietileno reticulado).....	18
1.9.3.2 Oil filled (Aislado con papel impregnado de aceite).....	19
1.10 Instalación y transporte de los cables submarinos.....	20
1.11 Tecnologías usadas para la transmisión de potencia mediante cables submarinos.....	22
1.11.1 Comparación entre la tecnología de Alta Tensión de Corriente Alterna (HVAC) y Alta Tensión de Corriente Continua (HVDC).....	22
1.11.1.1 Alta Tensión de Corriente Alterna (HVAC).....	22
1.11.1.2 Alta Tensión de Corriente Continua (HVDC).....	23
1.12 Algunos fabricantes de cables submarinos.....	23

TABLA DE CONTENIDOS

1.12.1 Nexans.	23
1.12.2 SUMITOMO Electric U.S.A. Inc. (SEUSA).....	24
1.12.3 Cabel Interamericana de Cables Venezuela, S.A.	25
1.12.4 ABB	25
<i>CAPÍTULO 2: Descripción de la situación actual y futura en el grupo aislado de generación del Cayo Santa María.</i>	26
2.1 Introducción	26
2.2 Sistema de generación actual del Cayo.....	27
2.3 Fallas ocurridas en los últimos meses.....	28
2.4 Programa de desarrollo eléctrico en el cayo Santa María.....	28
2.5 Solución al problema.	30
2.5.1 Aumento de la generación propia del Cayo Santa María.	30
2.5.1.1 Inversiones futuras.	32
2.5.2 Interconexión del sistema aislado al SEN.....	33
2.5.2.1 Soterrado en el extremo izquierdo del pedraplén, con soluciones para el paso de los puentes.	33
2.5.2.2 Cable submarino.	34
2.6 Ventajas y desventajas de interconexión del sistema aislado al SEN.....	34
2.6.1 Ventajas.	34
2.6.2 Desventajas.	34
2.7 Otras variantes.	34
2.7.1 Utilización de energías renovables.	34
2.7.2 Instalación de grupos electrógenos de emergencia en los servicios vitales.....	35
<i>CAPÍTULO 3: Simulación y análisis de variantes de conexión al SEN.</i>	36
3.1 <i>Introducción.</i>	36
3.2 Variantes en cuestión.	36
3.3 Conexión a 34,5 kV desde Caibarién hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.....	38
3.3.1 Simple Circuito.....	39
3.3.2 Doble Circuito.....	40
3.3.3 Comparación de los resultados Obtenidos en la Conexión a 34,5 kV desde Caibarién hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.	42
3.4 Conexión a 34,5 kV desde Yaguajay hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.....	44
3.4.1 Simple Circuito.....	45
3.4.2 Doble Circuito.....	46
3.4.3 Comparación de los resultados Obtenidos en la Conexión a 34,5 kV desde Yaguajay hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.	48
3.5 Conexión a 110 kV desde Caibarién hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.....	50
3.5.1 Simple Circuito.....	51
3.5.2 Doble Circuito.....	52

TABLA DE CONTENIDOS

3.5.3 Comparación de los resultados obtenidos.....	53
3.6 Conexión a 110 kV desde Yaguajay hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino.....	54
3.6.1 Simple Circuito	55
3.6.2 Doble Circuito.....	56
3.6.3 Comparación de los resultados Obtenidos.....	56
3.7 Análisis de los resultados obtenidos en el capítulo.....	57
<i>CONCLUSIONES</i>	61
<i>RECOMENDACIONES</i>	62
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	63
<i>ANEXOS</i>	67
Anexo I.	67
Anexo II.	67
Anexo III.....	68
Anexo IV.....	72
Anexo V.....	76
Anexo VI.....	81
Anexo VII.	85
Anexo VIII.....	89
Anexo IX.....	92
Anexo X.....	95
Anexo XI.....	99
Anexo XII.	99
Anexo XIII.....	101
Anexo XIV.....	102
Anexo XV.....	103

INTRODUCCIÓN

Desde que Alejandro Volta inventase en 1799 la pila eléctrica, la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica ha evolucionado sustancialmente. Aunque el primer generador de corriente alterna fue construido en 1832 por Hipólito Pixii, la utilidad de la energía eléctrica no se hizo evidente hasta el invento de la bombilla de cristal al vacío, en 1879 por Thomas Edison. En aquellos momentos los principales avances se habían realizado en acumuladores y generadores eléctricos en corriente continua, por lo que se planteó la distribución de energía eléctrica con esta tecnología. Así, se realizó en 1882 el tendido de la primera línea de transmisión, entre Miesbach y Munich, Alemania, una línea de 2 kV y unos 50 km de longitud (Ignasi & Gutiérrez, 2005).

Este suceso marcó un hito en la historia de la humanidad, hoy día se dispone de grandes sistemas eléctricos capaces de satisfacer las necesidades del planeta y estos se encuentran en un ascendente estado de modernización y desarrollo. Actualmente todo está vinculado de una forma u otra a la energía eléctrica. La sociedad moderna sería incapaz de sobrevivir si le faltara el servicio eléctrico, por ello se debe asegurar que existan varias fuentes de suministro en las redes, así como su interrelación para aumentar la fiabilidad de las mismas.

Con el enorme crecimiento de la demanda de energía eléctrica a nivel mundial y con la aparición de nuevas tecnologías, ha existido un desarrollo consecuente de la rama, en la generación y en las redes de transmisión, subtransmisión y distribución de energía eléctrica.

Desde hace algún tiempo Cuba viene afrontando problemas con el suministro de energía eléctrica debido al envejecimiento, deterioro de las redes y de lo complicado que a veces puede ser llevar los conductores de distribución a algunos lugares específicos.

Un ejemplo de ello es la situación existente en el Cayo Santa María de la provincia de Villa Clara, donde se cuenta en estos momentos con dos unidades MAN de 3.9 MW (una fuera de servicio), una batería de 4 unidades Hyundai de 1.7 MW y 8 unidades MTU de 1.9 MW para generar toda la potencia consumida

que hoy es de 14.2 MW, pero debido al crecimiento de este polo turístico es necesario aumentar la capacidad de generación. Para solucionar este problema se pueden considerar variantes que contribuyan a esta causa como pudiera ser la incorporación de nuevos generadores de mayor potencia hasta llegar a la capacidad de generación pronosticada para finales de año 2017 que es de 26.5 MW. Otra vía para lograr este aumento de generación y a la misma vez lograr una doble alimentación, es la interconexión con el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Para la interconexión con el Sistema Eléctrico Nacional se necesita utilizar tecnología de punta ya sea por medio de cables soterrados o submarinos. En este trabajo se analizará cómo responderá el Cayo Santa María en un posible caso de interconexión al Sistema Eléctrico Nacional mediante la tecnología de cables submarinos o soterrados.

Se realizarán corridas en el software PSXv3.2 para conocer acerca del funcionamiento del sistema eléctrico del cayo una vez conectado al SEN, así se podrán conocer diferentes parámetros que determinarán la factibilidad técnica de las variantes analizadas.

Preguntas de la Investigación.

- ✓ ¿Cuáles son las características de las instalaciones eléctricas de Cayo Santa María?
- ✓ ¿Cuáles son las averías más frecuentes en las instalaciones eléctricas de Cayo Santa María que han provocado la caída del sistema eléctrico del Cayo?
- ✓ ¿De qué modo evitar estas afectaciones en las instalaciones?
- ✓ ¿Cómo resolverlo? y ¿En qué medida es factible hacerlo?

Problema Científico.

¿Cómo solucionar los problemas de suministro eléctrico que se presentan en Cayo Santa María en la actualidad?

Objeto de Estudio.

El suministro de energía eléctrica al Cayo Santa María.

Campo de acción

La conexión del sistema eléctrico aislado del Cayo Santa María al Sistema Eléctrico Nacional.

Objetivo General.

Realizar un estudio de factibilidad técnica de la instalación de un cable submarino o soterrado de potencia, el cual pueda proveer energía eléctrica de manera confiable y segura al Sistema Hotelero de la Cayería Norte de Villa Clara evitando las constantes fallas que se han presentado en los últimos meses.

Objetivos Específicos.

- ✓ Realizar un estudio bibliográfico acerca del desarrollo actual de la tecnología de cables submarinos y soterrados.
- ✓ Evaluar el sistema de generación en el Cayo Santa María y así conocer sus características principales.
- ✓ Estudiar los proyectos de crecimiento y desarrollo del polo turístico Cayo Santa María.
- ✓ Estudiar los posibles sitios de instalación de los puntos de salida y llegada del cable.
- ✓ Estudiar los componentes que conforman la estructura del cable: elementos aislantes, cubiertas protectoras desde el punto de vista mecánico, mallas metálicas, pantallas y otros componentes, características dieléctricas de los aislantes y otros procesos a los cuales debe ser sometido el cable por parte del fabricante, lo cual garantice que sea posible proveer energía de forma segura y confiable al Cayo Santa María.

Organización del Informe.

- ✓ En el **Capítulo 1** se hace una revisión bibliográfica en la cual se brindan conocimientos relacionados con la historia y el desarrollo actual de las tecnologías de cables soterrados y submarinos a nivel mundial.

- ✓ En el **Capítulo 2** se hace un análisis detallado de la situación actual y futura del sistema aislado del polo turístico Cayo Santa María, haciendo mayor énfasis en el aumento de la capacidad de generación.

- ✓ El **Capítulo 3** se centra en la simulación y análisis de diferentes variantes para conectar el sistema aislado del Cayo Santa María con el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) mediante la tecnología de cables submarinos y soterrados.

CAPÍTULO 1: Introducción Técnica.

1.1 Introducción.

Las averías en los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) son inevitables (Beeman, 1969). Estas pueden ser provocadas por cualquiera de los elementos que componen un sistema eléctrico, dígase generación, transmisión, subtransmisión o distribución. La humanidad se preocupa por los avances en la rama para que en cada momento de la vida sean más confiables los sistemas eléctricos. Debido al constante incremento en la demanda de energía y al actual nivel de carga de las líneas de transmisión, cada vez es más necesaria la expansión del sistema de transmisión. Parte de dicha expansión consiste en la instalación de nuevas líneas de transmisión, las que usualmente son aéreas, provocando un gran impacto en su entorno. Con el propósito de llevar energía eléctrica a los más distantes y recónditos lugares como alternativas a las líneas aéreas, apoyando a la expansión de los sistemas eléctricos y a la disminución de su impacto en el entorno del planeta, se han desarrollado diversas tecnologías de distribución, entre ellas se destacan las redes de distribución soterradas y submarinas por su gran aceptación y sus diversas aplicaciones, desde enlazar un continente con otro mediante un cable de distribución submarina, como mejorar la estética de una ciudad realizando la distribución de energía con tecnología de cables soterrados.

1.2 Historia de las Líneas Subterráneas.

En el campo de las líneas subterráneas, desde la concepción de los sistemas de corriente alterna en 1886, son varios los acontecimientos que han dado lugar a la obtención de los sistemas de transmisión con líneas subterráneas. Uno de los primeros fue la invención de un cable eficiente realizada por Borel en 1879, luego MacCracken en 1884 llevó el concepto de helicoidal a las tiras de papel, lo que finalmente da origen a la aislación de papel y posteriormente en 1890 Vincent de Ferranti confeccionó su famoso cable concéntrico de 10kV, el cual fue instalado en Londres.

Desde esos tiempos se ha tenido un continuo progreso en el desarrollo de líneas de transmisión subterráneas. El primer cable de 25kV, con tres conductores fue instalado en 1902, en Montreal, y operó durante 50 años. Luego en 1917, Emanuelli confeccionó el diseño para un *hollow – coreoil – filled cable*, el cual permitía una eventual transmisión en alta y extra alta tensión.

Los niveles de tensión a los que pueden operar los cables de poder se han incrementado gradualmente, de 66kV en 1926, en Montreal y Filadelfia, 220kV en 1936, en Paris, para conseguir en los tiempos actuales niveles de tensión de 525 kV en Canadá y Estados Unidos. La tecnología actual permite sistemas de transmisión subterráneos con cables de poder en alta tensión e incluso se podría tener cables en tensiones de hasta 1.100kV, los que pueden ser usados como enlace en algunos sistemas (Becerra, 2012).

1.3 Protección de los cables soterrados.

La experiencia en operación de sistemas eléctricos soterrados ha demostrado que la fiabilidad de estos depende en gran parte de las condiciones de manipulación, transporte de las bobinas y de la instalación de los cables. La protección de los cables está ligada directamente al tipo de tendido elegido, para garantizar la perennidad de la instalación realizada. Como norma general, los cables deberán instalarse de manera que se evite toda agresión mecánica, tanto durante el tendido del cable como durante la operación en la red.

1.4 Agresiones mecánicas.

Estas pueden producirse durante el transporte, la manipulación, el tendido de los cables o el montaje de los accesorios, por ejemplo.

Corrosión

La corrosión puede ser de origen químico, electroquímico o incluso debido a bacterias sulfatoreductoras. En las zonas alimentadas con corriente continua (tracción eléctrica, tranvías, instalaciones industriales fijas o móviles: plantas de refinado electrolítico, puestos de soldaduras...), la presencia de corrientes vagabundas crea fenómenos de corrosión muy violentos y rápidos.

Entorno y esfuerzos

Ciertas instalaciones, tales como cables, tuberías o canalizaciones, necesitarán protecciones particulares en caso de proximidad con el enlace de alta tensión previsto. Los diferentes tipos de terreno (litoral, capa freática, regiones mineras, por ejemplo) y la presencia de raíces de árboles pueden ser origen de esfuerzos suplementarios.

1.5 Elementos a tener en cuenta para la instalación.

Para el tendido de estos sistemas eléctricos hay que tener en cuenta varios factores que influirán decisivamente en el buen comportamiento de las redes como:

- Anchura del terreno disponible.
- Naturaleza del subsuelo.
- Puntos singulares (alcantarillas, puentes,).
- Proximidades térmicas (otros cables, canalizaciones de calefacción urbana).

Además, para la ubicación de las cámaras de empalme debe tomarse en consideración:

- Las longitudes máximas de fabricación de cable.
- Las longitudes máximas de tendido de cable.

- La técnica de la puesta a tierra seleccionada (permutación ternaria de las pantallas de cable).

Debe evitarse la cercanía de cables de telecomunicaciones y de tuberías de hidrocarburos debido a los problemas provocados por el electromagnetismo. Las distancias a respetar serán conformes a las normas vigentes.

1.6 Métodos de colocación de sistemas soterrados.

Para las diferentes características que puede tener el lugar de emplazamiento del sistema soterrado y las exigencias de los diferentes clientes existen distintos métodos. Donde se puede destacar:

1.6.1 Tendido directamente enterrado.

Esta técnica de tendido es muy utilizada en numerosos países. Posee la ventaja de una rápida realización y un costo relativamente interesante. El relleno - en lugar de arena fina - hecho con mortero pobre o relleno controlado térmicamente, permite mejorar sensiblemente la capacidad de transporte del enlace.

Características.

Profundidad de la zanja: Estas profundidades son necesarias para garantizar la protección de los cables contra los riesgos de agresión mecánica (máquinas, picos, obras, etc), y para garantizar la seguridad de los bienes y de las personas en caso de fallo eléctrico.

- en terreno público: 1,30 m/1,50 m
- en terreno de subestaciones: 1,00 m

Anchura de zanja:

La anchura depende del tipo de tendido elegido, así como de las recomendaciones dadas por el fabricante de separación entre las fases, según las intensidades a transitar. La anchura impuesta por las fases se debe incrementar para tener en cuenta también:

- la arena o mortero de revestimiento
- los trabajos en caso de tendido en el fondo de la zanja
- el entubado: por razones de seguridad y comodidad, el entubado es obligatorio para las profundidades superiores a 1,30 m.

Distancia entre ejes de dos enlaces:

Esta distancia dependerá de las hipótesis térmicas por las que se haya optado para el cálculo de la capacidad de transporte de cada uno de los enlaces. En la práctica, una distancia mínima de 70 cm es lo que se recomienda.

Cable de tierra

Un cable de tierra aislado eventual (para la técnica de enterrado con “conexiones especiales de pantallas” y/o la instalación de un drenaje específico

contra la corrosión por corrientes vagabundas) se dispondrá cerca de los cables.

1.6.2 Tendido mecanizado en mortero pobre.

Este modo de colocación, todavía poco corriente, no se aplica más que en AT < 150kV y MT más corrientemente, fuera de zonas urbanas o suburbanas con red densa (agua, gas, electricidad, telecomunicaciones, calefacción urbana, etc).

1.6.2.1 Características.

Ancho de zanja:

El ancho mínimo de zanja es de 0,25 m aproximadamente. Este ancho, fijado por los cables, debe incrementarse tal y como se indica en el apartado anterior.

Dispositivo de advertencia

Se colocará un dispositivo de advertencia a 10 cm aproximadamente por encima de la superficie superior del mortero de cada enlace (rejilla, losas, o, por ejemplo, placa de acero,...).

Relleno controlado:

La experiencia ha demostrado que la durabilidad de las características térmicas del relleno controlado en terreno público no puede garantizarse (obras de terceros en las cercanías, descompresión del suelo e incluso aumento de la resistividad del suelo). Este relleno controlado debe evitarse también, en la medida de lo posible, en las subestaciones. No obstante, en los casos excepcionales de instalación en terrenos inadecuados para la compactación, o claramente malos (roca, escombros, materiales plásticos, arcillas, calizas, piedra pómez, basalto, tierra vegetal), es necesario prever la utilización de rellenos controlados.

1.6.3 Colocación en trébol unido.

Este modo de colocación se adopta generalmente en las zonas urbanas, ya que constituye una protección mecánica de los cables.

1.6.3.1 Características.

Profundidad de la zanja:

Los efectos dinámicos de un cortocircuito imponen precauciones particulares a poca profundidad. En zonas públicas, la profundidad es de 1,4 m al fondo de zanja y 0,80 m en el interior de una subestación. El compactado del relleno es imprescindible para una mejor reconstitución del terreno; se efectúa por capas sucesivas de 20 cm apisonadas cuidadosamente.

Anchura de zanja:

- para los trabajos

La anchura de la zanja, que deberá ser mínima, deberá tener en consideración el paso de los hombres para los trabajos, un posible entibado, y en caso de 2 enlaces, una distancia mínima de 0,70 m, entre los ejes de las 2 canaletas. Para el posible entibado, se necesitan 4 cm suplementarios a cada lado de la zanja.

- Distancia entre ejes de dos enlaces

Esta distancia dependerá de las hipótesis térmicas elegidas para el cálculo de las capacidades de transporte de cada uno de los enlaces. En la práctica, se recomienda una distancia mínima de 0,70 m.

1.6.4 Tendidos dentro de tubos.

El tendido dentro de tubos presenta una ventaja esencial con relación a las colocaciones tradicionales enterradas: el de realizar las obras de ingeniería civil anteriormente a la colocación de los cables, limitando los inconvenientes de la abertura prolongada de la zanja en zona urbana.

1.6.5 Tubos en trébol no unido.

1.6.5.1 Características.

Profundidad de zanja:

Las profundidades del fondo de zanja recomendadas son las siguientes:

- en terreno público: 1,50 m
- en las subestaciones: 0,90 m

Se recomienda un espesor mínimo de 10 cm de hormigón alrededor de los tubos y es obligatorio el compactado del relleno para una mejor reconstitución del terreno.

Anchura de zanja:

Depende esencialmente del diámetro exterior del tubo adaptado al cable y también a los anchos necesarios:

- para la colocación de los tubos: deben preverse para la colada del hormigón 4 cm entre dos tubos
- para el entibado: para permitir la colocación del entibado, es necesario un ancho de 4 cm a cada lado de la zanja. Además, se necesitan 10 cm entre el entibado y los tubos para fraguar el hormigón.
- para la distancia entre ejes de dos enlaces: Esta distancia dependerá de las hipótesis térmicas elegidas para el cálculo de la capacidad de transporte de cada uno de los enlaces o más. En la práctica, una distancia mínima de 70 cm es lo que se recomienda (NEXANS, 2011).

1.7 Historia de las Líneas Submarinas

Cuando se habla de tecnología de cables submarinos, no se puede dejar de mencionar a los pioneros de las telecomunicaciones, que fueron los primeros en utilizar e impulsar esta tecnología a partir de la década de los cuarenta en el siglo XIX, con la aparición de telégrafo.

Dentro de los primeros cables submarinos podemos destacar:

- ✓ 1842 Samuel Morse sumerge el primer cable de telégrafo en el pueblo de Nueva York.
- ✓ En 1850 el inglés Brett sumerge un cable entre Dover y Calais.
- ✓ En 1866 se colocó el primer cable transatlántico Europa-América del Norte de 4260 km (Larragueta, 2009).

En la actualidad más del 95% de todas las transmisiones de datos por telefonía, fax, Internet y correo electrónico se realizan a través de los cables, así como también la programación de televisión a través de los océanos. Personas, compañías y gobiernos dependen de las comunicaciones rápidas y de la información en forma instantánea suministrada por los cables submarinos.

Las conexiones de telecomunicaciones no son las únicas que atraviesan los mares y océanos, bajo el agua discurren, aunque en menor medida, cables que transportan electricidad.

Hoy día cientos de km de cables submarinos conectan distintos sistemas eléctricos. Los cables con el fin de transportar energía son comúnmente usados entre islas y países vecinos o como conexiones a sitios de energía marina renovable. Los cables de energía submarinos se expandieron en los cincuenta del siglo pasado, conectando comunidades aisladas con el continente (Drew & Hopper, 2009).

El primer enlace eléctrico submarino se realizó en 1953 y conectó la isla sueca de Gotland con el continente europeo, específicamente con Suecia. Este enlace de 100 kV, una potencia de 20 MW y una corriente hasta de 200 A, tenía 98 Kilómetros de longitud. Al cabo de pocos años la necesidad de aumentar la capacidad obligó a construir dos cables más que cubrieran el mismo recorrido, uno en 1983 y el otro en 1887, ambos de 150 kV (Larragueta, 2009).

1.8 Cables submarinos.

Los sistemas de cable submarino pueden estar constituidos por cables monopolares o tripolares, dependiendo del criterio de diseño, el cual tiene que ver con aspectos económicos además de los técnicos. Estos cables pueden ser usados para una gran gama de voltajes, desde sistemas a 120 voltios en corriente alterna, hasta sistemas denominados de Extra Alto Voltaje, EHV por sus siglas en inglés, que pueden ser hasta niveles de 500 Kilovoltios o superiores. Estos cables son mayormente evaluados por su capacidad de aislamiento, actualmente la tecnología ha enfocado sus esfuerzos para el descubrimiento de nuevos materiales aislantes haciéndolos cada vez más confiables.

Debido a la aceptación en general de estos conductores hoy es muy común el término de cables submarinos para la distribución de potencia eléctrica. Ejemplo de ello son:

1.8.1 Algunos cables con tecnología submarina.

Actualmente se conoce de grandes construcciones de este tipo donde se destacan algunos ejemplos que constituyen record en esta tecnología subacuática.

- ✓ En mayo del 2008 comenzó la explotación de uno de los cables (HDVC) más largos hasta ese momento. Recibe el nombre de NorNed y enlaza Holanda con Noruega, tiene una longitud de 580 km y una potencia de 700 MW, lo que supone la mitad del consumo eléctrico de la ciudad de Ámsterdam.
- ✓ 2010 Se trata de una conexión submarina de alta tensión de 250 kV, realizada mediante un enlace bipolar de 400 MW con cable de retorno. Es decir, es una interconexión compuesta por dos cables de potencia más un tercer cable de retorno para aumentarla disponibilidad del suministro eléctrico. El enlace submarino tiene una longitud aproximada de 237 kilómetros, que unirá la subestación de Morvedre en Sagunto y la de Santa Ponsa en España, con una profundidad máxima que es una de las mayores para un cable de este tipo de 1.485 metros.
- ✓ 1997 Primera interconexión eléctrica entre dos continentes a través de España y Marruecos 31 km de cable bajo el estrecho de Gibraltar.
- ✓ El mayor enlace HVDC en el mundo es actualmente el Xiangjiaba-Shanghai de 2.071 kilómetros de longitud, que transporta una potencia de 6.400 MW y conecta la presa de Xiangjiaba con la ciudad de Shanghai, en China.
- ✓ España (Tarifa)- (Fardioua) Marruecos: 2 conexiones de 400 kV (HVAC). El 1º circuito (Proyecto REMO I (Refuerzo Eléctrico Mediterráneo Occidental)) se comenzó a instalar en 1997 y comenzó a operar en 1998 y su capacidad de intercambio de 700 MW. El segundo circuito (Proyecto REMO II), tuvo un presupuesto de 115 millones de euros y comenzó a operar en junio de 2006.
- ✓ Ibiza - Formentera: 1 cable a 10 kV (HVAC) y otro a 20 kV (HVAC). El primero se instaló en 1972 y tiene una capacidad de 9 MW, mientras que el segundo se instaló en 1980 y tiene una potencia de 18 MW.
- ✓ Lanzarote - Fuerteventura: 1 cable a 33 kV (HVAC) y otro a 66 kV (HVAC). El 1º data de 1977 y se acerca al fin de su vida útil, mientras que el 2º data de 2005. El cable que entró en servicio en 2005 tiene una longitud de 14,5 km, costó 12,3 millones de euros y supone triplicar la capacidad del cable preexistente. Está planificada su repotenciación a 132 kV (Prieto, 2011).

1.8.2 Algunos proyectos para el futuro.

- España (Lemóniz) - (Burdeos) Francia: Sería a corriente continua y tendría una potencia de 2200 MW elevando la capacidad de intercambios entre la península ibérica y el resto de Europa hasta los 5000 MW.
- Algeciras - (Eddalya) Marruecos: Tercer enlace de la península-Marruecos a 400 kV (HVAC) y con 700 MW de capacidad. Tendría continuidad mediante tendido aéreo hacia el nodo eléctrico marroquí de Taghramt.
- Segunda Interconexión Península - Baleares: Conectaría Castellón con Alcudia y tendría el doble de capacidad que su predecesora
- Gran Canaria- Fuerteventura: 2 circuitos a 132 kV (HVAC).
- Fuerteventura - (Tarfaya) Marruecos: 2 circuitos a 132 kV (HVAC).

1.9 Conductores utilizados para líneas subterráneas y submarinas.

Los cables usados para las redes de distribución de energía eléctrica en los sistemas de potencia son comúnmente denominados como Cables de Poder. Estos, de acuerdo a su composición y características de diseño tienen diferentes aplicaciones.

- Uno de los Cables de Poder que en la actualidad tienen un gran uso son los **Cables de Masa Impregnada**. La principal diferencia que tienen los cables con masa impregnada de las otras tecnologías de cables es su material aislante. En este tipo de cables el material aislante que se usa es papel, en el cual se puede usar como agente impregnante, aceite mineral o aceite sintético, el que a temperatura de operación tendría una textura viscosa, la que se volvería cada vez más líquida a medida que aumenta la temperatura en el cable. El uso de este tipo de cables es motivado por el hecho de que al subir la carga de los cables, e incrementarse la temperatura de estos, también se produce un aumento en el volumen del aislante. Un problema de esto, es que al aumentar el volumen del aislante, se producen esfuerzos en la coraza que podrían producirle daños, lo que finalmente se manifestaría en la aparición de cavidades en el aislante. Actualmente los cables con masa impregnada, principalmente son usados en líneas de transmisión en alta tensión y en corriente continua (HVDC), con el que se puede alcanzar tensiones de 500 kV y la longitud de las líneas con este tipo de cables

virtualmente no tendría límites. Estos son muy usados como conductores submarinos.

- **Cables con Aislación Polimérica.** Los primeros cables en alta tensión con aislación extruida, se desarrollaron en Estados Unidos el año 1944. El material que se usó como aislante fue polietileno termoplástico de baja densidad (LDPE); de forma posterior se desarrolló el polietileno reticulado (XLPE) el cual es básicamente el resultado de procesar el polietileno. Con el paso del tiempo y el perfeccionamiento de su tecnología, el uso de polietileno reticulado como aislante en los cables de poder lo ha llevado a ser usado en cables con niveles de tensión de hasta 500 kV. Otro polímero que se usa como aislante en los cables de potencia, es el polietileno propileno, pero principalmente es usado en sistemas de baja tensión, independientemente de que se fabriquen cables con la capacidad de operar a 145 kV.

- **Cable con Aceite.** Los cables de poder que contienen aceite a presión, pueden operar a niveles de tensión de hasta 500 kV, cuando se tiene un aislante adecuado. Estos cables contienen una funda metálica y operan a presión interna relativamente baja entre 5,3 – 8 bar. Se pueden usar como aislante papel o papel de polipropileno, ambos tipos de aislantes son impregnados con aceite. El cable con aislación de papel revestido de polipropileno combina bajas pérdidas en el dieléctrico, un alto nivel de ruptura dieléctrica y una baja reactancia capacitiva en relación al papel, lo que permite que sea usado en alta tensión a tensiones de 500 kV. Estos niveles de pérdidas de los cables con papel revestido de polipropileno, empeoran cuando la instalación de estos cables se hace en aire en los túneles (Becerra, 2012).

1.9.1 Algunos conductores.

Debido al desarrollo de estos conductores la distribución de energía eléctrica ha experimentado logros que en un principio eran solo un sueño. Ejemplo de los Cables de Poder con alguna de sus principales características son:

Cable de papel impregnado (MI Mass Impregated). Está formado por un conductor central de cobre laminado cubierto por capas de papel impregnado en aceite y resinas.

Cable de aceite (OF Oil Filled). Este tipo de cable es similar al MI, pero utiliza un papel impregnado de menor densidad y un conducto longitudinal en el eje del conductor para el aceite refrigerante. Este conductor alcanza también grandes profundidades, pero su longitud está limitada a unos 100 km debido a la necesidad de hacer circular el líquido refrigerante a lo largo del cable (estación de bombeo). Además, el riesgo de fuga hace que sea cuestionado medioambientalmente.

Cable XLPE (Cross-Linked Polyethylene). Este cable utiliza como aislante un polímero extruido, resultado un cable con aislamiento seco. Este material permite una temperatura de trabajo de 90°C y una de cortocircuito de hasta 250°C.

Actualmente se utiliza en conexiones de HVDC con generación o consumo en alta mar, como aerogeneradores o estaciones petrolíferas, entre otras aplicaciones además de las habituales de transporte de distribución en corriente alterna AC.

Cable PPLP (Polypropylene Laminated Paper). Utiliza un aislante formado por capas de papel y polipropileno laminado con objeto de reducir las pérdidas dieléctricas. Se utiliza en HVDC debido a su comportamiento térmico y su aislamiento, superior a los del papel impregnado, que resultan tener una mayor capacidad de transporte. Actualmente se encuentra en fase de pruebas y, como peor cualidad, se encuentra su debilidad ante cambios de polaridad en la tensión.

Extruido para VSC. Esta tecnología aparece con el objetivo de superar las limitaciones de los cables extruidos existentes en HVDC convencional. Estos nuevos cables plásticos combinan gran capacidad para trabajar a altas tensiones en DC 100kV con un bajo peso de 1kg por metro y potencias elevadas mayores a 30 MW (Ignasi & Gutiérrez, 2005).

1.9.2 Composición.

Estos conductores están constituidos por varios elementos como aislantes, conductor, cubiertas protectoras desde el punto de vista mecánico, mallas metálicas, pantallas y otros componentes. Sin duda de todos estos

componentes uno de los más importantes son los materiales usados como aislante.

Las características con las que debe contar un **materiasl aislante** son: una alta resistencia dieléctrica, lo que corresponde al nivel máximo de tensión que puede soportar un material, sin que exista circulación de electrones a través de dicho material; alto nivel de aislación, pudiendo aislar a niveles de tensión nominal elevadas, frecuencia industrial y condiciones particulares que se pueden presentar durante la operación; una larga vida útil; una baja resistividad térmica, permitiendo una alta conducción de calor a través de la aislación; una permitividad relativa suficientemente baja, siendo esta la capacidad de polarizarse de algún material aislante en particular; ser inmune a las reacciones químicas en un rango aceptable de temperatura, de ese modo no se ve dañada la estructura molecular del material que se usa como aislante; manipulable desde el punto de vista de fabricación e instalación, y que su costo sea el más bajo posible acorde a los requerimientos.

Otro de los componentes que caracterizan el comportamiento de estos conductores es el **materiasl conductor**.

Los materiales que se utilizan usualmente en conductores de cables de poder son principalmente cobre y aluminio, pero también se considera en la construcción de estos cables el uso de sodio y berilio. A continuación se hace una descripción de las características principales del cobre (**Cu**) y del aluminio (**Al**).

El cobre es el segundo material con mejor conductividad eléctrica, después de la plata, a temperatura ambiente. Es un metal de color rojizo, dúctil y maleable, es un muy buen conductor de calor y electricidad. Por su conductividad eléctrica el cobre es el metal ideal para instalaciones eléctricas, además los conductores de cobre son resistentes a la corrosión, presentan una gran resistencia mecánica y alta flexibilidad. Algunas de las variedades de cobre que se usan en aplicaciones eléctricas corresponden a cobre electrolítico, cobre recocido, cobre semiduro, cobre duro y aleación de cobre, siendo cobre de alta pureza (99,9%) el usado en conductores de cables de poder.

El aluminio es un material blanco plateado que presenta una pequeña resistividad mecánica y alta ductibilidad y maleabilidad. Su conductividad es un 61,7% de la conductividad del cobre de similar tamaño, pero su peso es aproximadamente la mitad (la densidad del aluminio es aproximadamente un 30% la densidad del cobre). Por estas cualidades en la actualidad se usa conductores de aluminio y aleación de aluminio en líneas aéreas de transmisión eléctrica de alto voltaje. Además el costo del aluminio es inferior al del cobre, lo que hace más atractivo el uso de aluminio en vez de cobre en algunas aplicaciones eléctricas. Una de las desventajas que presenta el aluminio ante el cobre es su menor resistencia a la corrosión. En los cables de potencia las coberturas metálicas se ven afectadas por la corrosión, la que logra acceder al conductor; para evitar que el conductor se corroa, la cobertura metálica se cubre con una cubierta de polietileno o una capa anticorrosión similar (Becerra, 2012).

1.9.3 Conductores más usados

Dentro de los conductores más usados debido a sus características y su probada calidad de construcción se encuentran los siguientes:

1.9.3.1 XLPE (Polietileno reticulado).

Este tipo de cable consiste en conductores de cobre o de aluminio trenzado con un sistema de aislamiento que es protegido por una cubierta metálica y una envoltura externa (Figura 1). Este sistema de aislamiento es el XLPE, que es un polímero dispuesto en forma de malla, que se coloca alrededor del conductor. Las razones principales para el uso de este material son las excepcionales características eléctricas y mecánicas que presenta. Para usos submarinos el cable se diseña normalmente con una envoltura del plomo y una armadura externa del alambre o malla de acero.

Entre sus principales características tenemos:

- XLPE es un dieléctrico (aislante de electricidad) sólido. Según los fabricantes, los cables aislados con este elemento no requieren de mantenimiento, no necesitan supervisión o control del nivel de aceite en los sistemas del cable, como lo requiere el otro tipo de cable.

- Los cables aislados con XLPE pueden ser suministrados según las especificaciones del cliente sin envoltura del plomo. Su construcción es por tanto más ligera, lo que permite su despacho en mayores longitudes de forma continua y de fácil manejo al momento del transporte y colocación. El radio de flexión es pequeño. El dieléctrico sólido y el blindaje pesado de guaya de acero son superiores a los cables aislados con papel y forrados con plomo, y son mucho menos sensibles a fuertes tensiones a las cuales los cables submarinos se exponen durante el transporte, colocación y operación.
- Los cables aislados con XLPE pueden incluir un cable de fibra óptica el cual se puede utilizar para servicios de telecomunicaciones o supervisar la condición de los cables submarinos tales como daño externo, entre otras aplicaciones.

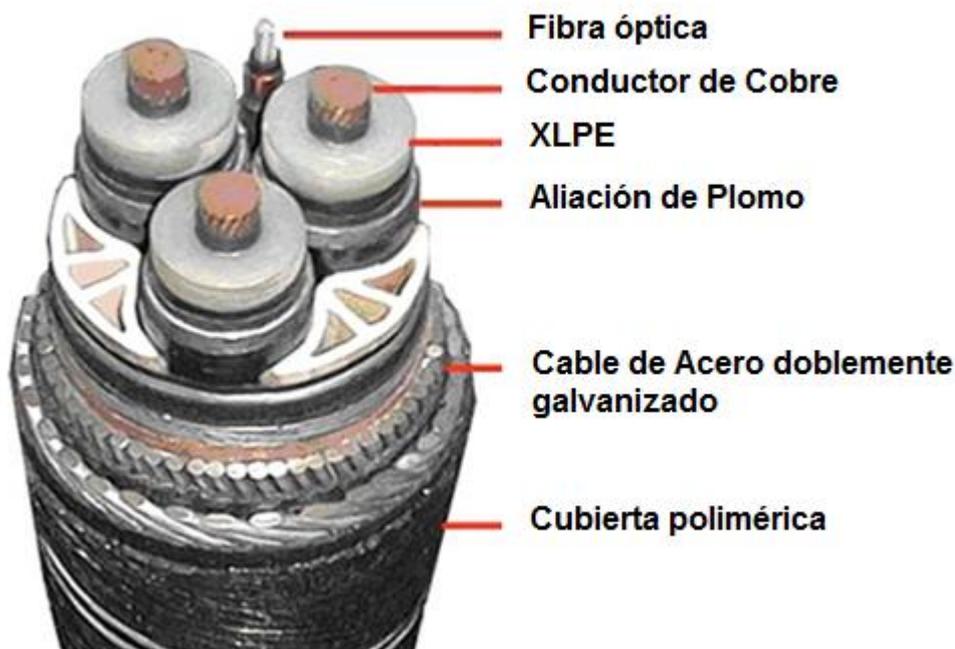


Figura 1: Cable XLPE.

1.9.3.2 Oil filled (Aislado con papel impregnado de aceite).

Está constituido por conductores de cobre o de aluminio trenzado que lleva líquido bajo presión, que impregna las capas de papel circundantes para asegurar un sistema de aislamiento uniforme (Figura 2). Varias envolturas de diferentes materiales previenen la penetración del agua. Cuentan con una chaqueta de plomo para la protección externa en usos submarinos.

Entre sus principales características tenemos:

- Excelentes cualidades eléctricas. Seguridad probada a muy altos voltajes.
- Sistema de aislamiento homogéneo asegurado por el papel impregnado de líquido.
- Diseñado y construido para cumplir con los requisitos particulares de los ambientes más exigentes.
- Los cables pueden incluir un cable de fibra óptica el cual se puede utilizar para servicios de telecomunicaciones y en sistemas de monitoreo de la condición de los cables submarinos, tales como daño externo, entre otras aplicaciones (Ponce, 2003).



Figura 2: Cable OF

1.10 Instalación y transporte de los cables submarinos.

Antes del tendido de los cables, se realiza un estudio documental y una investigación pormenorizada del recorrido que se debe tomar para la colocación de los cables, examinándose las profundidades del agua, los declives, tipos de sedimentos, las corrientes marinas, otras actividades y obstáculos, tratando de lograr un recorrido sin contratiempos y que la distancia que debe cubrir el cable sea la óptima, siempre protegiendo el ambiente marino para que no corran ningún tipo de peligro sus especies. Se deben localizar

todas las tuberías, cables viejos y materiales que descansan en el fondo del mar para que el nuevo cable pueda instalarse en el tramo más despejado y seguro posible. Este tipo de cables son flexibles y al mismo tiempo robustos, lo cual permite utilizar diferentes métodos para la instalación y reparación de los mismos, para lo cual se necesitan barcos especiales.

En casos de que el cable deba pasar cerca de una tubería o cable ya existente, se efectuará la corrección correspondiente para evitar cualquier tipo de dificultad. Los buques cableros especializados tienden los cables submarinos soltándolos desde la popa. Los Sistemas de Posicionamiento y Navegación Global Diferencial (DGPS) mantienen al barco lo más cerca posible de la ruta planeada. La posición de los cables se controla y registra con la mayor precisión posible, para asegurarse de que el sistema mantenga la longitud diseñada, de que el cable sea tendido en terreno conocido, y que el mismo pueda ser recuperado fácilmente en caso de que necesite mantenimiento en el futuro.

En áreas donde se realizan pesquerías de fondo o donde se aprovechan otros usos del fondo marino, los cables están usualmente reforzados y enterrados en el lecho marino. La profundidad en que se entierran depende de la clase de amenazas presentes, de la dureza del sedimento, de la profundidad del agua y de otros factores. En muchas zonas costeras, se prefiere una profundidad de 0.6 a 1.2m (Drew & Hopper, 2009).

En lo que se refiere al transporte, se requiere el uso de un sistema de instalaciones especiales para la distribución de los cables como buques, así como el equipamiento necesario para las transferencias directas de los cables a puerto, a los barcos o a las plataformas especiales, como lo son grúas y montacargas. Para longitudes cortas de cables la provisión se realiza en carretes de tipo convencional, mientras que longitudes más largas, las bobinas se proveen en plataformas especiales o se transportan directamente en el barco que realiza la colocación del sistema de cable.

La instalación de los cables requiere de equipos especializados que permitan resolver los problemas inherentes a las condiciones geográficas, no solo del

sitio de instalación sino relativas al transporte. Se requiere de carretes y tambores especiales desarrollados para el transporte fácil, así como de personal experto en la manipulación, para longitudes excepcionalmente largas de cables y en operaciones del tendido. La instalación del cable se puede realizar de dos formas, colocándolo sobre el lecho marino o enterrándolo debajo del fondo del mar ya sea directamente enterrado o dentro de una cubierta, como un tubo o ductos de concreto. Este sistema de protección adicional representa costos elevados y debe tomarse en cuenta los movimientos telúricos que podrían fracturar la cubierta y dañar el cable (Ponce, 2003).

1.11 Tecnologías usadas para la transmisión de potencia mediante cables submarinos.

La tecnología de cables submarinos dispone de las ventajas de que puede transmitir la potencia mediante Alta Tensión de Corriente Alterna (HVAC) y Alta Tensión de Corriente Continua (HVDC), esta cuenta con distintas características y aplicaciones.

Existen conductores que son factibles para las dos tecnologías y otros que no por ejemplo:

- Cable dieléctrico extruido con aislamiento de polietileno trenzado, XLPE se puede aplicar tanto en (HVDC) como en (HVAC).
- Cable aislado con cinta de papel, impregnado con un fluido dieléctrico altamente viscoso, del tipo de Masa Impregnada, MI.

1.11.1 Comparación entre la tecnología de Alta Tensión de Corriente Alterna (HVAC) y Alta Tensión de Corriente Continua (HVDC).

1.11.1.1 Alta Tensión de Corriente Alterna (HVAC)

La tecnología de Alta Tensión de Corriente Alterna (HVAC) es la más simple tecnología para transmisión de potencia eléctrica por medio de cables submarinos.

No requiere estaciones convertidoras, no requiere mantenimiento y presenta una alta disponibilidad.

La capacitancia del cable hace que corrientes capacitivas fluyan a todo lo largo del cable, en adición a la corriente de la carga, todo lo cual reduce la capacidad de transmitir potencia del cable submarino.

Con una longitud aproximada de 150 km el cable de interconexión podría presentar una capacidad máxima de 350 MW a 230 kV o 950 MW a 400 kV. No obstante, el sistema del cable submarino de 400 kV está compuesto de tres cables, lo cual incrementaría sustancialmente los costos e impacto ambiental.

1.11.1.2 Alta Tensión de Corriente Continua (HVDC).

En la transmisión de potencia eléctrica a corriente continua (HVDC), la corriente capacitiva solo ocurre al instante de conexión o desconexión del circuito, no teniendo efecto sobre la corriente continua, y por tanto en la capacidad de transmisión de potencia del sistema.

Las limitaciones de longitud y de niveles de tensión inherentes a los cables de transmisión de corriente alterna son eliminadas, y esto explica por qué la transmisión de potencia eléctrica ha sido propuesta y utilizada para interconexiones con cables de gran longitud (Núñez 2013).

1.12 Algunos fabricantes de cables submarinos.

Entre la información obtenida se encuentra que cada empresa produce diferentes tipos de cables y accesorios según sean las especificaciones del proyecto que se trate. También poseen todo el equipamiento necesario para los procesos de instalación, prueba, mantenimiento y control de los cables submarinos. A continuación se presenta una breve descripción de empresas que están a la vanguardia en el campo de la transmisión de energía por medio de cables submarinos, y se presentarán los distintos cables y accesorios que estas ofrecen a sus clientes:

1.12.1 Nexans.

La planta de Nexans, ubicada en Hannover, Alemania, se especializa desde hace décadas en el diseño, producción e instalación de los cables de transmisión submarinos a bajo y medio voltaje, los cuales son usados para travesías de ríos o de lagos, para llevar energía eléctrica y servicios de

comunicaciones a islas, plataformas marinas para la extracción de petróleo y gas y otros usos fuera de tierra firme.

La División de alto Voltaje de Nexans ha adquirido una posición principal en el mercado mundial para los cables de transmisión de alto voltaje y ofrece una gama completa de cables para usos submarinos con aislamiento de papel impregnado en aceite o el aislamiento polimérico para los usos de corriente alterna o corriente continua, además de empalmes, copas terminales hasta tensiones de 550 kV.

La culminación de varios proyectos exitosos con cables submarinos en Europa y en ultramar han demostrado la capacidad del personal técnico altamente experto de Nexans al hacer frente a los problemas de diseño del cable submarino, producción, transporte y colocación. La experiencia ganada por Nexans en el desarrollo de los cables de tensión adicionales se aplica más a fondo en la producción de los cables de transmisión submarinos (NEXANS, 2011).

1.12.2 SUMITOMO Electric U.S.A. Inc. (SEUSA).

Provee los cables submarinos eléctricos para corriente alterna (CA) y corriente continua (CC) desde 33kV a 500kV para los Estados Unidos, Canadá, América Central y América del Sur. También provee cables submarinos con varias características tales como aislamiento polimérico y aislamiento con papel impregnado con aceite, compuesto con fibra óptica.

También es proveedor de servicios de ingeniería en el diseño, la instalación, empalme, la terminación, prueba y mantenimiento de los cables submarinos. Sumitomo Electric U.S.A. desarrolló un cable submarino incorporando fibra óptica que fue aplicado por primera vez en un proyecto de cable submarino de CC a 250kV en Japón en 1992. Desde entonces, Sumitomo Electric U.S.A. ha suministrado este cable en varios proyectos en el mundo. La fibra óptica incorporada se puede utilizar para los servicios de telecomunicaciones, supervisar la condición de los cables submarinos tales como daño externo, entre otras aplicaciones (Ponce, 2003).

1.12.3 Cabel Interamericana de Cables Venezuela, S.A.

Sus diseños cuentan con una amplia gama de voltajes principalmente de baja y media tensión desde 0,6 kV hasta 69 kV, son usados en la alimentación de centros de control de motores, transmisión y distribución en refinerías, alimentación de plataformas de explotación, pueden incluir núcleos ópticos o híbridos de control e instrumentación para manejo de señales de seguridad, de video, comunicaciones y monitoreo (CABEL, 2012).

1.12.4 ABB

La compañía es uno de los líderes mundiales en fabricación de cables submarinos con más de un siglo de experiencia tanto en manufactura como en instalación. Dicha empresa ofrece sistemas de cables completos para todo tipo de aplicaciones, desde distribución en media tensión a transmisión en DC o AC en alto voltaje. La mayor parte de los cables submarinos existentes en el mundo son hechos por ABB. Es tal la experiencia y calidad de ABB, que un cable submarino después de 32 años de servicio, fue retirado para ser reemplazado por otro... resultó que el cable retirado no mostraba signos de envejecimiento. ABB cuida mucho sus cables submarinos durante su fabricación (ABB, 2011).

CAPÍTULO 2: Descripción de la situación actual y futura en el grupo aislado de generación del Cayo Santa María.

2.1 Introducción

Sentadas las bondades de la naturaleza, la organización social y las facilidades turísticas existentes que permiten que el visitante disfrute y no se martirice o pase trabajo para hacer turismo, la mayoría de los turistas buscan en la actualidad de una manera u otra, una experiencia que vivir y contar, personas auténticas con quien compartir, lo que es imposible lograr sin una legítima población receptora.

En la segunda parte del siglo pasado, el Caribe fue sustituyendo paulatinamente la tradicional agro-industria azucarera por el turismo, sector que se ha ido convirtiendo en la fuente de ingresos por excelencia de esta región, destacándose hoy entre los destinos turísticos más importantes del mundo.

Lo anterior se encuentra relacionado en gran medida con la población caribeña, portadora de la cultura, la historia, las diversas lenguas, la idiosincrasia, el ritmo y el color del lugar por donde se descubrió el nuevo mundo y cuyos habitantes (Ayala 2004).

En Cuba la historia del turismo se recoge desde que Cristóbal Colón la calificó como "*la tierra más hermosa que ojos humanos vieran*", convirtiéndose no sólo en el primer turista, sino en el primer tour operador, pues con él trajo a varios visitantes y repitió varias veces sus viajes a Cuba y al Caribe.

El desarrollo de la industria turística cubana constituye hoy el eslabón principal para las autoridades locales de cara a 2030, para convertir este destino en uno de los mejor posicionados en el Caribe y el mundo.

Esta afirmación de los voceros del MINTUR concierne a un plan sumamente especializado, y cuya complejidad la comprenden a cabalidad los ejecutivos del sector en el archipiélago (Camellón, 2012).

De ahí la importancia que las instalaciones turísticas cuenten con las condiciones óptimas para satisfacer al cliente más exigente. Uno de los principales requerimientos por su importancia es el buen comportamiento de sus sistemas eléctricos, hablese de generación, transmisión, subtransmisión y distribución de energía, por eso en el presente capítulo se realizará una descripción de la situación actual del polo turístico Cayo Santa María así como sus perspectivas de desarrollo y crecimiento. Motivados por un conjunto de fallas que han ocurrido en los últimos meses, se analizarán las diferentes vías para aumentar la capacidad de generación y mejorar la fiabilidad del sistema eléctrico aislado del Cayo Santa María.

2.2 Sistema de generación actual del Cayo.

Para comenzar con el análisis es necesario esbozar brevemente la composición de la generación en el sistema así como la curva de carga típica de la instalación turística. En estos momentos están instaladas en el cayo dos unidades MAN de 3.9 MW (una fuera de servicio), una batería de 4 unidades Hyundai de 1.7 MW y 8 unidades MTU de 1.9 MW. Las unidades MTU consumen combustible Diesel, mientras que el resto consumen Fuel.

Existen limitaciones en cuanto a la salida de la batería de 4 unidades Hyundai pues el cable de salida solo permite que puedan entregar el 75% de la potencia instalada cuando están las 4 unidades en servicio. La forma de trabajo de las unidades es que solo la unidad MAN se mantiene regulando frecuencia en modo isla, o sea como si estuviera trabajando sola, haciendo regulación primaria y secundaria para mantener la frecuencia cercana a 60 Hz y el resto de las unidades se mantiene en régimen de trabajo de potencia constante. La constante de inercia M de las diferentes unidades se dan en unidades físicas en la tabla 1.

Tabla 1: Constante de inercia de las diferentes unidades.

Unidad Generadora	Constante de Inercia M
MAN 3.9 MW	0.036 MW/rad el/s ²
Hyundai 1.7 MW	0.0134 MW/rad el/s ²
MTU 1.9 MW	0.006 MW/rad el/s ²

De la tabla 1 se puede comprobar que en el comportamiento dinámico del sistema la unidad MAN debe de jugar un papel fundamental pues tiene prácticamente tres veces más constante de inercia que las unidades Hyundai y más de 5 veces la constante de inercia de una unidad MTU.

2.3 Fallas ocurridas en los últimos meses.

- ❖ EL 2 de abril, 6:42 PM. Avería del generador del grupo MTU No 7, por corto circuito a tierra de las rabizas por roce con el chasis. Duración: 50 minutos.
- ❖ El 7 de abril, 7:03 AM. Cortocircuito en la barra del generador del grupo MTU No. 6, por falso contacto en una de las fases. Los cuatro cables que tributan a la fase perdieron su aislamiento por el incremento de la temperatura y se quemaron. Duración: 1 hora y 13 minutos.
- ❖ El 24 de junio, 2:55 PM. Pérdida de carga, por disparo de un interruptor de la subestación. Duración: 40 minutos.
- ❖ 17 de agosto, 8:47 AM. Disparo del interruptor Q13 totalizador de la HYUNDAI (inversión en etapa de asimilación), por inducción de corrientes parásitas en cable de control. Duración: 2 horas y 41 minutos.

Todas las afectaciones aquí expuestas del pasado año han sido por causas diferentes, el factor común en todas es que luego de ocurrir una perturbación de cualquier magnitud el sistema no logra estabilizarse y se cae.

2.4 Programa de desarrollo eléctrico en el cayo Santa María.

El crecimiento turístico planificado para el Cayo Santa María del 2012 al 2017, llegando a 13 102 habitaciones, implica un crecimiento de la capacidad de generación de la central eléctrica o su posible interconexión con el SEN (Tabla 2). El pronóstico de demanda por años aparece en la tabla 2 que se muestra a continuación.

Capítulo 2: Descripción de la situación actual y futura en el grupo aislado de generación del Cayo Santa María.

Tabla 2: Habitaciones y demanda pronosticada por años.

AÑO	Habitaciones acumuladas según programa	Demanda máxima pronosticada(MW) según habitaciones	Demanda máxima real (MW)	Demanda máxima pronosticada reajustada (MW)
2010	3607	8.1	8.6	-
2011	4993	11.2	9.5	-
2012	5884	13.2	11.6	11.6
2013	6730	15.1	14.0	14.2
2014	7749	17.4	14.2	17.2
2015	10057	22.6	-	20.9
2016	11717	26.4	-	25.0
2017	13102	29.5	-	26.5

La demanda máxima pronosticada según número de habitaciones, fue calculada tomando el criterio de la demanda por habitación que se utiliza para este tipo de servicio de 2.25 kW por habitación. Realmente la misma se ha mantenido por debajo de estos valores, es por ello que a partir del año 2012 se está trabajando con valores reajustados. No obstante no se debe desechar los valores iniciales.

Actualmente se encuentran en explotación 6 730 habitaciones y atendiendo al reajuste de la capacidad habitacional se encuentra el proceso al 79 % de la ejecución total sin considerar las habitaciones previstas en los cayos Francés y Fragoso. Además se debe considerar otras obras como:

- Construcción de rebombeo en cayo las Brujas.
- Construcción del tanque de agua a la Unidad turística Laguna del este, conductora principal, maestra de distribución y redes internas, así como las redes para aguas de re-uso.
- Puesta en funcionamiento de nueva conductora de PEAD.
- Construcción de viales internos.
- Construir un embarcadero al este del cayo.
- Construcción de plantas de tratamiento de residuales.
- Mejoras en las comunicaciones.
- Crecimiento de las bases de apoyo del transporte y la construcción.

En mayo de este año fueron entregadas 1 600 habitaciones y serán entregadas 2 500 para la próxima temporada alta.

2.5 Solución al problema.

Para asimilar el crecimiento planificado de la demanda de este sistema aislado del polo turístico Cayo Santa María se tienen dos alternativas:

1. Aumento de la generación propia del Cayo Santa María.
2. Interconexión del sistema aislado del Cayo con el Sistema Eléctrico Nacional.

2.5.1 Aumento de la generación propia del Cayo Santa María.

El sistema aislado actualmente cuenta con una potencia instalada que se muestra en la Tabla 3. El valor de demanda máxima del año 2013 en la temporada alta fue de 14 MW y de este año hasta la fecha de 14.2 MW.

Tabla 3: Potencia instalada.

Tecnología	Potencia (MW)	Cantidad	Potencia total (MW)	Potencia al 100% de operación (MW)	Potencia al 80 % de disponibilidad
MAN	3,85	2	7,7	6,5	5,2
MTU	1,88	8	15	11,25	9
HYUNDAI	1,7	4	6,8	5,1	4,08
Total instalada			29,5	22,85	18,28

El servicio científico técnico profesional prestado por investigadores de la Facultad de Ingeniería Eléctrica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría para definir el régimen de operación de la central eléctrica del cayo Santa María actual y futura, propone lo siguiente:

1. El comportamiento dinámico de las unidades MAN juega un papel fundamental pues tiene prácticamente tres veces más constante de inercia que las unidades Hyundai y más de 5 veces que una unidad MTU.
2. Bajar el Droop de la regulación de las unidades MAN al 2%.
3. Efectuar el cubrimiento de la carga diaria utilizando 3 de las cuatro unidades Hyundai en régimen de regulación primaria de la frecuencia con un Droop del 2.5 %.

4. Operar las MTU a regular frecuencia con un Droop del 4% para que aporten en caso de emergencias tomando potencia.
5. Cuando ocurre un cortocircuito (bifásico/trifásico) en los terminales MTU el sistema no es estable pues las MTU salen por la protección diferencial.

En la siguiente tabla (Tabla 4) se observa que la potencia disponible para operar en régimen confiable es de 24 MW, que considerándola al 80 % de disponibilidad es de 19.2 MW, solo 2 MW por encima de la demanda pronosticada de 17.2 MW para este año 2014.

Tabla 4: Potencia disponible para operar en régimen confiable.

Tecnología	Cantidad	Potencia (MW)	Potencia (MW) máxima a entregar por cada motor para trabajar en régimen confiable			Potencia (MW) total para trabajar en régimen confiable		
			Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima
MAN	2	3,85	2,8	3	3	5,6	6	6
MTU	8	1,88	0	1,6	1,5	0	12,8	12
HYUNDAI	4	1,7	1,5	1,3	1,5	6	5,2	6
Total instalada para operar en régimen confiable:						11,6	24	24

El análisis anterior y la no posible importación de los 2 motores de 3.85 MW, con sus accesorios al proveedor MAN Diesel & Turbo Canadá Ltd, oferta en la que se lleva trabajando hace más de 2 años; hacen necesario proponer soluciones con carácter urgente, para no ver comprometida la fiabilidad del sistema aislado cayo Santa María.

La solución ante esta problemática es el traslado de una batería de 4 motores. La propuesta de ubicación de esta batería es a continuación de la batería HYUNDAI ya instalada, donde se encuentran actualmente los motores MTU. Con esta solución se aprovecharían los equipos instalados de la actual batería HYUNDAI, sería menos complejo el proceso constructivo y más eficiente la operación tecnológica de esta tecnología.

Capítulo 2: Descripción de la situación actual y futura en el grupo aislado de generación del Cayo Santa María.

Para esto deben ser trasladados los 8 motores MTU, lo cual se propone para la parte posterior del emplazamiento, donde estaba propuesta la ubicación de la planta de tratamiento a residuales oleosos.

2.5.1.1 Inversiones futuras.

Las inversiones necesarias a preparar en el año 2015, una vez concluida la instalación de 4 motores propuestos como solución urgente, podría ser con las siguientes alternativas:

- ❖ 9 Motores de 1.7 MW.
- ❖ 7 Motores de 2.5 MW.
- ❖ 4 Motores de 3.85 MW.

Las diferencias no son tan significativas, ya que es la misma cantidad de MW a instalar.

El balance entre generación y demanda propuesta se presenta en tabla y figura a continuación. Las inversiones necesarias a realizar son:

- ❖ Para la temporada alta del 2015 en explotación 4 motores de 1.7 MW.
- ❖ Para la temporada alta del 2016 en explotación 2 motores de 3.85 MW.
- ❖ Para la temporada alta del 2017 en explotación 2 motores de 3.85 MW.
- ❖ Evaluar, el dejar solo 4 unidades MTU de las 8 actuales.

Tabla 5: Balance entre la generación instalada y demanda.

AÑOS	MTU		MAN		HYUNDAI		TOTAL		Demanda máxima pronosticada	Demanda máxima pronosticada reajustada	% Cubrimiento según demanda reajustada
	Cant.	MW	Cant.	MW	Cant.	MW	Cant.	MW			
2013	8	15	2	7,7	4	6,8	14	29,5	15,1	14,2	48,07
2014	8	15	2	7,7	4	6,8	14	29,5	17,4	17,2	58,23
2015	8	15	2	7,7	8	13,6	18	36,3	22,6	20,9	57,51
2016	8	15	4	15,4	8	13,6	20	44	26,4	25	56,77
2017	4	7,52	6	23,1	8	13,6	18	44,2	29,5	26,5	59,93

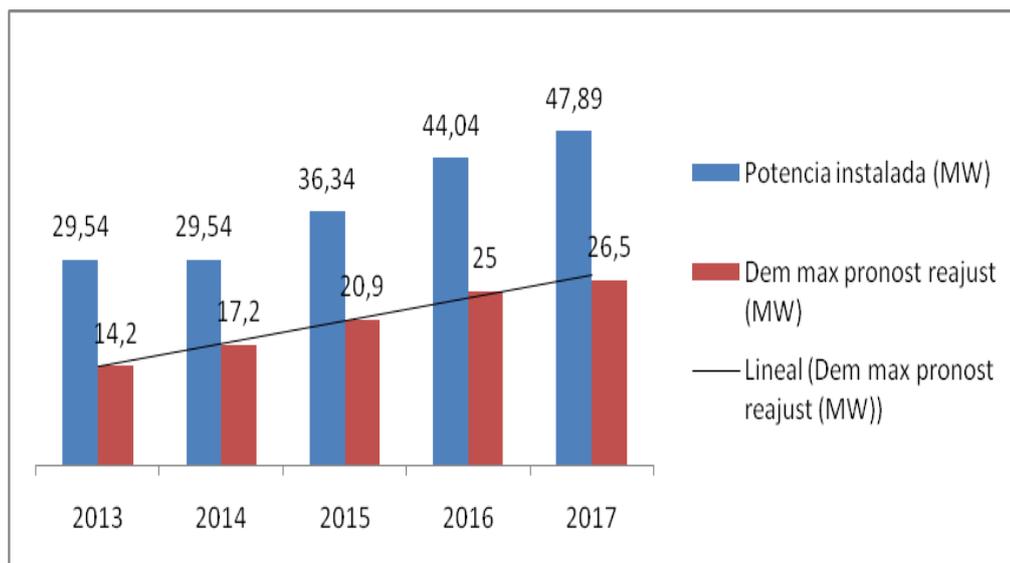


Figura 3: Crecimiento de la potencia instalada y demanda pronosticada reajustada por años.

2.5.2 Interconexión del sistema aislado al SEN.

Las posibles alternativas de interconexión con el SEN son:

- ❖ Soterrado en el extremo izquierdo del pedraplén, con soluciones para el paso de los puentes.
- ❖ Cable submarino desde Caibarién al cayo Santa María.
- ❖ Cable submarino de Yaguajay al cayo Santa María.

2.5.2.1 Soterrado en el extremo izquierdo del pedraplén, con soluciones para el paso de los puentes.

Las inversiones necesarias son las siguientes:

- ✓ Construir una línea de 110 kV Remedios - Caibarién con 7 km de longitud.
- ✓ Ampliación de la barra de Remedios con 1 interruptor por 110 kV.
- ✓ Construir una línea de 110 kV Yaguajay – Caibarién con 32 km de longitud.
- ✓ Ampliación de la barra de Yaguajay con 1 interruptor por 110 kV
- ✓ Barra de interconexión a 110 kV en Caibarién con 4 interruptores. Dejarla preparada para escenarios futuros.
- ✓ Línea soterrada de 110 kV desde la zona costera con 50 km de longitud, con conductor de 300 mm²(Al). Esta inversión debe incluir la ampliación del pedraplén y la franja de protección, además soluciones para pasar varios puentes.

Este proyecto tiene en su contra el alto valor económico, el monto en equipos ha sido calculado, haciendo consultas a varias ofertas de otras inversiones en la UNE y haciendo las adecuaciones a la nuestra. El monto de construcción y montaje ha sido estimado, por otros proyectos que no son ni tan siquiera similares a estos, ya que la construcción es por un extremo del pedraplén. Se tomó el criterio aportado según la experiencia de Varadero de 1.5 millones el costo del km de doble circuito en construcción y montaje.

2.5.2.2 Cable submarino.

El alto valor económico de este proyecto es uno de los principales problemas, pero elimina los obstáculos que impone el pedraplén. Este enlace se propone de dos vías:

- 1 Conexión desde Yaguajay al Cayo Santa María a 34.5 kV o a 110 kV.
- 2 Conexión desde Caibarién al Cayo Santa María a 34.5 kV o a 110 kV.

En el próximo capítulo se realiza un estudio para conocer acerca de la factibilidad técnica de estas variantes.

2.6 Ventajas y desventajas de interconexión del sistema aislado al SEN.

2.6.1 Ventajas.

- ❖ Menos afectación al medio ambiente.
- ❖ Se aprovechan las fortalezas del SEN.
- ❖ Sistema más fiable.

2.6.2 Desventajas.

- ❖ Costoso proceso constructivo.
- ❖ Debe mantener un nivel de generación propio en el cayo y se deben hacer inversiones de generación en tierra próximas a la interconexión, para garantizar la misma.
- ❖ No se cuenta con la experiencia técnica necesaria para la construcción, montaje y puesta en marcha.

2.7 Otras variantes.

2.7.1 Utilización de energías renovables.

Se encuentra en proceso de estudio la determinación de la penetración de energía renovable por profesores investigadores del CIPEL actuales y futuras. Los valores posibles de energía renovables a conectar sin afectar la estabilidad del sistema aislado actualmente son:

2 MW, para lo cual es necesario alrededor de 3 hectáreas en procesos de localización.

Teniendo en cuenta los costos del parque fotovoltaico del Frigorífico de la provincia Villa Clara, que fue de alrededor de 2.4 millones de pesos el MW instalado, la inversión sería de 7.2 millones de pesos.

Los valores futuros de energía renovable posibles a instalar sin afectar la estabilidad del sistema aún están en estudio. Esto es muy importante ya que garantizaría el uso de energía limpia.

2.7.2 Instalación de grupos electrógenos de emergencia en los servicios vitales.

El tiempo promedio sin energía eléctrica de un cliente de este sistema aislado en el pasado año 2013 fue de 3.31 horas, por averías o afectaciones. Resulta necesario que la Empresa Inmobiliaria del Turismo subordinada al MINTUR evalúe la factibilidad de la posible instalación de grupos electrógenos de emergencia en determinados servicios para mantener la carga de emergencia de la instalación, ante averías y afectaciones. Esto por supuesto no resuelve el incremento de capacidad de generación necesario producto del crecimiento de la demanda por las habitaciones planificadas.

CAPÍTULO 3: Simulación y análisis de variantes de conexión al SEN.

3.1 Introducción.

Para conocer la factibilidad técnica de la aplicación de tecnología de cables submarinos y soterrados en la conexión al Sistema Eléctrico Nacional del sistema aislado del polo turístico cayo Santa María se analizarán en el presente capítulo las diferentes variantes con la ayuda del software PSX v3.2.

Se analizará variando cuatro aspectos principales como son:

- ❖ Lugar de emplazamiento de la conexión.
- ❖ Nivel de voltaje de operación de la conexión.
- ❖ Diámetro del conductor.
- ❖ Estado de Carga

3.2 Variantes en cuestión.

En el presente estudio se analizarán 4 variantes de conexión del Cayo Santa María al SEN. Estas son:

- Variante 1: Conexión a 34,5 kV desde Caibarién hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.
- Variante 2: Conexión a 34,5 kV desde Yaguajay hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino.
- Variante 3: Conexión a 110 kV desde Caibarién hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.
- Variante 4: Conexión a 110 kV desde Yaguajay hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino.

Estas variantes se analizarán aplicando un circuito simple y con el objetivo de ampliar el estudio se simulará también con un doble circuito.

Los parámetros de las líneas se obtuvieron mediante los catálogos de los fabricantes de conductores. Los valores obtenidos fueron comprobados según las fórmulas de cálculos de parámetros de varios autores. El tipo de conductor usado en todos los caso es el XLPE (Cross-Linked Polyethylene).

Todos los análisis se harán para diferentes estados de carga, manteniendo constante un factor de potencia de 0.93. Es necesario destacar que los parámetros de operación de la tecnología de cables submarinos y soterrados pueden considerarse iguales.

En el caso de los análisis para 34,5 kV se utilizan conductores de cobre, los cuales cumplen satisfactoriamente la condición de corriente nominal como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6: Corriente nominal para los conductores de Cobre

Cross section conductor	Rated voltage 45-66 kV, copper conductor - 35 mm ² screen								Segmental conductor for 1200 mm ² or higher							
	Cables in Ground								Cables in Air							
	Flat formation ●●●				Trefoil formation ●●●				Flat formation ●●●				Trefoil formation ●●●			
	Crossbonded		Both ends		Cross bonded		Both ends		Crossbonded		Both ends		Cross bonded		Both ends	
mm ²	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C
95	285	340	275	330	270	320	270	325	295	400	285	390	255	350	255	350
120	325	380	310	370	305	365	305	365	340	460	325	440	295	400	295	400
150	360	435	340	410	345	410	340	410	390	525	360	495	335	455	335	455
185	410	490	375	455	385	465	385	460	445	600	405	555	385	520	380	520
240	475	570	425	515	450	540	440	530	525	710	465	640	450	615	445	610
300	535	645	465	570	505	610	495	600	605	820	520	720	515	705	505	695
400	610	735	515	630	575	690	560	675	705	955	585	815	595	815	580	800
500	695	835	565	695	650	785	625	760	815	1105	655	910	690	945	665	915
630	790	950	615	760	735	885	695	845	945	1285	725	1015	790	1085	755	1045
800	885	1070	660	820	815	990	765	930	1080	1470	795	1120	895	1230	845	1175
1000	975	1180	700	870	890	1080	820	1005	1215	1660	855	1215	995	1375	930	1295
1200	1130	1365	755	945	1060	1280	930	1145	1450	1965	955	1360	1215	1670	1090	1520
1400	1220	1475	785	985	1140	1380	980	1210	1590	2160	1010	1440	1325	1825	1170	1640
1600	1300	1570	810	1015	1205	1465	1025	1265	1720	2340	1055	1510	1420	1960	1240	1740
2000	1425	1730	840	1060	1315	1600	1085	1345	1915	2620	1110	1595	1570	2175	1335	1885

La siguiente tabla (Tabla 7) muestra los conductores utilizados y los valores característicos de cada uno.

Tabla 7: Conductores utilizados para 34.5 kV

Datos de los Conductores:					
Sección mm ²	R (Ω /km) a 20 °C	R (Ω/km) a 90 °C	XI (Ω/km) 60 Hz	Bc (mho/km)	C(μF/km)
300	0,0601	0,078	0,1308	9,57557E-05	0,254
400	0,047	0,062	0,1272	0,00010405	0,276
500	0,0366	0,051	0,1224	0,000115359	0,306
630	0,0283	0,036	0,12	0,000128112	0,34
800	0,0221	0,028	0,117	0,000143184	0,38
1000	0,0176	0,022	0,113	0,000154488	0,41
1200	0,0151	0,019	0,109	0,000180864	0,48
1600	0,0113	0,014	0,106	0,00020724	0,55
2000	0,009	0,011	0,106	0,00020724	0,55

En el caso de los análisis para 110 kV el conductor se toma de aluminio. Se selecciona el conductor de 300 mm² puesto que este satisface ampliamente la condición de corriente nominal que es de 200 A como se muestra en la Tabla 8. Este conductor es el más pequeño que se construye de aluminio para un nivel de voltaje de 110 kV.

Tabla 8: Corriente admisible del conductor de aluminio 300mm²

Rated voltage 110-500 kV, aluminium conductor – 95 mm ² screen																
Cross section conductor	Cables in Ground								Cables in Air							
	Flat formation ●●●				Trefoil formation ●●●				Flat formation ●●●				Trefoil formation ●●●			
	Crossbonded		Both ends		Cross bonded		Both ends		Crossbonded		Both ends		Cross bonded		Both ends	
mm ²	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C
300	415	495	365	445	395	475	385	460	465	625	415	565	410	550	400	540

La siguiente tabla (Tabla 9) muestra el conductor utilizado y sus valores característicos.

Tabla 9: Conductor utilizado para 110 kV

Conductor Aluminio XLPE			
Calibre	R (AC 90 °C)(Ω/km)	Xl (Ω /km)	Bc (mho)
300 mm ²	0,127551	0,1544880	6,4056E-05

3.3 Conexión a 34,5 kV desde Caibarién hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.

En esta variante se operará a un nivel de voltaje de 34.5 kV desde Caibarién hasta el cayo Santa María mediante la tecnología de cable submarino o soterrado. Para la misma deben existir al menos dos líneas de 110 kV en tierra, que alimenten una subestación 110/34.5 kV ubicada lo más próximo posible al inicio del pedraplén. La capacidad instalada en esta subestación debe ser superior a los 30 MVA para cubrir la máxima demanda de la carga y las pérdidas de potencia en las redes.

Para las simulaciones en el software PSX v3.2 se variará el diámetro del conductor desde 300 mm² hasta 2 000mm² y la carga desde 2 MW hasta 26 MW. El conductor tendrá un largo de 50 km. Las corridas se realizarán utilizando un simple y un doble circuito.

3.3.1 Simple Circuito

En la tabla siguiente (Tabla 10) se observan los resultados más significativos obtenidos en las corridas de flujos de carga realizadas para cada calibre de conductor utilizando un circuito simple desde Caibarién.

Tabla 10: Resultados más significativos obtenidos para simple circuito

Calibre de conductor	Potencia activa demanda en el cayo (MW)	Potencia reactiva demanda en el cayo (MVar)	Voltaje en barra 34,5 (kV)	Voltaje en el cayo (kV)	% Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas de Potencia (MW)	% Pérdidas
Conductor 300mm ² Cobre	4	1,6	34,631	34,406	0,65%	-2	0,2	4,8
	10	4,0	34,331	32,827	4,38%	-4	0,9	8,3
	26	10,3	34,414	28,689	16,64%	-12	8	23,5
Conductor 400mm ² Cobre	4	1,6	34,639	34,55	0,26%	-2	0,2	4,8
	8	3,2	34,712	33,919	2,28%	-4	0,5	5,9
	26	10,3	34,618	29,954	13,47%	-12	6,6	20,2
Conductor 500mm ² Cobre	4	1,6	34,649	34,677	-0,08%	-2	0,2	4,8
	12	4,7	34,822	33,598	3,52%	-6	1	7,7
	26	10,3	34,752	30,84	11,26%	-12	5,7	18,0
Conductor 630mm ² Cobre	4	1,6	34,661	34,841	-0,52%	-2	0,3	7,0
	14	5,5	34,488	33,307	3,42%	-6	1,3	8,5
	26	10,3	34,897	31,831	8,79%	-12	4,8	15,6
Conductor 800mm² Cobre	4	1,6	34,67	34,965	-0,85%	-2	0,3	7,0
	18	7,1	34,641	33,205	4,15%	-8	1,9	9,5
	26	10,3	34,98	32,417	7,33%	-12	4,3	14,2
Conductor 1000mm ² Cobre	4	1,6	34,678	35,047	-1,06%	-2	0,4	9,1
	18	9,5	34,436	32,449	5,77%	-10	3,5	12,7
	26	10,3	35,038	32,859	6,22%	-12	4	13,3
Conductor 1200mm ² Cobre	4	1,6	34,694	35,197	-1,45%	-2	0,5	11,1
	20	7,9	34,328	33,133	3,48%	-8	2,2	9,9
	26	10,3	34,079	32,104	5,80%	-10	4	13,3
Conductor 1600mm ² Cobre	4	1,6	34,708	35,348	-1,84%	-2	0,6	13,0
	22	8,7	34,929	33,884	2,99%	-10	2,5	10,2
	26	10,3	35,158	33,702	4,14%	-12	3,5	11,9
Conductor 2000mm ² Cobre	4	1,6	34,709	35,367	-1,90%	-2	0,6	13,0
	24	9,5	34,561	33,371	3,44%	-10	3	11,1
	26	10,3	34,186	32,711	4,31%	-10	3,6	12,2

Como se puede observar en la Tabla 10, los parámetros de operación para la conexión al Sistema Eléctrico Nacional del polo turístico Cayo Santa María con

34.5 kV como nivel de voltaje de operación presenta dificultades. Ejemplo de ello es que al variar la carga es necesario regular el tap del transformador 110/34.5 kV y los valores de pérdidas están por encima de los requeridos (deben mantenerse cercanos al 2 %). También ocurre en la generalidad de los conductores que el nivel de voltaje en la barra de 34.5 kV es menor al voltaje que llega al cayo debido a la influencia del efecto capacitivo en las líneas.

En el gráfico siguiente (Figura 4) se puede observar la variación de las pérdidas en los diferentes estados de carga de los conductores seleccionados para el estudio.

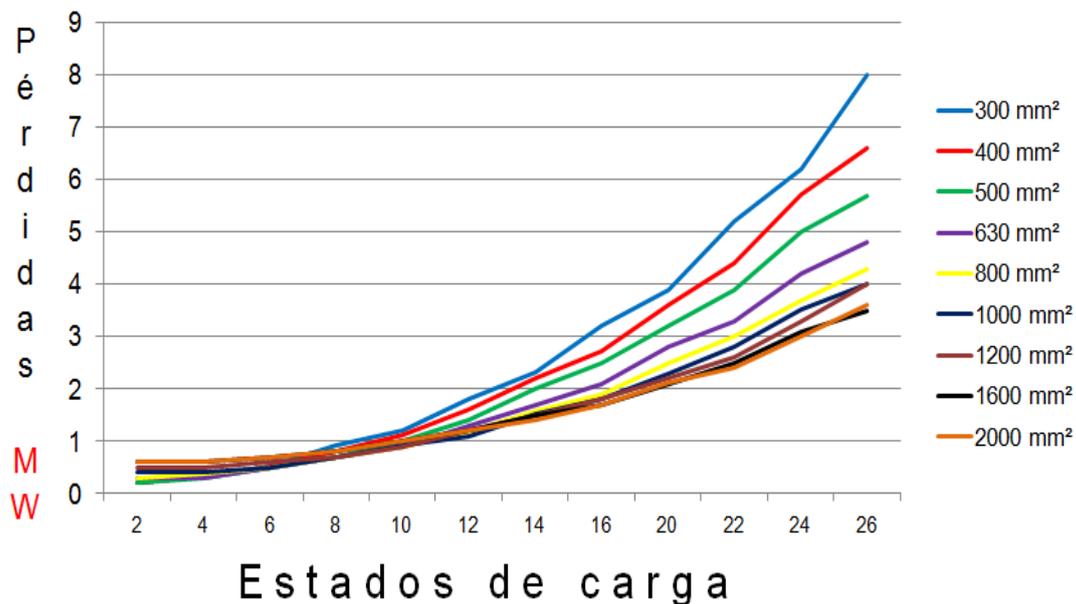


Figura 4: Variación de pérdidas para simple circuito.

Si se desea realizar un análisis más amplio de esta variante se pueden consultar todos los resultados de las corridas de flujos de cargas correspondientes en el Anexo III.

3.3.2 Doble Circuito

En la tabla siguiente (Tabla 11) se observan los resultados más significativos obtenidos de los flujos de carga realizados para cada calibre de conductor utilizando un doble circuito desde Caibarién.

Tabla 11: Resultados más significativos obtenidos para doble circuito

Calibre de conductor	Potencia activa demanda en el cayo (MW)	Potencia reactiva demanda en el cayo (MVar)	Voltaje en barra 34,5 (kV)	Voltaje en el cayo (kV)	% Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas de Potencia (MW)	% Pérdidas
Conductor 300mm ² Cobre	4	1,6	34,696	34,918	-0,64%	-2	0,57	12,5
	10	4,0	34,44	34,006	1,26%	-4	0,9	8,3
	26	10,3	35,014	32,911	6,01%	-12	4,5	14,8
Conductor 400mm ² Cobre	4	1,6	34,702	34,954	-0,73%	-2	0,67	14,3
	8	3,2	34,798	34,714	0,24%	-4	0,8	9,1
	26	10,3	35,084	33,392	4,82%	-12	4,1	13,6
Conductor 500mm ² Cobre	4	1,6	34,713	35,041	-0,94%	-2	0,8	16,7
	12	4,7	34,94	34,681	0,74%	-6	1,2	9,1
	26	10,3	34,128	32,663	4,29%	-10	4,1	13,6
Conductor 630mm ² Cobre	4	1,6	34,725	35,158	-1,25%	-2	1	20,0
	14	5,5	34,617	34,413	0,59%	-6	1,4	9,1
	26	10,3	34,202	33,135	3,12%	-12	3,8	12,8
Conductor 800mm² Cobre	4	1,6	34,734	35,255	-1,50%	-2	1,2	23,1
	18	7,1	34,803	34,528	0,79%	-8	2,1	10,4
	26	10,3	34,252	33,442	2,36%	-12	3,7	12,5
Conductor 1000mm ² Cobre	4	1,6	34,74	35,313	-1,65%	-2	1,4	25,9
	18	7,1	34,822	34,68	0,41%	-8	2,1	10,4
	26	10,3	34,287	33,663	1,82%	-10	3,7	12,5
Conductor 1200mm ² Cobre	4	1,6	34,747	35,439	-1,99%	-2	2	33,3
	20	7,9	34,494	34,406	0,26%	-8	2,7	11,9
	26	10,3	34,331	33,917	1,21%	-10	3,8	12,8
Conductor 1600mm ² Cobre	4	1,6	34,747	35,558	-2,33%	-2	2,6	39,4
	22	8,7	34,16	34,152	0,02%	-8	3,4	13,4
	26	10,3	34,87	34,183	1,97%	-10	4,1	13,6
Conductor 2000mm ² Cobre	4	1,6	34,749	35,568	-2,36%	-2	2,6	39,4
	24	9,5	34,744	34,731	0,04%	-10	3,6	13,0
	26	10,3	34,379	34,251	0,37%	-10	4	13,3

En este caso se puede apreciar que los valores de caídas de voltaje y pérdidas de potencia varían considerablemente respecto a cuando se utiliza un circuito simple. Los valores de caída de voltaje que se logran son mejores, pero en el caso de las pérdidas aún no se logran valores satisfactorios. Hay que continuar variando con regularidad el tap del transformador de 110/34.5 kV. Se observa que a medida que se aumenta el calibre del conductor, aumenta el efecto

capacitivo, lo cual provoca que se entregue a la barra de 34,5kV (fuente) altos valores de reactivos, esto trae como resultado que aumente el voltaje al final del circuito de igual manera que si se colocara un capacitor.

Los altos valores de reactivo se inyectan al sistema mayormente en el horario de mínima que es cuando menos hacen falta en el mismo, lo cual incrementa el porcentaje de pérdidas en el sistema.

En el gráfico siguiente (Figura 5) se puede observar la variación de las pérdidas en los diferentes estados de carga de los conductores seleccionados para el estudio.

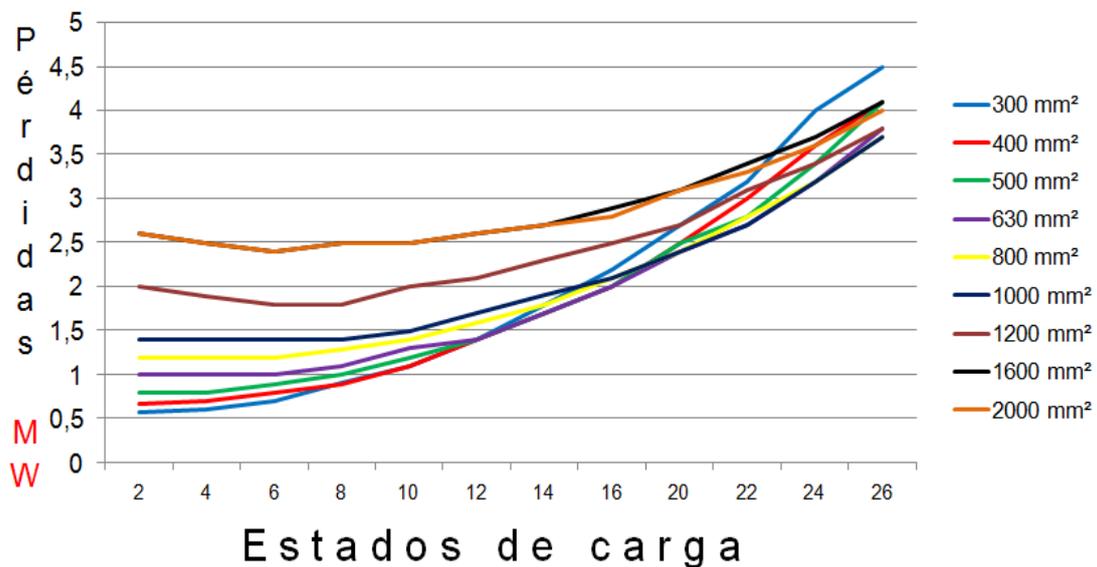


Figura 5: Variación de pérdidas para doble circuito.

Si se desea realizar un análisis más amplio de esta variante se pueden consultar todos los resultados de las corridas de flujos de carga correspondientes en el Anexo IV.

3.3.3 Comparación de los resultados Obtenidos en la Conexión a 34,5 kV desde Caibarién hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.

A continuación se hace una representación gráfica de la comparación de los conductores más representativos utilizados para la conexión al SEN, teniendo en cuenta el estado de carga, las pérdidas de potencia y el calibre del conductor ya sea en un circuito simple o doble.

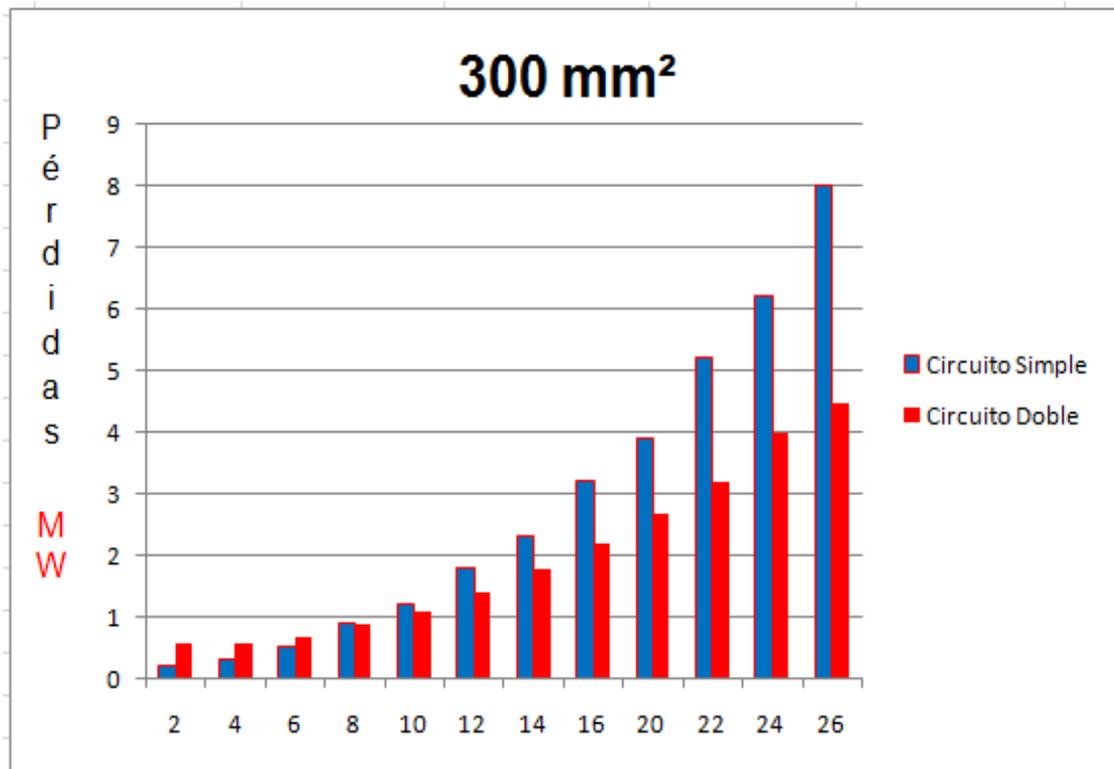


Figura 6: Comparación de las pérdidas para conductor de 300 mm² dependiendo del tipo de circuito.

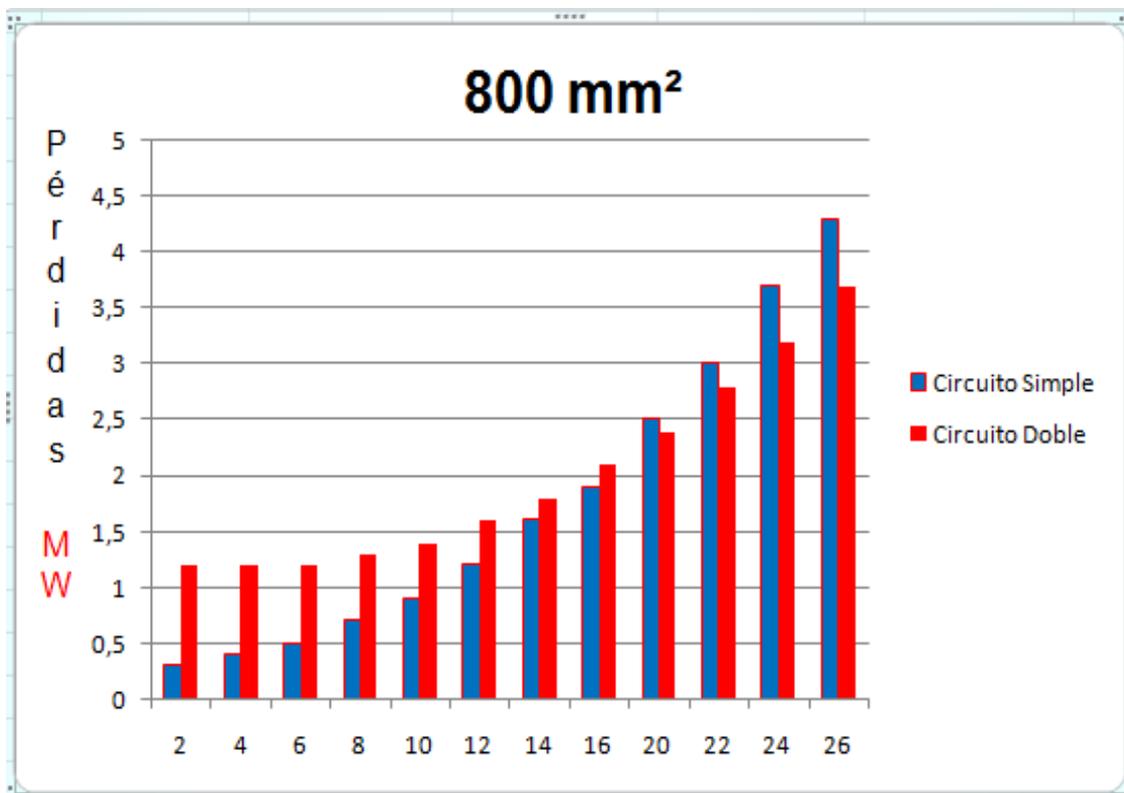


Figura 7: Comparación de las pérdidas para conductor de 800 mm² dependiendo del tipo de circuito.

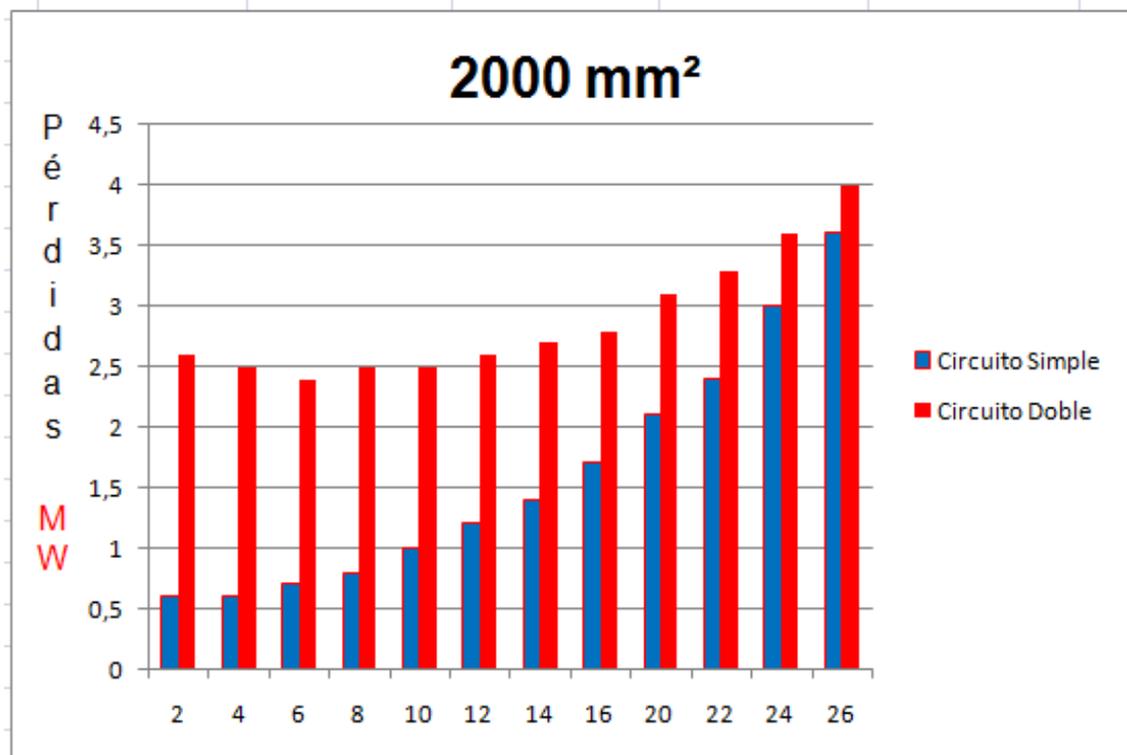


Figura 8: Comparación de las pérdidas para conductor de 2000 mm² dependiendo del tipo de circuito.

Como se puede apreciar en los gráficos mostrados, los valores de pérdidas de potencia no son los deseados; pero en la mayoría de los casos cuando el circuito es doble las pérdidas disminuyen y tiene menor dependencia de los estados de carga. También se observa que a medida que aumenta el calibre del conductor los valores de pérdida disminuyen.

3.4 Conexión a 34,5 kV desde Yaguajay hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.

En esta variante se operará a un nivel de voltaje de 34.5 kV desde Yaguajay hasta el cayo Santa María mediante la tecnología de cable submarino o soterrado. Para la misma deben existir al menos dos líneas de 110 kV en tierra, que alimenten una subestación 110/34.5 kV ubicada en la costa de Yaguajay. La capacidad instalada en esta subestación debe ser superior a los 30 MVA para cubrir la máxima demanda de la carga y las pérdidas de potencia en las redes.

Para las simulaciones en el software PSX v3.2 se variará el diámetro del conductor desde 300 mm² hasta 2000mm² y la carga desde 2 MW hasta 26 MW. El conductor tendrá un largo un largo de 45 km, repartidos en 35 km de cableado submarino desde la costa de Yaguajay hasta la entrada a la costa del

cayo y 10 km de tecnología de cable soterrado desde la entrada a la costa del cayo a la subestación del Cayo Santa María (CE Cayo) . Las corridas se realizarán utilizando un simple y un doble circuito.

3.4.1 Simple Circuito

En la tabla siguiente (Tabla 12) se observan los resultados más significativos obtenidos en las corridas de flujos de carga realizadas para cada calibre de conductor utilizando un circuito simple desde Yaguajay.

Tabla 12: Resultados más significativos obtenidos para simple circuito

Calibre de conductor	Potencia activa demanda en el cayo (MW)	Potencia reactiva demanda en el cayo (MVar)	Voltaje en barra 34,5 (kV)	Voltaje en el cayo (kV)	% Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas de Potencia (MW)	% Pérdidas
Conductor 300mm ² Cobre	4	1,6	34,628	34,38	0,72%	-2	0,2	4,8
	10	4,0	34,33	32,941	4,05%	-4	0,8	7,4
	26	10,3	34,52	29,53	14,46%	-12	7,3	21,9
Conductor 400mm ² Cobre	4	1,6	34,633	34,5	0,38%	-2	0,19	4,5
	8	3,2	34,707	33,946	2,19%	-4	0,5	5,9
	26	10,3	34,683	30,572	11,85%	-12	6,2	19,3
Conductor 500mm ² Cobre	4	1,6	34,643	34,613	0,09%	-2	0,2	4,8
	12	4,7	34,819	33,674	3,29%	-6	1	7,7
	26	10,3	34,794	31,319	9,99%	-12	5,4	17,2
Conductor 630mm ² Cobre	4	1,6	34,651	34,751	-0,29%	-2	0,2	4,8
	14	5,5	34,484	33,374	3,22%	-6	1,2	7,9
	26	10,3	34,918	32,169	7,87%	-12	4,6	15,0
Conductor 800mm² Cobre	4	1,6	34,662	34,861	-0,57%	-2	0,3	7,0
	18	7,1	34,638	33,301	3,86%	-8	1,9	9,5
	26	10,3	34,992	32,678	6,61%	-12	4,2	13,9
Conductor 1000mm ² Cobre	4	1,6	34,669	34,931	-0,76%	-2	0,3	7,0
	18	7,1	34,664	33,548	3,22%	-8	1,8	9,1
	26	10,3	34,025	31,914	6,20%	-10	4,2	13,9
Conductor 1200mm ² Cobre	4	1,6	34,684	35,056	-1,07%	-2	0,4	9,1
	20	7,9	34,321	33,186	3,31%	-8	2,2	9,9
	26	10,3	34,08	32,267	5,32%	-10	4	13,3
Conductor 1600mm ² Cobre	4	1,6	34,698	35,184	-1,40%	-2	0,5	11,1
	22	8,7	34,919	33,91	2,89%	-10	2,5	10,2
	26	10,3	34,141	32,665	4,32%	-10	3,7	12,5
Conductor 2000mm ² Cobre	4	1,6	34,699	35,201	-1,45%	-2	0,5	11,1
	24	9,5	34,551	33,418	3,28%	-10	2,9	10,8
	26	10,3	34,158	32,795	3,99%	-10	3,6	12,2

Como se puede observar en la Tabla 11, los parámetros de operación para la conexión al Sistema Eléctrico Nacional del polo turístico cayo Santa María con 34.5 kV como nivel de voltaje de operación presentan gran semejanza con los resultados obtenidos para un circuito simple en la variante con alimentación desde Caibarién ya que la diferencia entre ambas es el largo del conductor, que en este caso es de 5 km menos.

En el gráfico siguiente (Figura 9) se puede observar la variación de las pérdidas en los diferentes estados de carga de los conductores seleccionados para el estudio.

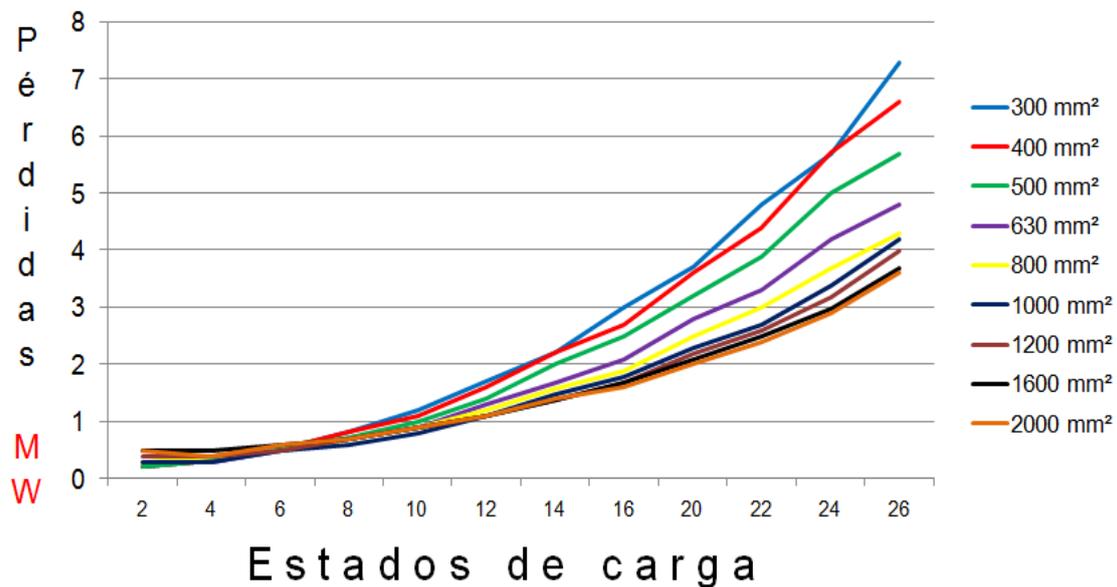


Figura 9: Variación de pérdidas para simple circuito.

Si se desea realizar un análisis más amplio de esta variante se pueden consultar todos los resultados de las corridas de flujos de carga correspondientes en el Anexo V.

3.4.2 Doble Circuito

En la tabla siguiente (Tabla 12) se observan los resultados más significativos obtenidos de los flujos de carga realizados para cada calibre de conductor utilizando un doble circuito desde Yaguajay.

Tabla 13: Resultados más significativos obtenidos para doble circuito

Calibre de conductor	Potencia activa demanda en el cayo (MW)	Potencia reactiva demanda en el cayo (MVar)	Voltaje en barra 34,5 (kV)	Voltaje en el cayo (kV)	% Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas de Potencia (MW)	% Pérdidas
Conductor 300mm ² Cobre	4	1,6	34,685	34,788	-0,30%	-2	0,5	11,1
	10	4,0	34,432	33,994	1,27%	-4	0,8	7,4
	26	10,3	35,023	33,105	5,48%	-12	4,4	14,5
Conductor 400mm ² Cobre	4	1,6	34,698	34,913	-0,62%	-2	0,6	13,0
	8	3,2	34,794	34,697	0,28%	-4	0,7	8,0
	26	10,3	35,089	33,503	4,52%	-12	4,1	13,6
Conductor 500mm ² Cobre	4	1,6	34,704	34,943	-0,69%	-2	0,6	13,0
	12	4,7	34,115	33,796	0,94%	-4	1,1	8,4
	26	10,3	34,126	32,77	3,97%	-10	4	13,3
Conductor 630mm ² Cobre	4	1,6	34,716	35,043	-0,94%	-2	0,8	16,7
	14	5,5	34,606	34,363	0,70%	-6	1,3	8,5
	26	10,3	34,193	33,185	2,95%	-10	3,7	12,5
Conductor 800mm² Cobre	4	1,6	34,728	35,13	-1,16%	-2	1	20,0
	18	7,1	34,791	34,48	0,89%	-8	1,9	9,5
	26	10,3	34,24	33,455	2,29%	-10	3,6	12,2
Conductor 1000mm ² Cobre	4	1,6	34,735	35,18	-1,28%	-2	1,1	21,6
	18	7,1	34,809	34,613	0,56%	-8	2	10,0
	26	10,3	34,273	33,65	1,82%	-10	3,5	11,9
Conductor 1200mm ² Cobre	4	1,6	34,745	35,285	-1,55%	-2	1,6	28,6
	20	7,9	34,482	34,325	0,46%	-8	2,5	11,1
	26	10,3	34,316	33,87	1,30%	-10	3,6	12,2
Conductor 1600mm ² Cobre	4	1,6	34,75	35,389	-1,84%	-2	2,1	34,4
	22	8,7	34,149	34,057	0,27%	-8	3,1	12,4
	26	10,3	34,357	34,106	0,73%	-10	3,8	12,8
Conductor 2000mm ² Cobre	4	1,6	34,752	35,4	-1,86%	-2	2,1	34,4
	24	9,5	34,732	34,634	0,28%	-10	3,3	12,1
	26	10,3	34,364	34,166	0,58%	-10	3,7	12,5

Como se puede apreciar el comportamiento de las características del doble circuito varían en igual medida que en la variante con alimentación desde Caibarién porque en realidad no hay mucha diferencia desde el punto de vista técnico.

En el gráfico siguiente (Gráfico 10) se puede observar la variación de las pérdidas en los diferentes estados de carga de los conductores seleccionados para el estudio.

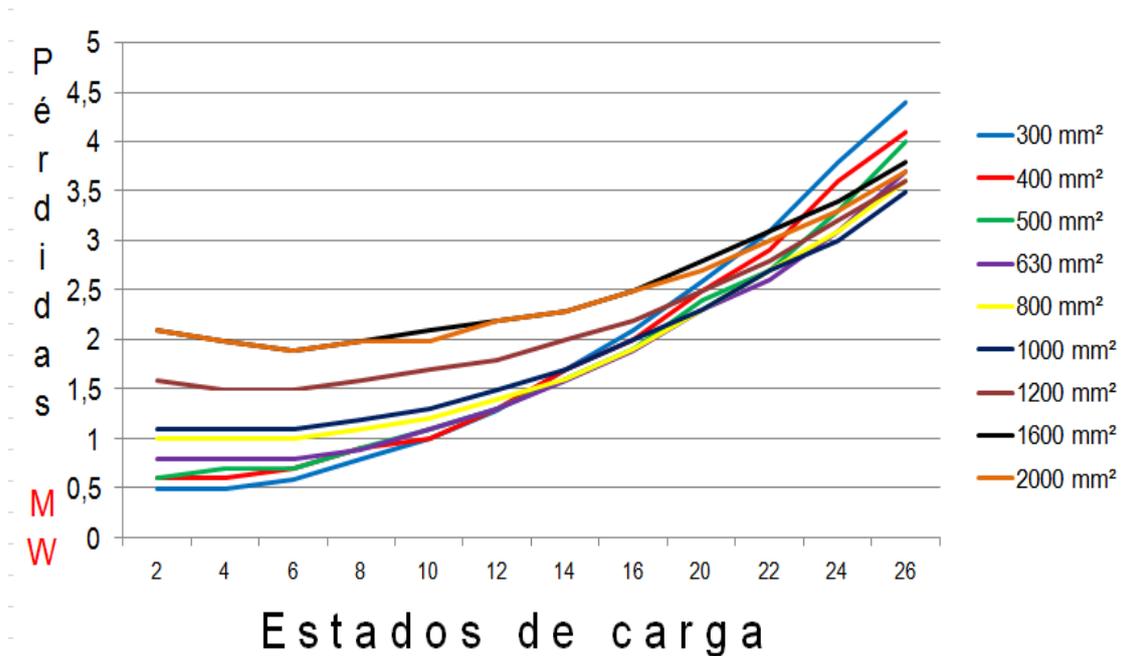


Figura 10: Variación de pérdidas para doble circuito.

Si se desea realizar un análisis más amplio de esta variante se pueden consultar todos los resultados de las corridas de flujos de carga correspondientes en el Anexo VI.

3.4.3 Comparación de los resultados Obtenidos en la Conexión a 34,5 kV desde Yaguajay hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.

A continuación se muestra en las tablas siguientes una comparación con los conductores más representativos utilizados para la conexión al SEN entre las variantes con alimentación desde Caibarién y desde Yaguajay, centrandose el estudio en la diferencia entre los valores de voltaje que llegan al cayo Santa María.

Capítulo 3: Simulación y análisis de variantes de conexión al SEN

Tabla 14: Comparación del voltaje que llega la cayería norte de Villa Clara para el conductor de 300mm²

P carga	Q carga	Conductor 300 mm ²					
		Circuito Simple			Circuito Doble		
		Caibarién-Santa María	Yaguajay-Santa María	Diferencia de Voltaje	Caibarién-Santa María	Yaguajay-Santa María	Diferencia de Voltaje
		Voltaje en el cayo	Voltaje en el cayo		Voltaje en el cayo	Voltaje en el cayo	
4	1,6	34,406	34,38	0,026	34,918	34,788	0,13
6	2,4	33,64	33,655	-0,015	34,325	34,271	0,054
8	3,2	33,654	33,712	-0,058	33,77	34,53	-0,76
10	4,0	32,827	32,941	-0,114	34,006	33,994	0,012
12	4,7	32,878	33,040	-0,162	33,436	34,302	-0,866
14	5,5	31,975	32,206	-0,231	33,711	33,743	-0,032
16	6,3	32,019	32,309	-0,29	33,102	33,163	-0,061
18	7,1	31,02	31,397	-0,377	33,422	33,503	-0,081
20	7,9	31,083	31,528	-0,445	32,782	32,896	-0,114
22	8,7	29,944	30,513	-0,569	33,153	33,288	-0,135
24	9,5	30,026	30,679	-0,653	32,478	32,653	-0,175
26	10,3	28,689	29,530	-0,841	32,911	33,105	-0,194

Tabla 15: Comparación del voltaje que llega la cayería norte de Villa Clara para el conductor de 800mm²

P carga	Q carga	Conductor 800 mm ²					
		Circuito Simple			Circuito Doble		
		Caibarién-Santa María	Yaguajay-Santa María	Diferencia de Voltaje	Caibarién-Santa María	Yaguajay-Santa María	Diferencia de Voltaje
		Voltaje en el cayo	Voltaje en el cayo		Voltaje en el cayo	Voltaje en el cayo	
4	1,6	34,965	34,861	0,104	35,255	35,13	0,125
6	2,4	34,388	34,309	0,079	34,809	34,694	0,115
8	3,2	34,593	34,537	0,056	34,35	34,248	0,102
10	4,0	33,986	33,959	0,027	34,682	34,589	0,093
12	4,7	34,244	34,24	0,004	34,218	34,138	0,08
14	5,5	33,604	33,634	-0,03	34,593	34,522	0,071
16	6,3	32,933	33,002	-0,069	34,105	34,048	0,057
18	7,1	33,205	33,301	-0,096	34,528	34,48	0,048
20	7,9	32,489	32,632	-0,143	34,024	33,992	0,032
22	8,7	32,809	32,981	-0,172	33,503	33,488	0,015
24	9,5	32,042	32,268	-0,226	33,981	33,975	0,006
26	10,3	32,417	32,678	-0,261	33,442	33,455	-0,013

Tabla 16: Comparación del voltaje que llega la cayería norte de Villa Clara para el conductor de 2000mm²

P carga	Q carga	Conductor 2000 mm ²					
		Circuito Simple			Circuito Doble		
		Caibarién-Santa María	Yaguajay-Santa María	Diferencia de Voltaje	Caibarién-Santa María	Yaguajay-Santa María	Diferencia de Voltaje
		Voltaje en el cayo	Voltaje en el cayo		Voltaje en el cayo	Voltaje en el cayo	
4	1,6	35,367	35,201	0,166	35,568	35,4	0,168
6	2,4	34,86	34,438	0,422	35,158	34,997	0,161
8	3,2	35,139	35,006	0,133	34,738	34,585	0,153
10	4,0	34,612	34,499	0,113	35,111	34,963	0,148
12	4,7	34,082	33,991	0,091	34,688	34,548	0,14
14	5,5	34,397	34,322	0,075	35,105	34,969	0,136
16	6,3	33,826	33,776	0,05	34,663	34,536	0,127
18	7,1	34,185	34,152	0,033	34,208	35,006	-0,798
20	7,9	33,587	33,583	0,004	34,675	34,563	0,112
22	8,7	33,999	34,012	-0,013	34,208	34,107	0,101
24	9,5	33,371	33,418	-0,047	34,731	34,634	0,097
26	10,3	32,711	32,795	-0,084	34,251	34,166	0,085

Como se observa en estas tablas, la diferencia entre las variantes con circuito doble y simple no es muy significativa en cuanto a los voltajes que llegan al Cayo.

3.5 Conexión a 110 kV desde Caibarién hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino o soterrado.

En esta variante se operará a un nivel de voltaje de 110 kV desde Caibarién hasta el Cayo Santa María mediante la tecnología de cable submarino o soterrado. Para la misma deben existir al menos dos líneas de 110 kV en tierra, una desde Remedios hasta Caibarién para suministrar alimentación proveniente de la subestación Santa Clara 110 kV y la otra línea sería desde Yaguajay hasta Caibarién para suministrar alimentación proveniente de la subestación Tuinicú 110 kV.

Para las simulaciones en el software PSX v3.2 se tomarán tres regímenes de operación de la CE Cayo Santa María; régimen de máxima, régimen de mínima, y régimen de mínima sin carga en el cayo, y se analizará para estas condiciones cómo se comporta el sistema cuando la alimentación es

proveniente solo de Tuinicú 110kV, y cuando es proveniente solo de Santa Clara 110 kV. El conductor tendrá un largo de 50 km. Las corridas se realizarán utilizando un simple y un doble circuito.

3.5.1 Simple Circuito

En la tabla siguiente (Tabla 17) se observan los resultados más significativos obtenidos en las corridas de flujos de carga realizadas utilizando un circuito simple desde Caibarién. En cada celda, se muestran en la parte superior los valores del voltaje en kV y en la parte inferior la transferencia de voltaje en MVA. Estos resultados se realizaron en tres condiciones:

- 1- Condiciones normales (se denomina condiciones normales cuando el Cayo Santa María está alimentado por la energía proveniente de Tuinicú y Santa Clara).
- 2- Alimentando Santa Clara (está condición es para conocer el comportamiento de la red de 110 kV que se ve involucrada en este proyecto cuando pierde el suministro proveniente de Tuinicú).
- 3- Alimentando Tuinicú (está condición es para conocer el comportamiento de la red de 110 kV que se ve involucrada en este proyecto cuando pierde el suministro proveniente de Santa Clara).

Tabla 17: Resultados más significativos obtenidos en las corridas de flujos de carga realizadas utilizando un circuito simple desde Caibarién.

Desde Caibarién al Cayo Santa María.									
Máxima	Santa Clara	Tuinicú	Camajuni	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	120,4 (64+j1)	120,0 (24+j1)	117,9 (63-j2)	116,9 (50-j9)	117,1 (29-j22)	117,2 (24+j3)	116,1 (28+j13)	13,8	16,30
Alimentando Santa Clara	119,0 (91+j17)	120,2 (0)	114,0 (88+j11)	110,7 (74-j0)	110,5 (52+j13)	108,9 (14+j7)	109,2 (28+j13)	12,9	18,20
Alimentando Tuinicú	120,4 (0)	120,0 (24+j1)	117,9 (51-j8)	116,9 (29-j22)	117,1 (10-j3)	117,2 (24-j3)	116,1 (28-j13)	13,8	16,30
Mínima	Santa Clara	Tuinicú	Camajuaní	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	120,3 (24-j13)	119,7 (21-j15)	120,7 (24-j12)	121,5 (19-j14)	121,8 (8-j20)	120,4 (20-j13)	121,9 (16+j9)	13,9	11,60
Alimentando Santa Clara	120,2 (45-j24)	118,6 (0)	121,0 (44-j25)	122,4 (39-j29)	122,9 (28-j29)	122,2 (7-j4)	123,0 (16+j9)	14,0	12,60
Alimentando Tuinicú	119,7 (0)	119,4 (47-j23)	120,6 (5+j2)	120,9 (15+j6)	121,2 (36-j29)	119,3 (44-j25)	121,2 (8+j4)	13,8	13,80
Sin Carga	Santa Clara	Tuinicú	Camajuaní	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	121,9 (15-j21)	121,5 (14-j19)	123,4 (15-j20)	125,3 (9-j23)	125,9 (1-j23)	123,7 (13-j28)	127,5 (0)	14,8	10,20
Alimentando Santa Clara	122,2 (29-j39)	120,1 (0)	125,1 (28-j40)	128,4 (23-j43)	129,3 (12-j49)	128,7 (7-j4)	131,0 (0)	15,2	11,06
Alimentando Tuinicú	121,3 (0)	123,2 (30-j43)	132,5 (5+j22)	132,8 (15+j6)	133,0 (20-j49)	128,3 (28-j44)	134,7 (0)	15,6	12,49

Si se desea realizar un análisis más amplio de esta variante se pueden consultar todos los resultados de las corridas de flujos de carga correspondientes en el Anexo VII.

3.5.2 Doble Circuito

En la tabla siguiente (Tabla 18) se observan los resultados más significativos obtenidos en las corridas de flujos de carga realizadas utilizando un circuito doble desde Caibarién.

Tabla 18: Resultados más significativos obtenidos en las corridas de flujos de carga realizadas utilizando un circuito doble desde Caibarién

Desde Caibarién al Cayo Santa María.									
Máxima	Santa Clara	Tuinicú	Camajuani	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	124,1 (67-j38)	125,2 (23-j22)	125,6 (65-j42)	128,5 (51-j51)	129,5 (30-j63)	126,8 (23-j20)	130,0 (28+J13)	15,6	17,90
Alimentando Santa Clara	124,1 (93-j54)	123,7 (0)	126,5 (89-j62)	130,6 (74-j75)	132,0 (52-j89)	130,7 (14+j7)	132,6 (28+j13)	15,9	19,80
Alimentando Tuinicú	122,1 (0)	122,6 (98-j39)	124,8 (12+j6)	125,7 (33+j16)	126,3 (72-j68)	121,9 (89-j53)	126,8 (28+j13)	15,2	29,80
Mínima	Santa Clara	Tuinicú	Camajuani	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	124,5 (26-j51)	124,7 (21-j39)	128,5 (25-j52)	133,0 (19-j56)	134,1 (9-j61)	129,8 (20-j39)	135,1 (16-j9)	15,4	15,60
Alimentando Santa Clara	125,7 (51-j95)	122,0 (0)	133,3 (48-j103)	141,7 (39-j113)	143,7 (29-j120)	143,2 (7+j4)	144,9 (16+j8)	16,6	20,00
Alimentando Tuinicú	123,7 (0)	130,0 (60- j111)	157,4 (5+j1)	157,6 (15+j4)	157,07 (37-j145)	145,3 (49- j130)	159,2 (16+j8)	18,3	30,50
Sin Carga	Santa Clara	Tuinicú	Camajuani	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	125,8 (18-j60)	126,3 (15-j44)	131,0 (17-j62)	136,6 (11-j66)	138,0 (0-j72)	132,9 (6-j48)	139,7 (0)	16,2	15,30
Alimentando Santa Clara	127,5 (33-j113)	123,2 (0)	137,1 (33-j121)	147,4 (24-j133)	149,8 (13-j140)	149,3 (7+j4)	151,6 (0)	17,6	20,30
Alimentando Tuinicú	124,9 (0)	133,3 (48-j136)	168,4 (5+j1)	168,5 (15+j4)	168,6 (21-j117)	153,5 (35-J159)	170,7 (0)	19,8	34,50

Si se desea realizar un análisis más amplio de esta variante se pueden consultar todos los resultados de las corridas de flujos de carga correspondientes en el Anexo VIII.

3.5.3 Comparación de los resultados obtenidos

A continuación se muestra en la figura 11 una comparación entre el circuito simple y el doble, en condiciones normales para carga máxima, considerando los niveles de voltaje en algunos lugares específicos de la red de 110 kV que se ven afectados con la conexión al SEN del sistema eléctrico del cayo Santa María.

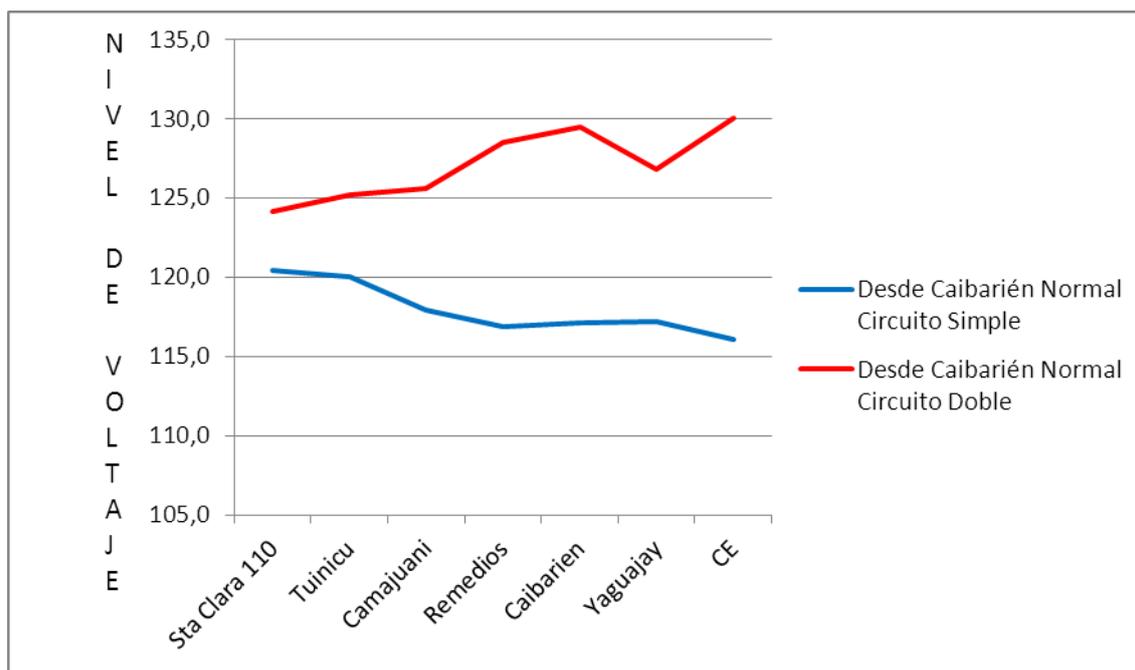


Figura 11: Comparación del voltaje que llega la cayería norte de Villa Clara en condiciones normales con carga máxima.

Como se aprecia en el gráfico anterior, al hacer una evaluación considerando los niveles de voltaje se observa que el circuito doble es más eficiente. Para tener más información de esta comparación con otros niveles de carga, remítase al Anexo XIV.

3.6 Conexión a 110 kV desde Yaguajay hasta el Cayo Santa María mediante un cable submarino.

En esta variante se operará a un nivel de voltaje de 110 kV desde Yaguajay hasta el cayo Santa María mediante la tecnología de cable submarino y de cable soterrado. Para la misma deben existir al menos dos líneas de 110 kV en tierra, una desde Remedios hasta Caibarién para suministrar alimentación proveniente de la subestación Santa Clara 110 kV y la otra línea sería desde Yaguajay hasta Caibarién para suministrar alimentación proveniente de la subestación Tuinicú 110 kV.

Para las simulaciones en el software PSX v3.2 se tomarán tres regímenes de operación de la CE Cayo Santamaría; régimen de máxima, régimen de mínima, y régimen de mínima sin carga en el cayo, y se analizará para estas condiciones cómo se comporta el sistema cuando la alimentación es proveniente solo de Tuinicú 110 kV, y cuando es proveniente solo de Santa

Clara 110 kV. La línea desde la salida de la costa de Yaguajay hasta la entrada a la costa de Cayo Santa María será submarina de unos 35 km, y la línea desde la entrada de la costa de Cayo Santa María a la CE Cayo Santa María será soterrada de unos 10 km. Las corridas se realizarán utilizando un simple y un doble circuito.

3.6.1 Simple Circuito

En la tabla siguiente (Tabla 19) se observan los resultados más significativos obtenidos en las corridas de flujos de carga realizadas utilizando un circuito simple desde Yaguajay.

Tabla 19: Resultados más significativos obtenidos en las corridas de flujos de carga realizadas utilizando un circuito simple desde Yaguajay.

Desde Yaguajay al Cayo Santa María.									
Máxima	Santa Clara	Tuinicú	Camajuaní	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	120,0 (59+j8)	119,9 (30-j2)	117,0 (58+j6)	115,3 (45-j1)	115,4 (24-j14)	117,2 (29-j1)	117,2 (28+j13)	14,0	16,90
Alimentando Santa Clara	118,0 (93+j29)	119,5 (0)	111,6 (90+j22)	107,0 (75+j10)	106,6 (54-j4)	107,5 (43-j119)	104,8 (28-j14)	12,4	20,21
Alimentando Tuinicú	120,0 (0)	119,9 (30-j2)	117,0 (46-j1)	115,3 (24-j14)	115,4 (13-j19)	117,2 (29-j1)	117,2 (28+j13)	14,0	16,82
Mínima	Santa Clara	Tuinicú	Camajuaní	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	123,9 (47-j12)	122,8 (2+j13)	123,3 (47-j12)	123,3 (41-j16)	123,5 (31-j21)	125,2 (2+j11)	127,1 (16+j9)	15,4	24,50
Alimentando Santa Clara	124,3 (46-j25)	121,6 (0)	125,2 (45-j26)	126,6 (40+j30)	127,1 (29-j35)	130,6 (24-j38)	132,8 (16+j9)	16,1	25,00
Alimentando Tuinicú	128,0 (0)	121,0 (46-j21)	118,0 (5-j2)	118,3 (15+j6)	18,6 (20+j9)	120,7 (44-j23)	124,4 (16+j9)	14,8	28,20
Sin Carga	Santa Clara	Tuinicú	Camajuaní	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	124,6 (42-j18)	123,9 (12+j19)	124,8 (41-j18)	125,6 (36-j21)	125,9 (26-j26)	128,5 (12+j17)	132,6 (0)	16,3	26,10
Alimentando Santa Clara	125,5 (30-j41)	121,8 (0)	128,4 (30-j42)	131,8 (24-j45)	132,7 (14-j51)	138,4 (8-j54)	142,9 (0)	17,6	27,30
Alimentando Tuinicú	123,7 (0)	123,7 (30-j38)	125,5 (5+j2)	125,8 (15+j6)	126,0 (20+j9)	127,9 (28-j38)	132,0 (0)	16,2	28,90

Si se desea realizar un análisis más amplio de esta variante se pueden consultar todos los resultados de las corridas de flujos de carga correspondientes en el Anexo IX.

3.6.2 Doble Circuito

En la tabla siguiente (Tabla 20) se observan los resultados más significativos obtenidos en las corridas de flujos de carga realizadas utilizando un circuito doble desde Yaguajay.

Tabla 20: Resultados más significativos obtenidos en las corridas de flujos de carga realizadas utilizando un circuito doble desde Yaguajay.

Desde Yaguajay al Cayo Santa María.									
Máxima	Santa Clara	Tuinicú	Camajuani	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	123,3 (61-j18)	125,9 (31-j35)	123,0 (60-j20)	123,9 (47-j28)	124,6 (25-j40)	129,3 (30-j88)	134,1 (14+j6)	16,1	19,80
Alimentando Santa Clara	123,8 (98-j50)	123,5 (0)	125,5 (94-j58)	129,1 (79-j72)	130,4 (57-j85)	139,0 (44-j97)	144,5 (14+j6)	17,4	25,10
Alimentando Tuinicú	121,4 (0)	120,3 (96-j23)	109,4 (12-j6)	110,5 (33+j18)	111,2 (44+j24)	116,7 (88-j36)	120,5 (14+j6)	14,4	27,80
Mínima	Santa Clara	Tuinicú	Camajuani	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	128,8 (54-j40)	130,4 (1+j50)	130,9 (50-j41)	133,5 (44-j46)	134,2 (34-j51)	139,1 (28-j55)	145,4 (8+j4)	17,7	28,70
Alimentando Santa Clara	132,6 (61-j112)	127,7 (0)	141,2 (57-j122)	150,5 (48-j134)	152,7 (37-j41)	165,9 (26-j155)	174,0 (8+j14)	21,2	38,00
Alimentando Tuinicú	124,9 (0)	132,3 (54-j97)	143,3 (5+j2)	143,6 (15+j5)	143,7 (20+j8)	145,2 (46-j110)	152,8 (8+j4)	18,5	36,20
Sin Carga	Santa Clara	Tuinicú	Camajuani	Remedios	Caibarién	Yaguajay	CE	Santa María	Pérdidas
Desde Caibarién Normal	129,8 (47-j46)	131,7 (11+j57)	132,6 (45-j48)	135,9 (39-j152)	136,8 (29-j58)	142,5 (23-j62)	150,4 (0)	18,5	31,30
Alimentando Santa Clara	134,2 (49-j132)	128,5 (0)	144,8 (44-j143)	156,1 (34-j157)	158,6 (22-j165)	170,4 (11-j182)	183,7 (0)	22,6	43,20
Alimentando Tuinicú	128,5 (0)	135,3 (40-j118)	150,7 (5+j1)	150,9 (15+j5)	151,1 (20+j7)	152,4 (30+j134)	160,9 (0)	19,8	39,60

Si se desea realizar un análisis más amplio de esta variante se pueden consultar todos los resultados de las corridas de flujos de carga correspondientes en el Anexo X.

3.6.3 Comparación de los resultados Obtenidos.

A continuación se muestra en la figura 12 una comparación entre el circuito simple y el doble, en condiciones normales para carga máxima, considerando los niveles de voltaje en algunos lugares específicos de la red de 110 kV que se ven afectados con la conexión al SEN del sistema eléctrico del cayo Santa María.

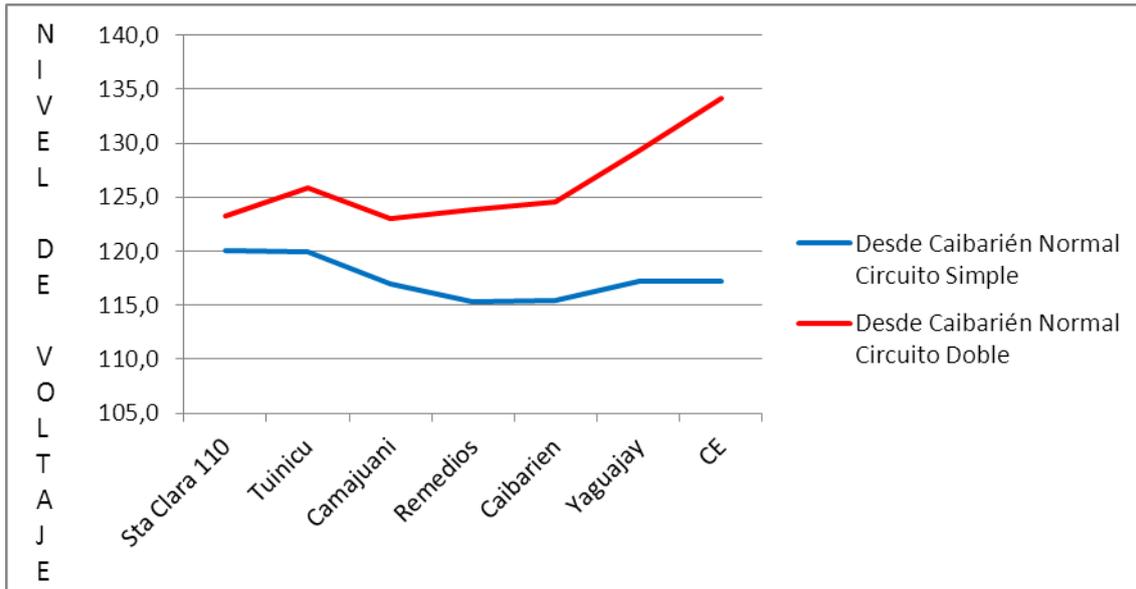


Figura 12: Comparación del voltaje que llega la cayería norte de Villa Clara en condiciones normales con carga máxima.

Como podemos apreciar en el gráfico anterior, al igual, que desde Caibarién el circuito doble es más eficiente en cuanto a niveles de voltajes. Para tener más información de esta comparación con otros niveles de carga, remítase al Anexo XV.

3.7 Análisis de los resultados obtenidos en el capítulo.

Luego de analizar todas las variantes estudiadas, sin lugar a dudas son superiores los parámetros de operación del circuito cuando el nivel de voltaje es de 110 kV en lugar de 34,5 kV. Si se comparan las variantes propuestas para este nivel de voltaje (110 kV), es decir, la conexión desde Caibarién y la conexión desde Yaguajay, obtenemos que en el caso de un circuito simple no hay diferencias notables entre una conexión y otra, con una ligera ventaja para la conexión desde Caibarién en el resto de los nodos analizados del sistema, aunque en el caso la variante desde Yaguajay es la que da un mayor voltaje como se muestra en la figura siguiente (Figura 13):

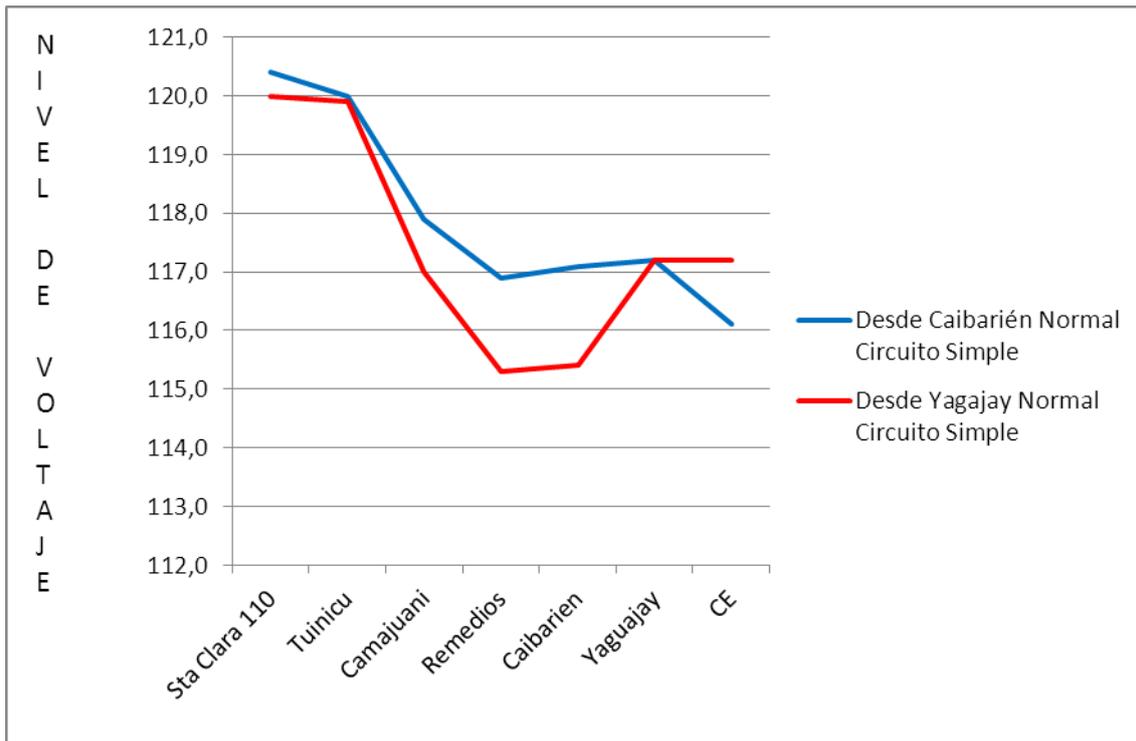


Figura 13: Comparación del voltaje que llega la cayería norte de Villa Clara en condiciones normales con carga máxima desde Yaguajay y desde Caibarién (Circuito Simple).

En el caso de la conexión mediante doble circuito a 110 kV desde Yaguajay y desde Caibarién, las diferencias, pese a ser mayores que en el caso de la configuración en circuito simple, aún continúan siendo insignificantes como se muestra en la figura siguiente (Figura 14):

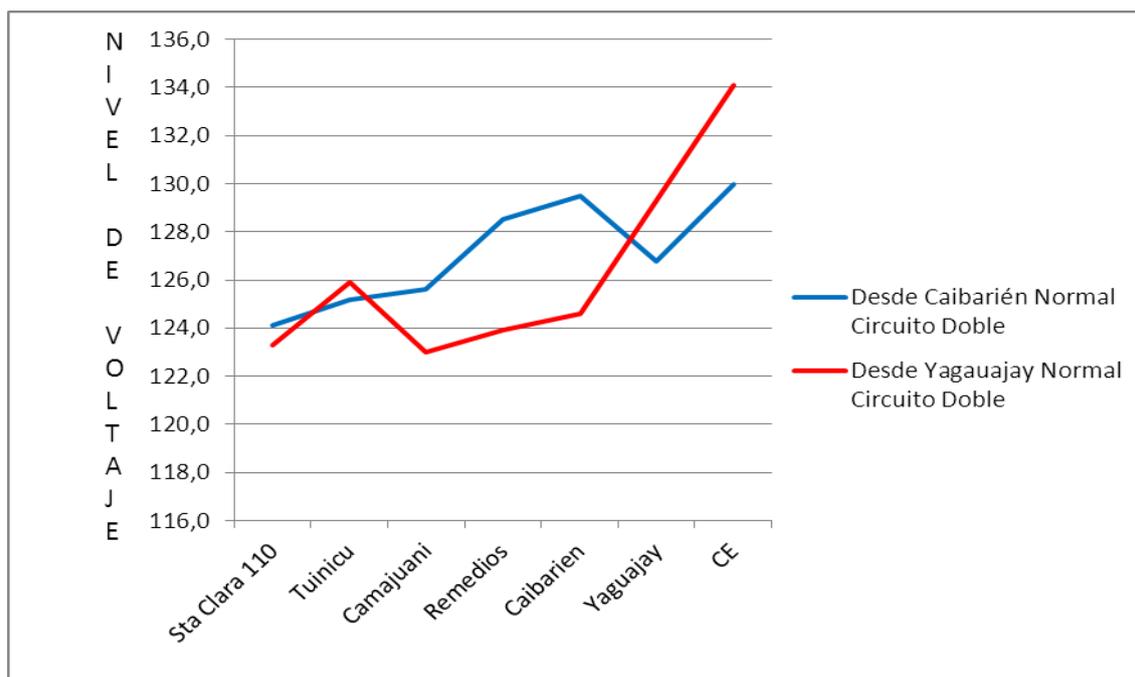


Figura 14: Comparación del voltaje que llega la cayería norte de Villa Clara en condiciones normales con carga máxima desde Yaguajay y desde Caibarién. (Circuito Doble).

Cabe señalar que todos los análisis abordados en este estudio han sido para encontrar la variante más conveniente desde un punto de vista técnico. A la hora de elegir la mejor variante habría que realizar un estudio similar a este pero desde el punto de vista económico, que garantice junto al análisis técnico una mejor selección de la variante óptima a utilizar. Este análisis económico no fue posible realizarlo en este momento puesto que la empresa extranjera que suministra el cable submarino solicitó una serie de datos para con ellos hacer una estimación del costo de la instalación de este cable, que no solo depende de la distancia del conductor y el nivel de voltaje al que operará, sino de múltiples factores entre los que se puede mencionar las características del fondo marino y su profundidad, la existencia de corrientes marinas y su velocidad, el tráfico marítimo por la zona y calado máximo de los barcos que circulan, la ecología marina de la zona y la influencia del cable eléctrico submarino, entre otros.

La empresa eléctrica de Villa Clara hizo un contrato con GEOCUBA para que realice un estudio de factibilidad ambiental que proporcione los datos que necesita la empresa suministradora del cable para definir el precio que tendrá el mismo. En estos momentos, el estudio que está realizando GEOCUBA se encuentra en su etapa final, y se espera entre los meses de julio y agosto

entregarle los datos a la empresa extranjera que suministrará el cable para que con ellos tengan los elementos necesarios para hacer su oferta.

CONCLUSIONES

- De las variantes abordadas, las que logran mejores parámetros de operación en el cayó y el resto del sistema son las que utilizan un nivel de voltaje en la transmisión de 110 kV, ya sea desde con alimentación proveniente desde Caibarién o desde Yaguajay.
- Las variantes que utilizan un nivel de voltaje en la transmisión de 34,5 kV no son aconsejables de utilizar principalmente por los grandes porcentos de pérdidas que producen.
- Observando el desarrollo actual de la tecnología de cables submarinos a nivel mundial, debería comenzar a considerarse más el empleo en Cuba de este tipo de enlaces tan duraderos y que proporcionan gran fiabilidad a los circuitos.
- Al analizar los proyectos de crecimiento y desarrollo del polo turístico Cayo Santa María, se hace evidente la necesidad de interconectar cuanto antes la cayería norte al sistema eléctrico nacional.

RECOMENDACIONES

- Presentar esta investigación al Departamento de Desarrollo de la Empresa Eléctrica de Villa Clara para que se tengan en cuenta las variantes estudiadas como vías de solución a la problemática existente en el sistema de generación aislado de Cayo Santa María
- En caso de que se utilice una de las variantes propuestas se sugiere seleccionar aquellas cuyo nivel de voltaje es 110 kV, ya sea desde Caibarién o desde Yaguajay, que son las que logran mejores parámetros de operación de la red.
- Realizar estudios similares con otros tipos de configuraciones del circuito que utilicen diferentes niveles de voltaje.
- Profundizar el estudio de las variantes abordadas desde el punto de vista económico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Martínez Avilés, S., Avid Pacheco, E. & Santos Arratia, R. A (2005). Historia del desarrollo de la electricidad y el magnetismo. 56 págs. Disponible en:
http://www.google.com.cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=12&ved=0CCsQFjABOAO&url=http%3A%2F%2Fwww.dcb.unam.mx%2Fusers%2Fjuanccv%2Fmateriales_archivos%2FHistoria_del_desarrollo_de_la_electricidad_y_el%255B1%255D.ppt&ei=PfoIU7bHOoioyAHRioCgAw&usg=AFQjCNFh1FWcqSc8U96gpMzcGwdSwS7HwA
- 2- Ignasi Frau, J. & Gutiérrez, J. (2005). Transporte de energía eléctrica en corriente continua. Endesa Distribución. No 361 p 2-14. Disponible en:
<http://www.cerien.upc.edu/jornades/jiie2005/ponencies/transporte%20de%20energia%20electronica%20en%20cc.pdf>
- 3- Becerra Santi, J. A. (2012). Cables de potencia AC en extra alta tensión. Memoria para optar al título de ingeniero civil electricista, Universidad de Chile.
- 4- NEXANS France S.A.S (2011). Enlaces subterráneos Alta Tensión. 65 págs. Disponible en: http://www.nexans.us/eservice/US-en_US/fileLibrary/Download_540243463/US/files/Spanish_HV%20Catalogue_1.pdf
- 5- Larragueta, N. (2009). Cableando las profundidades del mar. Entrelineas. 25 págs. Disponible en:
http://www.cablesm.fr/http_www.ree.es_sala_prensa_web_inc_fichero.aspx_ruta=revista_pdf&fichero=d9uxxwk12qt3.pdf
- 6- Drew, Stephen C. & Hopper, Alan G. (2009). Pesca y Cables Submarinos. Comité Internacional para la Protección de los Cables Submarinos. Segunda Edición. 61 págs. Disponible en:

http://www.google.com.cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0CF4QFjAI&url=http%3A%2F%2Fwww.iscpc.org%2Finformation%2FOpenly%2520Published%2520Members%2520Area%2520Items%2FI-CPC_Fishing%2520Booklet-Espa%25C3%25B1ol-Iss2.pdf&ei=Q8oIU_mGMeTlyAGCpYHADQ&usq=AFQjCNGC-5ySHgZSeBVCG9I5stkVCv6eLA&bvm=bv.61725948,d.aWc

- 7- Prieto Monterrubio, J. (2011). Interconexiones Eléctricas Submarinas. Red Eléctrica de España. 41 págs. Disponible en:

<http://www.csocial.ull.es/inic/download.php?idfichero=523?>

- 8- Ponce Araujo, R. (2003). Estudio de factibilidad técnica de la instalación de un cable submarino de potencia entre Margarita y Coche, Estado Nueva Esparta. Para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Metropolitana de Caracas.

- 9- Núñez Ramírez, F. H. (2013). Interconexión eléctrica por medio de cable submarino entre los sistemas eléctricos de República Dominicana y Puerto Rico. Universidad APEC 41 págs. Disponible en:

http://www.olade.org/sites/default/files/fier/2013/P5_Nu%C3%B1ez%20FR%20Dominicana_Interconexi%C3%B3n%20El%C3%A9ctrica%20por%20Cable%20Submarino%20SE%20RD-PR.pdf

- 10-CABEL. Interamericana de Cables Venezuela, S.A. (2012). Cables Submarinos. 12 págs. Disponible en:

http://www.interacables.com.ve/icv/productos/CABLES_SUBMARINOS.pdf

- 11-González Rodríguez, A. J. (2009). Estudio de la Demanda de Saturación de Energía Eléctrica de la Isla Margarita- Estado Nueva Esparta. Para optar por el título de Ingeniero Electricista. Universidad de Oriente Venezuela.

- 12- Zevallos León, S. H. (2008). Operación y Mantenimiento de una Red de Cables Submarinos. Para optar por el título de Ingeniero de las Telecomunicaciones. Universidad Católica de Lima. Perú.

13-Calvo Ub, A. (2003). Los Cables Submarinos: Una rama emergente de la ingeniería civil en el siglo XIX. Quaderns D´historia de L´enginyeria. Volumen V. 13 págs. Disponible en:

http://www.google.com.cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&ved=0CFkQFjAK&url=http%3A%2F%2Fwww.coit.es%2Fforo%2Fpublic%2Fficheros%2Fcables_submarinos_r_d3de0480.pdf&ei=0dAIU8_gMleMyAHK9IDgDQ&usg=AFQjCNGs1-eBpC5r7s4D7Asbh9J_jobLQQ&bvm=bv.61725948,d.aWc

14-Álvarez-Ude Herrero, S. (2010). Líneas y subestación de alta tensión en un parque eólico marino de 200 MW. Optando por el título de Ingeniero Industrial. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. España.

15-Restrepo, D. A. (2007). Revisión Técnica, modelación y simulación de Sistema VSC-HVDC. Universidad Pontificia Bolivariana. 84 págs. Disponible en:

<http://eav.upb.edu.co/banco/sites/default/files/files/02Capitulo2.pdf>

16-Caamaño de los Santos, E. A. (2013). Implementación Mediante Interconexiones de un Mercado de Compra y Venta de Energía Eléctrica entre la República Dominicana, Colombia y Puerto Rico. Para optar por el título de Máster en Regulación Económica de la Industria Eléctrica. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. España.

17-Cuesta Jiménez, D. (2011). Parque Eólico Offshore San Pedro Alcántara. Memoria. 445 págs. Disponible en:

http://oa.upm.es/15457/1/PFC_David_Cuesta_Jimenez_1.pdf

18-Peñaranda Bejarano, D. L. & Guevara Rodríguez, C. A. (2013). Impacto de las instalaciones HVDC sobre los sistemas de protección de la red de CA. Para optar por el título de Ingeniero Electricista. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali.

- 19-Galarza, M., Noboa, D. & Gallo, J. (2010). Proyecto de instalación subterráneas de media tensión. 10 págs. Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Guayaquil. Ecuador. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2549/1/5025.pdf>
- 20-Ayala Castro, H. (2004). Actualidad y perspectivas del turismo en el Caribe Insular. Retos Turísticos de la Universidad de Matanzas No. 1. 14 págs. Disponible en: <http://www.uh.cu/centros/cetur/publicaciones/ACTUALIDAD%20Y%20PERSPECTIVAS%20DEL%20TURISMO%20%20EN%20EL%20CARIBE%20INSULAR.pdf>
- 21-Camellón Pérez, A. (2012). El Turismo, fenómeno social en ascenso. Evolución, concepciones y singularidades en Cuba. Revista de Investigaciones en Turismo y Desarrollo Local. No. 12. 11 págs. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/turydes/12/cpco.pdf>
- 22-Lima Díaz, J. (2008). Impacto del Turismo Internacional en la economía cubana. Monografía de graduación Lic. En Turismo.
- 23-ABB. (2011). Cables para transmisión HVDC. 1 pág. Disponible en: <http://jmirez.wordpress.com/2011/06/12/j271-acerca-de-los-cables-submarinos-para-transmision-hvdc-de-abb/>

ANEXOS

Anexo I.

Imagen de un barco Inglés que tendió con éxito el primer cable de comunicación intercontinental en 1866.



Anexo II.

Imagen de los trabajos de Instalación de un cable submarino en los años 50 del siglo XX.



Anexo III.

Resultados obtenidos de las diferentes corridas en el PSX para Circuito Simple Caibarién-Santa María a 34,5 kV.

Resultados para conductor de 300 mm² de diámetro.

Conductor 300mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,631	34,406	0,65%	-2	0,2	4,8
6	2,4	34,288	33,64	1,89%	-2	0,3	3,2
8	3,2	34,696	33,654	3,00%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,331	32,827	4,38%	-4	0,9	8,3
12	4,7	34,769	32,878	5,44%	-6,0	1,2	9,1
14	5,5	34,375	31,975	6,98%	-6,0	1,8	11,4
16	6,3	34,842	32,019	8,10%	-8,0	2,3	12,6
18	7,1	34,413	31,02	9,86%	-8,0	3,2	15,1
20	7,9	34,911	31,083	10,97%	-10,0	3,9	16,3
22	8,7	34,432	29,944	13,03%	-10,0	5,2	19,1
24	9,5	34,965	30,026	14,13%	-12,0	6,2	20,5
26	10,3	34,414	28,689	16,64%	-12,0	8,0	23,5

Resultados para conductor de 400 mm² de diámetro.

Conductor 400mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,639	34,55	0,26%	-2	0,2	4,8
6	2,4	34,299	33,844	1,33%	-2	0,3	4,8
8	3,2	34,712	33,919	2,28%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,352	33,163	3,46%	-4	0,8	7,4
12	4,7	34,798	33,282	4,36%	-6	1,1	8,4
14	5,5	34,416	32,467	5,66%	-6	1,6	10,3
16	6,3	34,013	31,6	7,09%	-6	2,2	12,1
18	7,1	34,484	31,702	8,07%	-8	2,7	13,0
20	7,9	34,048	30,746	9,70%	-8	3,6	15,3
22	8,7	34,555	30,876	10,65%	-10	4,4	16,7
24	9,5	34,071	29,793	12,56%	-10	5,7	19,2
26	10,3	34,618	29,954	13,47%	-12	6,6	20,2

Resultados para conductor de 500 mm² de diámetro.

Conductor 500mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,649	34,677	-0,08%	-2	0,2	4,8
6	2,4	34,31	34,014	0,86%	-2	0,3	4,8
8	3,2	34,726	34,134	1,70%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,372	33,43	2,74%	-4	0,7	6,5
12	4,7	34,822	33,598	3,52%	-6	1	7,7
14	5,5	34,449	32,846	4,65%	-6	1,4	9,1
16	6,3	34,057	32,05	5,89%	-6	2	11,1
18	7,1	34,537	32,213	6,73%	-8	2,5	12,2
20	7,9	34,118	31,347	8,12%	-8	3,2	13,8
22	8,7	34,639	31,548	8,92%	-10	3,9	15,1
24	9,5	34,184	30,59	10,51%	-10	5	17,2
26	10,3	34,752	30,84	11,26%	-12	5,7	18,0

Resultados para conductor de 630 mm² de diámetro.

Conductor 630mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,661	34,841	-0,52%	-2	0,3	7,0
6	2,4	34,324	34,231	0,27%	-2	0,3	4,8
8	3,2	34,744	34,404	0,98%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,395	33,762	1,84%	-4	0,7	6,5
12	4,7	34,852	33,988	2,48%	-6	0,9	7,0
14	5,5	34,488	33,307	3,42%	-6	1,3	8,5
16	6,3	34,109	32,593	4,44%	-6	1,7	9,6
18	7,1	34,601	32,824	5,14%	-8	2,1	10,4
20	7,9	34,2	32,055	6,27%	-8	2,8	12,3
22	8,7	34,736	32,332	6,92%	-10	3,3	13,0
24	9,5	34,312	31,501	8,19%	-10	4,2	14,9
26	10,3	34,897	31,831	8,79%	-12	4,8	15,6

Resultados para conductor de 800 mm² de diámetro.

Conductor 800mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,67	34,965	-0,85%	-2	0,3	7,0
6	2,4	34,337	34,388	-0,15%	-2	0,4	6,3
8	3,2	34,759	34,593	0,48%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,414	33,986	1,24%	-4	0,7	6,5
12	4,7	34,874	34,244	1,81%	-6	0,9	7,0
14	5,5	34,515	33,604	2,64%	-6	1,2	7,9
16	6,3	34,143	32,933	3,54%	-6	1,6	9,1
18	7,1	34,641	33,205	4,15%	-8	1,9	9,5
20	7,9	34,251	32,489	5,14%	-8	2,5	11,1
22	8,7	34,795	32,809	5,71%	-10	3	12,0
24	9,5	34,385	32,042	6,81%	-10	3,7	13,4
26	10,3	34,98	32,417	7,33%	-12	4,3	14,2

Resultados para conductor de 1000 mm² de diámetro.

Conductor 1000mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,678	35,047	-1,06%	-2	0,4	9,1
6	2,4	34,346	34,495	-0,43%	-2	0,4	6,3
8	3,2	34,77	34,725	0,13%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,427	34,145	0,82%	-4	0,7	6,5
12	4,7	34,074	33,562	1,50%	-4	0,9	7,0
14	5,5	34,535	33,821	2,07%	-6	1,1	7,3
16	6,3	34,167	33,186	2,87%	-6	1,5	8,6
18	7,1	34,67	33,487	3,41%	-8	1,8	9,1
20	7,9	34,287	32,814	4,30%	-8	2,3	10,3
22	8,7	34,836	33,165	4,80%	-10	2,8	11,3
24	9,5	34,436	32,449	5,77%	-10	3,5	12,7
26	10,3	35,038	32,859	6,22%	-12	4	13,3

Resultados para conductor de 1200 mm² de diámetro.

Conductor 1200mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,694	35,197	-1,45%	-2	0,5	11,1
6	2,4	34,363	34,661	-0,87%	-2	0,5	7,7
8	3,2	34,789	34,91	-0,35%	-4	0,6	7,0
10	4,0	34,449	34,349	0,29%	-4	0,7	6,5
12	4,7	34,099	33,785	0,92%	-4	0,9	7,0
14	5,5	34,562	34,065	1,44%	-6	1,2	7,9
16	6,3	34,199	33,454	2,18%	-6	1,5	8,6
18	7,1	34,705	33,777	2,67%	-8	1,8	9,1
20	7,9	34,328	33,133	3,48%	-8	2,2	9,9
22	8,7	34,882	33,507	3,94%	-10	2,6	10,6
24	9,5	34,49	32,826	4,82%	-10	3,3	12,1
26	10,3	34,079	32,104	5,80%	-10	4	13,3

Resultados para conductor de 1600 mm² de diámetro.

Conductor 1600mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,708	35,348	-1,84%	-2	0,6	13,0
6	2,4	34,379	34,832	-1,32%	-2	0,6	9,1
8	3,2	34,807	35,103	-0,85%	-4	0,7	8,0
10	4,0	34,469	34,565	-0,28%	-4	0,8	7,4
12	4,7	34,123	34,024	0,29%	-4	1	7,7
14	5,5	34,589	34,329	0,75%	-6	1,2	7,9
16	6,3	34,231	33,745	1,42%	-6	1,5	8,6
18	7,1	34,741	34,095	1,86%	-8	1,7	8,6
20	7,9	34,371	33,483	2,58%	-8	2,1	9,5
22	8,7	34,929	33,884	2,99%	-10	2,5	10,2
24	9,5	34,546	33,24	3,78%	-10	3,1	11,4
26	10,3	35,158	33,702	4,14%	-12	3,5	11,9

Resultados para conductor de 2000 mm² de diámetro.

Conductor 2000mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,709	35,367	-1,90%	-2	0,6	13,0
6	2,4	34,38	34,86	-1,40%	-2	0,6	9,1
8	3,2	34,809	35,139	-0,95%	-4	0,7	8,0
10	4,0	34,472	34,612	-0,41%	-4	0,8	7,4
12	4,7	34,126	34,082	0,13%	-4	1	7,7
14	5,5	34,594	34,397	0,57%	-6	1,2	7,9
16	6,3	34,237	33,826	1,20%	-6	1,4	8,0
18	7,1	34,749	34,185	1,62%	-8	1,7	8,6
20	7,9	34,381	33,587	2,31%	-8	2,1	9,5
22	8,7	34,941	33,999	2,70%	-10	2,4	9,8
24	9,5	34,561	33,371	3,44%	-10	3	11,1
26	10,3	34,186	32,711	4,31%	-10	3,6	12,2

Anexo IV.

Resultados obtenidos de las diferentes corridas en el PSX para Circuito Doble Caibarién-Santa María a 34,5 kV.

Resultados para conductor de 300 mm² de diámetro.

Conductor 300mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,696	34,918	-0,64%	-2	0,57	12,5
6	2,4	34,361	34,325	0,10%	-2	0,6	9,1
8	3,2	34,019	33,77	0,73%	-2	0,7	8,0
10	4,0	34,44	34,006	1,26%	-4	0,9	8,3
12	4,7	34,085	33,436	1,90%	-4	1,1	8,4
14	5,5	34,543	33,711	2,41%	-6	1,4	9,1
16	6,3	34,171	33,102	3,13%	-6	1,8	10,1
18	7,1	34,669	33,422	3,60%	-8	2,2	10,9
20	7,9	34,28	32,782	4,37%	-8	2,7	11,9
22	8,7	34,825	33,153	4,80%	-10	3,2	12,7
24	9,5	34,416	32,478	5,63%	-10	4	14,3
26	10,3	35,014	32,911	6,01%	-12	4,5	14,8

Resultados para conductor de 400 mm² de diámetro.

Conductor 400mm2 Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,702	34,954	-0,73%	-2	0,67	14,3
6	2,4	34,372	34,445	-0,21%	-2	0,7	10,4
8	3,2	34,798	34,714	0,24%	-4	0,8	9,1
10	4,0	34,456	34,186	0,78%	-4	0,9	8,3
12	4,7	34,921	34,506	1,19%	-6	1,1	8,4
14	5,5	34,567	33,956	1,77%	-6	1,4	9,1
16	6,3	34,201	33,387	2,38%	-6	1,7	9,6
18	7,1	34,705	33,739	2,78%	-8	2	10,0
20	7,9	34,325	33,144	3,44%	-8	2,5	11,1
22	8,7	34,876	33,548	3,81%	-10	3	12,0
24	9,5	34,48	32,926	4,51%	-10	3,6	13,0
26	10,3	35,084	33,392	4,82%	-12	4,1	13,6

Resultados para conductor de 500 mm² de diámetro.

Conductor 500mm2 Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,713	35,041	-0,94%	-2	0,8	16,7
6	2,4	34,384	34,553	-0,49%	-2	0,8	11,8
8	3,2	34,812	34,844	-0,09%	-4	0,9	10,1
10	4,0	34,473	34,339	0,39%	-4	1	9,1
12	4,7	34,94	34,681	0,74%	-6	1,2	9,1
14	5,5	34,59	34,158	1,25%	-6	1,4	9,1
16	6,3	34,229	33,617	1,79%	-6	1,7	9,6
18	7,1	34,737	33,993	2,14%	-8	2	10,0
20	7,9	34,363	33,43	2,72%	-8	2,5	11,1
22	8,7	34,919	33,86	3,03%	-10	2,8	11,3
24	9,5	34,532	33,274	3,64%	-10	3,4	12,4
26	10,3	34,128	32,663	4,29%	-10	4,1	13,6

Resultados para conductor de 630 mm² de diámetro.

Conductor 630mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,725	35,158	-1,25%	-2	1	20,0
6	2,4	34,397	34,695	-0,87%	-2	1	14,3
8	3,2	34,062	34,22	-0,46%	-2	1	11,1
10	4,0	34,492	34,536	-0,13%	-4	1,1	9,9
12	4,7	34,147	34,055	0,27%	-4	1,3	9,8
14	5,5	34,617	34,413	0,59%	-6	1,4	9,1
16	6,3	35,13	34,819	0,89%	-8	1,7	9,6
18	7,1	34,775	34,311	1,33%	-8	2	10,0
20	7,9	34,408	33,785	1,81%	-10	2,4	10,7
22	8,7	34,97	34,245	2,07%	-10	2,7	10,9
24	9,5	34,593	33,701	2,58%	-12	3,2	11,8
26	10,3	34,202	33,135	3,12%	-12	3,8	12,8

Resultados para conductor de 800 mm² de diámetro.

Conductor 800mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,734	35,255	-1,50%	-2	1,2	23,1
6	2,4	34,409	34,809	-1,16%	-2	1,2	16,7
8	3,2	34,076	34,35	-0,80%	-2	1,2	13,0
10	4,0	34,507	34,682	-0,51%	-4	1,3	11,5
12	4,7	34,166	34,218	-0,15%	-4	1,4	10,4
14	5,5	34,638	34,593	0,13%	-6	1,6	10,3
16	6,3	34,286	34,105	0,53%	-6	1,8	10,1
18	7,1	34,803	34,528	0,79%	-8	2,1	10,4
20	7,9	34,441	34,024	1,21%	-8	2,4	10,7
22	8,7	34,068	33,503	1,66%	-8	2,8	11,3
24	9,5	34,636	33,981	1,89%	-10	3,2	11,8
26	10,3	34,252	33,442	2,36%	-12	3,7	12,5

Resultados para conductor de 1000 mm² de diámetro.

Conductor 1000mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,74	35,313	-1,65%	-2	1,4	25,9
6	2,4	34,416	34,879	-1,35%	-2	1,4	18,9
8	3,2	34,084	34,433	-1,02%	-2	1,4	14,9
10	4,0	34,518	34,778	-0,75%	-4	1,4	12,3
12	4,7	34,187	34,328	-0,41%	-4	1,5	11,1
14	5,5	34,652	34,716	-0,18%	-6	1,7	10,8
16	6,3	34,303	34,244	0,17%	-6	1,9	10,6
18	7,1	34,822	34,68	0,41%	-8	2,1	10,4
20	7,9	34,464	34,193	0,79%	-8	2,4	10,7
22	8,7	35,032	34,684	0,99%	-10	2,7	10,9
24	9,5	34,665	34,182	1,39%	-10	3,2	11,8
26	10,3	34,287	33,663	1,82%	-10	3,7	12,5

Resultados para conductor de 1200 mm² de diámetro.

Conductor 1200mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,747	35,439	-1,99%	-2	2	33,3
6	2,4	34,425	35,014	-1,71%	-2	1,9	24,1
8	3,2	34,096	34,578	-1,41%	-2	1,8	18,4
10	4,0	33,758	34,129	-1,10%	-2	1,8	15,3
12	4,7	34,195	34,493	-0,87%	-4	2	14,3
14	5,5	33,849	34,032	-0,54%	-4	2,1	13,0
16	6,3	34,326	34,432	-0,31%	-6	2,3	12,6
18	7,1	34,848	34,88	-0,09%	-8	2,5	12,2
20	7,9	34,494	34,406	0,26%	-8	2,7	11,9
22	8,7	34,13	33,916	0,63%	-8	3,1	12,4
24	9,5	34,704	34,421	0,82%	-10	3,4	12,4
26	10,3	34,331	33,917	1,21%	-10	3,8	12,8

Resultados para conductor de 1600 mm² de diámetro.

Conductor 1600mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,747	35,558	-2,33%	-2	2,6	39,4
6	2,4	34,428	35,143	-2,08%	-2	2,5	29,4
8	3,2	34,101	34,718	-1,81%	-2	2,4	23,1
10	4,0	34,54	35,087	-1,58%	-4	2,5	20,0
12	4,7	34,205	34,659	-1,33%	-4	2,5	17,2
14	5,5	34,685	35,071	-1,11%	-6	2,6	15,7
16	6,3	34,343	34,624	-0,82%	-6	2,7	14,4
18	7,1	33,992	34,163	-0,50%	-6	2,9	13,9
20	7,9	34,519	34,625	-0,31%	-8	3,1	13,4
22	8,7	34,16	34,152	0,02%	-8	3,4	13,4
24	9,5	34,737	34,67	0,19%	-10	3,7	13,4
26	10,3	34,87	34,183	1,97%	-10	4,1	13,6

Resultados para conductor de 2000 mm² de diámetro.

Conductor 2000mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,749	35,568	-2,36%	-2	2,6	39,4
6	2,4	34,43	35,158	-2,11%	-2	2,5	29,4
8	3,2	34,103	34,738	-1,86%	-2	2,4	23,1
10	4,0	34,542	35,111	-1,65%	-4	2,5	20,0
12	4,7	34,208	34,688	-1,40%	-4	2,5	17,2
14	5,5	34,688	35,105	-1,20%	-6	2,6	15,7
16	6,3	34,347	34,663	-0,92%	-6	2,7	14,4
18	7,1	33,997	34,208	-0,62%	-6	2,8	13,5
20	7,9	34,524	34,675	-0,44%	-8	3,1	13,4
22	8,7	34,166	34,208	-0,12%	-8	3,3	13,0
24	9,5	34,744	34,731	0,04%	-10	3,6	13,0
26	10,3	34,379	34,251	0,37%	-10	4	13,3

Anexo V.

Resultados obtenidos de las diferentes corridas en el PSX para Circuito Simple Yaguajay-Santa María a 34,5 kV.

Resultados para conductor de 300 mm² de diámetro.

Conductor 300mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,628	34,38	0,72%	-2	0,2	4,8
6	2,4	34,283	33,655	1,83%	-2	0,3	3,2
8	3,2	34,693	33,712	2,83%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,330	32,941	4,05%	-4	0,8	7,4
12	4,7	34,771	33,040	4,98%	-6,0	1,2	9,1
14	5,5	34,383	32,206	6,33%	-6,0	1,7	10,8
16	6,3	34,855	32,309	7,30%	-8,0	2,2	12,1
18	7,1	34,437	31,397	8,83%	-8,0	3,0	14,3
20	7,9	34,944	31,528	9,78%	-10,0	3,7	15,6
22	8,7	34,485	30,513	11,52%	-10,0	4,8	17,9
24	9,5	35,032	30,679	12,43%	-12,0	5,7	19,2
26	10,3	34,520	29,530	14,46%	-12,0	7,3	21,9

Resultados para conductor de 400 mm² de diámetro.

Conductor 400mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,633	34,5	0,38%	-2	0,19	4,5
6	2,4	34,293	33,835	1,34%	-2	0,3	4,8
8	3,2	34,707	33,946	2,19%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,349	33,238	3,23%	-4	0,7	6,5
12	4,7	34,797	33,396	4,03%	-6	1,1	8,4
14	5,5	34,42	32,639	5,17%	-6	1,5	9,7
16	6,3	34,901	32,809	5,99%	-8	1,9	10,6
18	7,1	34,498	31,989	7,27%	-8	2,6	12,6
20	7,9	34,073	31,116	8,68%	-8	3,5	14,9
22	8,7	34,588	31,306	9,49%	-10	4,2	16,0
24	9,5	34,123	30,337	11,10%	-10	5,3	18,1
26	10,3	34,683	30,572	11,85%	-12	6,2	19,3

Resultados para conductor de 500 mm² de diámetro.

Conductor 500mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							

P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,643	34,613	0,09%	-2	0,2	4,8
6	2,4	34,304	33,984	0,93%	-2	0,3	4,8
8	3,2	34,72	34,136	1,68%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,367	33,473	2,60%	-4	0,7	6,5
12	4,7	34,819	33,674	3,29%	-6	1	7,7
14	5,5	34,449	32,971	4,29%	-6	1,4	9,1
16	6,3	34,601	32,229	6,86%	-6	1,9	10,6
18	7,1	34,545	32,436	6,11%	-8	2,4	11,8
20	7,9	34,134	31,637	7,32%	-8	3,1	13,4
22	8,7	34,66	31,886	8,00%	-10	3,7	14,4
24	9,5	34,22	31,019	9,35%	-10	4,7	16,4
26	10,3	34,794	31,319	9,99%	-12	5,4	17,2

Resultados para conductor de 630 mm² de diámetro.

Conductor 630mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,651	34,751	-0,29%	-2	0,2	4,8
6	2,4	34,316	34,172	0,42%	-2	0,3	4,8
8	3,2	34,736	34,372	1,05%	-4	0,4	4,8
10	4,0	34,388	33,764	1,81%	-4	0,6	5,7
12	4,7	34,846	34,015	2,38%	-6	0,9	7,0
14	5,5	34,484	33,374	3,22%	-6	1,2	7,9
16	6,3	34,107	32,703	4,12%	-6	1,7	9,6
18	7,1	34,601	32,969	4,72%	-8	2,1	10,4
20	7,9	34,206	32,253	5,71%	-8	2,7	11,9
22	8,7	34,746	32,568	6,27%	-10	3,2	12,7
24	9,5	34,328	31,8	7,36%	-10	4	14,3
26	10,3	34,918	32,169	7,87%	-12	4,6	15,0

Resultados para conductor de 800 mm² de diámetro.

Conductor 800mm² Cobre
Flujos realizados con distintos estados de Carga

P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,662	34,861	-0,57%	-2	0,3	7,0
6	2,4	34,328	34,309	0,06%	-2	0,3	4,8
8	3,2	34,75	34,537	0,61%	-4	0,4	4,8
10	4,0	34,405	33,959	1,30%	-4	0,6	5,7
12	4,7	34,866	34,24	1,80%	-6	0,8	6,3
14	5,5	34,509	33,634	2,54%	-6	1,1	7,3
16	6,3	34,138	33,002	3,33%	-6	1,5	8,6
18	7,1	34,638	33,301	3,86%	-8	1,9	9,5
20	7,9	34,252	32,632	4,73%	-8	2,5	11,1
22	8,7	34,798	32,981	5,22%	-10	2,9	11,6
24	9,5	34,393	32,268	6,18%	-10	3,6	13,0
26	10,3	34,992	32,678	6,61%	-12	4,2	13,9

Resultados para conductor de 1000 mm² de diámetro.

Conductor 1000mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,669	34,931	-0,76%	-2	0,3	7,0
6	2,4	34,337	34,402	-0,19%	-2	0,3	4,8
8	3,2	34,76	34,651	0,31%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,418	34,098	0,93%	-4	0,6	5,7
12	4,7	34,066	33,542	1,54%	-4	0,8	6,3
14	5,5	34,526	33,824	2,03%	-6	1,1	7,3
16	6,3	34,16	33,222	2,75%	-6	1,5	8,6
18	7,1	34,664	33,548	3,22%	-8	1,8	9,1
20	7,9	34,284	32,914	4,00%	-8	2,3	10,3
22	8,7	34,834	33,29	4,43%	-10	2,7	10,9
24	9,5	34,439	32,622	5,28%	-10	3,4	12,4
26	10,3	34,025	31,914	6,20%	-10	4,2	13,9

Resultados para conductor de 1200 mm² de diámetro.

Conductor 1200mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							

P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,684	35,056	-1,07%	-2	0,4	9,1
6	2,4	34,353	34,541	-0,55%	-2	0,4	6,3
8	3,2	34,779	34,807	-0,08%	-4	0,5	5,9
10	4,0	34,438	34,271	0,48%	-4	0,7	6,5
12	4,7	34,089	33,732	1,05%	-4	0,9	7,0
14	5,5	34,552	34,032	1,50%	-6	1,1	7,3
16	6,3	34,19	33,452	2,16%	-6	1,4	8,0
18	7,1	34,696	33,796	2,59%	-8	1,7	8,6
20	7,9	34,321	33,186	3,31%	-8	2,2	9,9
22	8,7	34,875	33,583	3,70%	-10	2,6	10,6
24	9,5	34,486	32,942	4,48%	-10	3,2	11,8
26	10,3	34,08	32,267	5,32%	-10	4	13,3

Resultados para conductor de 1600 mm² de diámetro.

Conductor 1600mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,698	35,184	-1,40%	-2	0,5	11,1
6	2,4	34,369	34,688	-0,93%	-2	0,5	7,7
8	3,2	34,796	34,973	-0,51%	-4	0,6	7,0
10	4,0	34,458	34,457	0,00%	-4	0,7	6,5
12	4,7	34,111	33,939	0,50%	-4	0,9	7,0
14	5,5	34,578	34,261	0,92%	-6	1,1	7,3
16	6,3	34,219	33,705	1,50%	-6	1,4	8,0
18	7,1	34,73	34,072	1,89%	-8	1,7	8,6
20	7,9	34,36	33,491	2,53%	-8	2,1	9,5
22	8,7	34,919	33,91	2,89%	-10	2,5	10,2
24	9,5	34,537	33,302	3,58%	-10	3	11,1
26	10,3	34,141	32,665	4,32%	-10	3,7	12,5

Resultados para conductor de 2000 mm² de diámetro.

Conductor 2000mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							

P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,699	35,201	-1,45%	-2	0,5	11,1
6	2,4	34,352	34,438	-0,25%	-2	0,4	6,3
8	3,2	34,798	35,006	-0,60%	-4	0,6	7,0
10	4,0	34,46	34,499	-0,11%	-4	0,7	6,5
12	4,7	34,114	33,991	0,36%	-4	0,9	7,0
14	5,5	34,582	34,322	0,75%	-6	1,1	7,3
16	6,3	34,225	33,776	1,31%	-6	1,4	8,0
18	7,1	34,737	34,152	1,68%	-8	1,6	8,2
20	7,9	34,369	33,583	2,29%	-8	2	9,1
22	8,7	34,93	34,012	2,63%	-10	2,4	9,8
24	9,5	34,551	33,418	3,28%	-10	2,9	10,8
26	10,3	34,158	32,795	3,99%	-10	3,6	12,2

Anexo VI.

Resultados obtenidos de las diferentes corridas en el PSX para Circuito Simple Yaguajay-Santa María a 34,5 kV.

Resultados para conductor de 300 mm² de diámetro.

Conductor 300mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,685	34,788	-0,30%	-2	0,5	11,1
6	2,4	34,553	34,271	0,82%	-2	0,5	7,7
8	3,2	34,776	34,53	0,71%	-4	0,6	7,0
10	4,0	34,432	33,994	1,27%	-4	0,8	7,4
12	4,7	34,893	34,302	1,69%	-6	1	7,7
14	5,5	34,536	33,743	2,30%	-6	1,3	8,5
16	6,3	34,165	33,163	2,93%	-6	1,7	9,6
18	7,1	34,666	33,503	3,35%	-8	2,1	10,4
20	7,9	34,28	32,896	4,04%	-8	2,6	11,5
22	8,7	34,826	33,288	4,42%	-10	3,1	12,4
24	9,5	34,423	32,653	5,14%	-10	3,8	13,7
26	10,3	35,023	33,105	5,48%	-12	4,4	14,5

Resultados para conductor de 400 mm² de diámetro.

Conductor 400mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							

P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,698	34,913	-0,62%	-2	0,6	13,0
6	2,4	34,368	34,417	-0,14%	-2	0,6	9,1
8	3,2	34,794	34,697	0,28%	-4	0,7	8,0
10	4,0	34,452	34,182	0,78%	-4	0,9	8,3
12	4,7	34,917	34,512	1,16%	-6	1	7,7
14	5,5	34,564	33,977	1,70%	-6	1,3	8,5
16	6,3	34,199	33,424	2,27%	-6	1,7	9,6
18	7,1	34,704	33,787	2,64%	-8	2	10,0
20	7,9	34,325	33,21	3,25%	-8	2,5	11,1
22	8,7	34,877	33,627	3,58%	-10	2,9	11,6
24	9,5	34,484	33,025	4,23%	-10	3,6	13,0
26	10,3	35,089	33,503	4,52%	-12	4,1	13,6

Resultados para conductor de 500 mm² de diámetro.

Conductor 500mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,704	34,943	-0,69%	-2	0,6	13,0
6	2,4	34,375	34,472	-0,28%	-2	0,7	10,4
8	3,2	34,802	34,776	0,07%	-4	0,7	8,0
10	4,0	34,463	34,289	0,50%	-4	0,9	8,3
12	4,7	34,115	33,796	0,94%	-4	1,1	8,4
14	5,5	34,58	34,14	1,27%	-6	1,3	8,5
16	6,3	34,22	33,619	1,76%	-6	1,6	9,1
18	7,1	34,728	34,009	2,07%	-8	1,9	9,5
20	7,9	34,355	33,469	2,58%	-8	2,4	10,7
22	8,7	34,912	33,913	2,86%	-10	2,7	10,9
24	9,5	34,527	33,353	3,40%	-10	3,3	12,1
26	10,3	34,126	32,77	3,97%	-10	4	13,3

Resultados para conductor de 630 mm² de diámetro.

Conductor 630mm² Cobre
--

Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,716	35,043	-0,94%	-2	0,8	16,7
6	2,4	34,389	34,595	-0,60%	-2	0,8	11,8
8	3,2	34,052	34,134	-0,24%	-2	0,8	9,1
10	4,0	34,484	34,464	0,06%	-4	0,9	8,3
12	4,7	34,137	33,994	0,42%	-4	1,1	8,4
14	5,5	34,606	34,363	0,70%	-6	1,3	8,5
16	6,3	34,25	33,872	1,10%	-6	1,6	9,1
18	7,1	34,763	34,288	1,37%	-8	1,9	9,5
20	7,9	34,397	33,781	1,79%	-8	2,3	10,3
22	8,7	34,959	34,251	2,03%	-10	2,6	10,6
24	9,5	34,583	33,728	2,47%	-10	3,1	11,4
26	10,3	34,193	33,185	2,95%	-10	3,7	12,5

Resultados para conductor de 800 mm² de diámetro.

Conductor 800mm2 Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,728	35,13	-1,16%	-2	1	20,0
6	2,4	34,401	34,694	-0,85%	-2	1	14,3
8	3,2	34,067	34,248	-0,53%	-2	1	11,1
10	4,0	34,498	34,589	-0,26%	-4	1,1	9,9
12	4,7	34,155	34,138	0,05%	-4	1,2	9,1
14	5,5	34,627	34,522	0,30%	-6	1,4	9,1
16	6,3	34,274	34,048	0,66%	-6	1,6	9,1
18	7,1	34,791	34,48	0,89%	-8	1,9	9,5
20	7,9	34,429	33,992	1,27%	-8	2,3	10,3
22	8,7	34,056	33,488	1,67%	-8	2,7	10,9
24	9,5	34,624	33,975	1,87%	-10	3,1	11,4
26	10,3	34,24	33,455	2,29%	-10	3,6	12,2

Resultados para conductor de 1000 mm² de diámetro.

Conductor 1000mm2 Cobre

Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,735	35,18	-1,28%	-2	1,1	21,6
6	2,4	34,409	34,755	-1,01%	-2	1,1	15,5
8	3,2	34,076	34,32	-0,72%	-2	1,1	12,1
10	4,0	34,508	34,673	-0,48%	-4	1,2	10,7
12	4,7	34,168	34,234	-0,19%	-4	1,3	9,8
14	5,5	34,641	34,629	0,03%	-6	1,5	9,7
16	6,3	34,291	34,17	0,35%	-6	1,7	9,6
18	7,1	34,809	34,613	0,56%	-8	2	10,0
20	7,9	34,451	34,141	0,90%	-8	2,3	10,3
22	8,7	34,681	33,653	2,96%	-8	2,7	10,9
24	9,5	34,651	34,153	1,44%	-10	3	11,1
26	10,3	34,273	33,65	1,82%	-10	3,5	11,9

Resultados para conductor de 1200 mm² de diámetro.

Conductor 1200mm² Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,745	35,285	-1,55%	-2	1,6	28,6
6	2,4	34,422	34,87	-1,30%	-2	1,5	20,0
8	3,2	34,091	34,444	-1,04%	-2	1,5	15,8
10	4,0	34,526	34,806	-0,81%	-4	1,6	13,8
12	4,7	34,187	34,376	-0,55%	-4	1,7	12,4
14	5,5	34,663	34,782	-0,34%	-6	1,8	11,4
16	6,3	34,316	34,332	-0,05%	-6	2	11,1
18	7,1	34,837	34,786	0,15%	-8	2,2	10,9
20	7,9	34,482	34,325	0,46%	-8	2,5	11,1
22	8,7	34,117	33,849	0,79%	-8	2,8	11,3
24	9,5	34,69	34,359	0,95%	-10	3,2	11,8
26	10,3	34,316	33,87	1,30%	-10	3,6	12,2

Resultados para conductor de 1600 mm² de diámetro.

Conductor 1600mm² Cobre

Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,75	35,389	-1,84%	-2	2,1	34,4
6	2,4	34,429	34,983	-1,61%	-2	2	25,0
8	3,2	34,1	34,568	-1,37%	-2	1,9	19,2
10	4,0	34,538	34,941	-1,17%	-4	2	16,7
12	4,7	34,202	34,522	-0,94%	-4	2,1	14,9
14	5,5	34,68	34,939	-0,75%	-6	2,2	13,6
16	6,3	34,337	34,502	-0,48%	-6	2,3	12,6
18	7,1	34,861	34,967	-0,30%	-8	2,5	12,2
20	7,9	34,51	34,519	-0,03%	-8	2,8	12,3
22	8,7	34,149	34,057	0,27%	-8	3,1	12,4
24	9,5	34,725	34,579	0,42%	-10	3,4	12,4
26	10,3	34,357	34,106	0,73%	-10	3,8	12,8

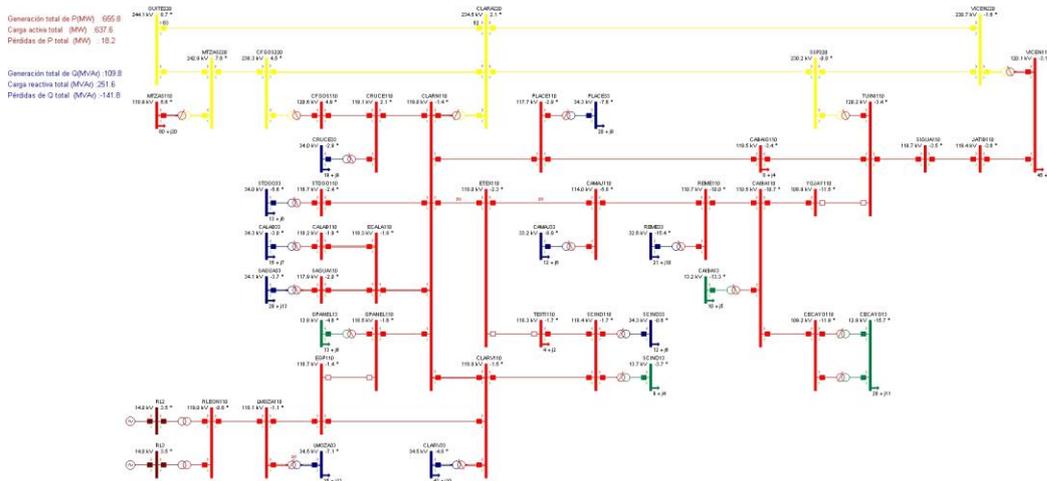
Resultados para conductor de 2000 mm² de diámetro.

Conductor 2000mm2 Cobre							
Flujos realizados con distintos estados de Carga							
P carga	Q carga	Voltaje en barra 34,5	Voltaje en el cayo	Caída de Voltaje	Tap	Pérdidas Potencia (MW)	%
4	1,6	34,752	35,4	-1,86%	-2	2,1	34,4
6	2,4	34,43	34,997	-1,65%	-2	2	25,0
8	3,2	34,102	34,585	-1,42%	-2	1,9	19,2
10	4,0	34,539	34,963	-1,23%	-4	2	16,7
12	4,7	34,204	34,548	-1,01%	-4	2	14,3
14	5,5	34,683	34,969	-0,82%	-6	2,2	13,6
16	6,3	34,34	34,536	-0,57%	-6	2,3	12,6
18	7,1	34,864	35,006	-0,41%	-8	2,5	12,2
20	7,9	34,514	34,563	-0,14%	-8	2,7	11,9
22	8,7	34,154	34,107	0,14%	-8	3	12,0
24	9,5	34,732	34,634	0,28%	-10	3,3	12,1
26	10,3	34,364	34,166	0,58%	-10	3,7	12,5

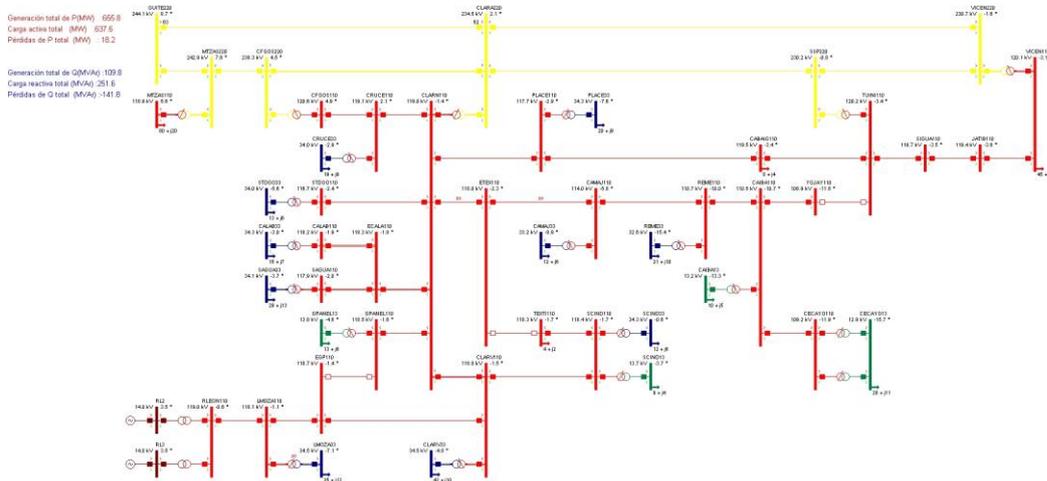
Anexo VII.

Resultados obtenidos de las diferentes corridas en el PSX para Circuito Simple Caibarién-Santa María a 110 kV.

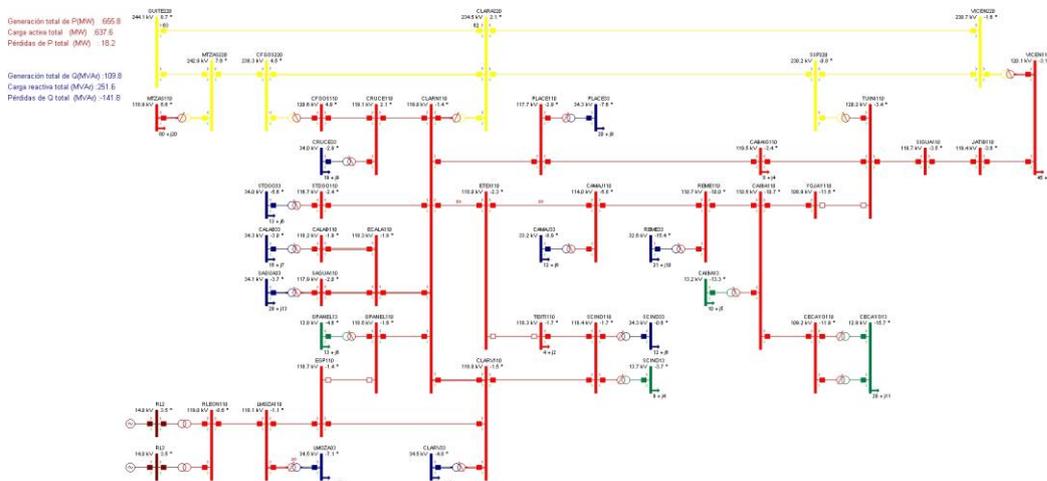
Para régimen de máxima en condiciones normales:



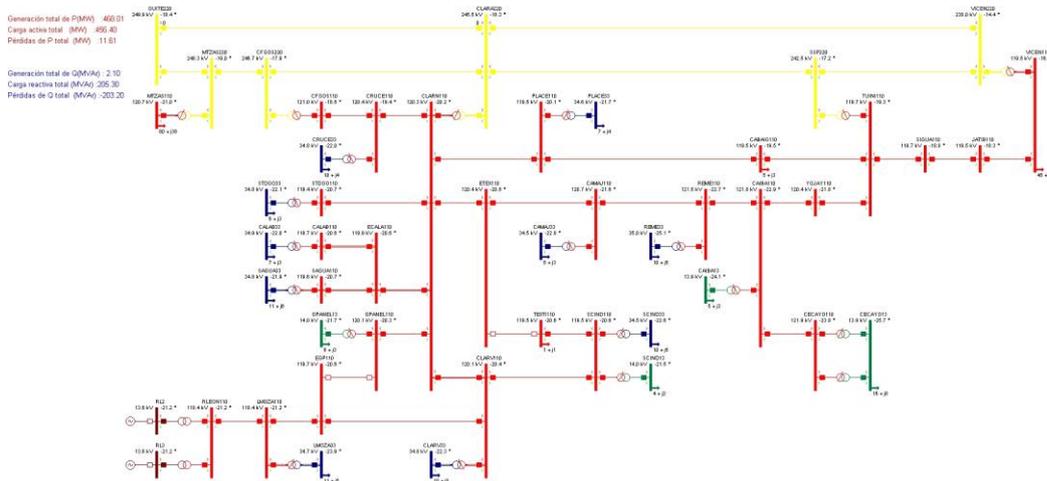
Para régimen de máxima alimentado solo desde Santa Clara:



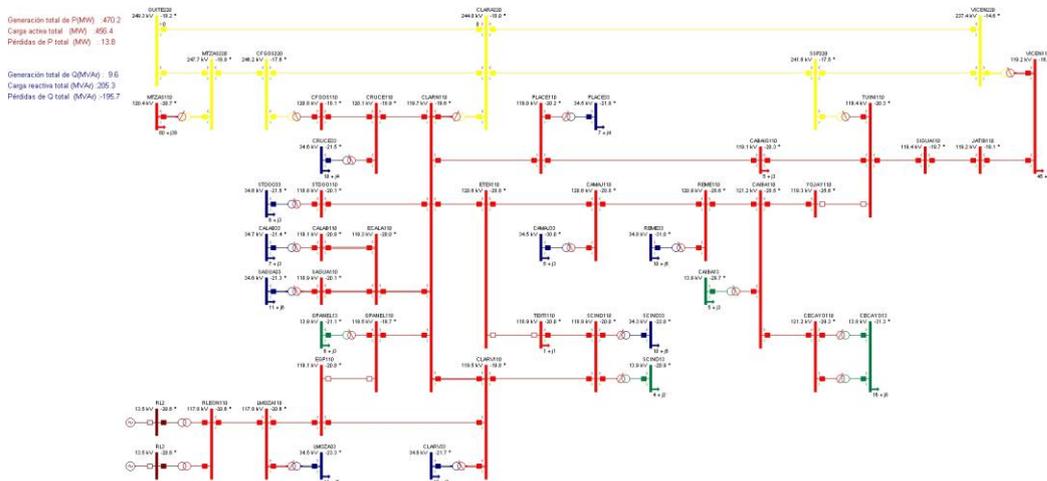
Para régimen de máxima alimentado solo desde Tuinicú:



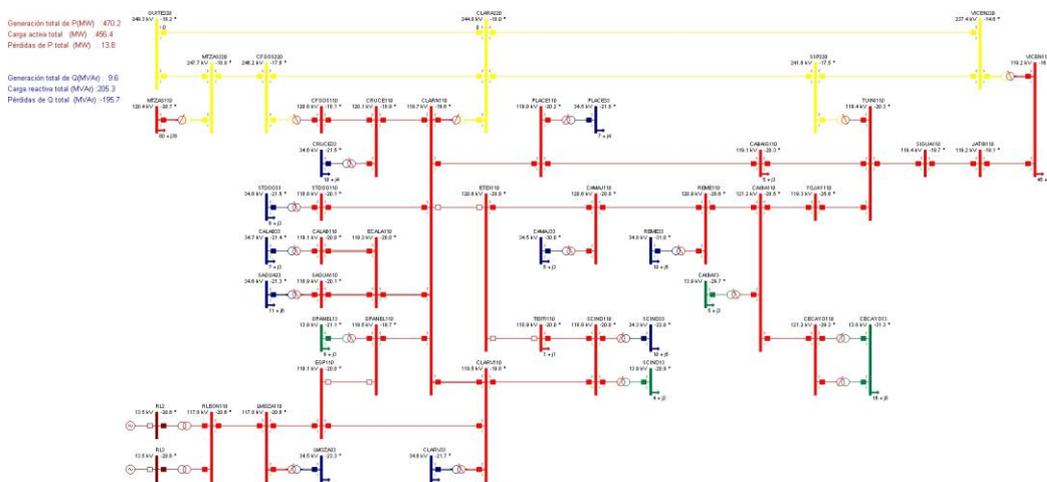
Para régimen de mínima en condiciones normales:



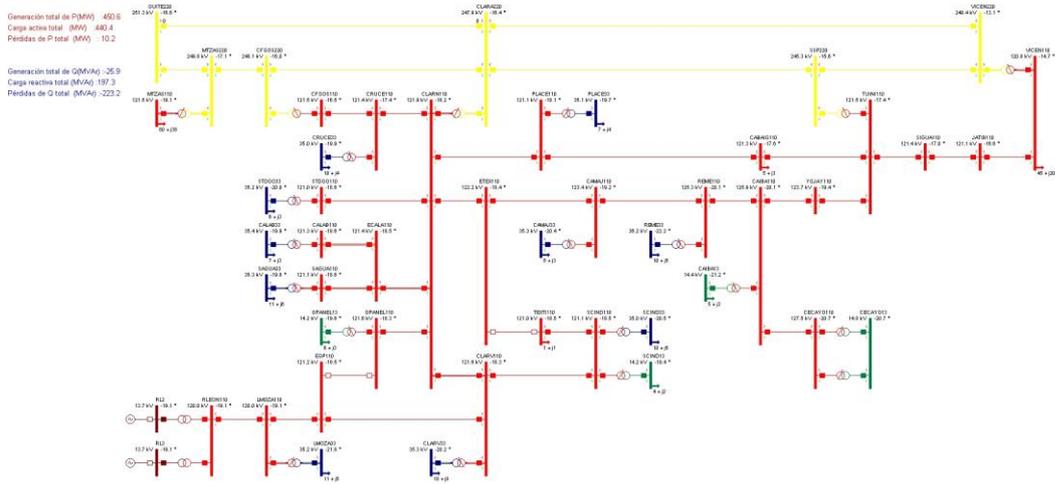
Para régimen de mínima alimentado solo desde Santa Clara:



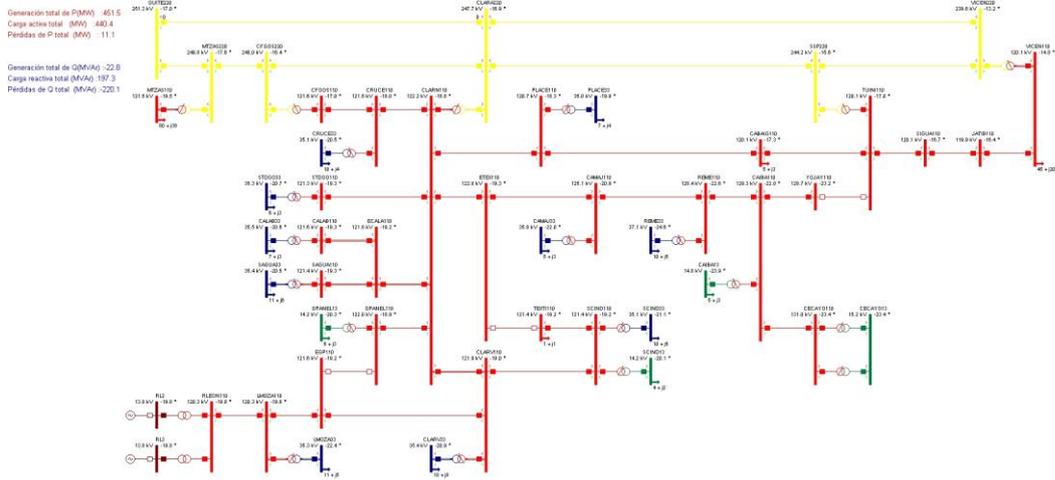
Para régimen de mínima alimentado solo desde Tuinicú:



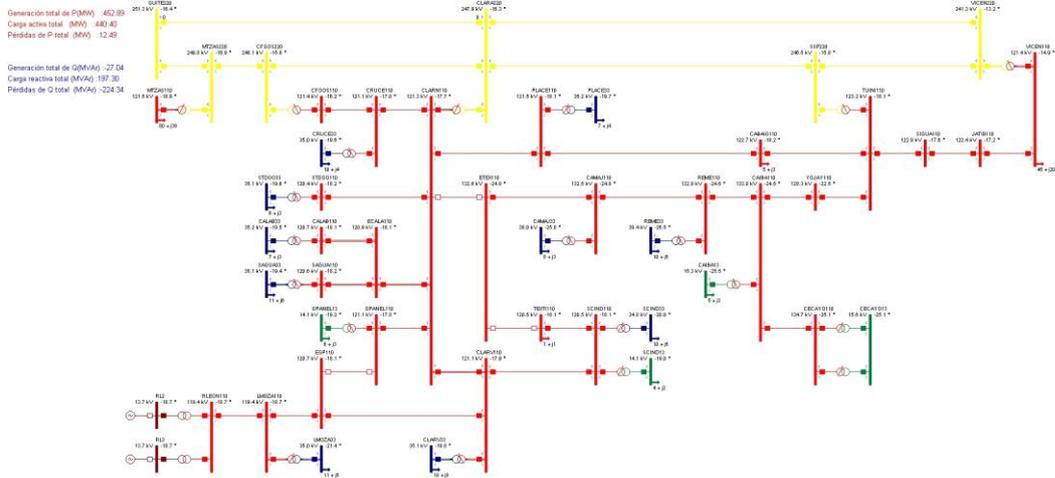
Para régimen de mínima sin carga en el cayo en condiciones normales:



Para régimen de mínima sin carga en el cayo alimentado solo desde Santa Clara:



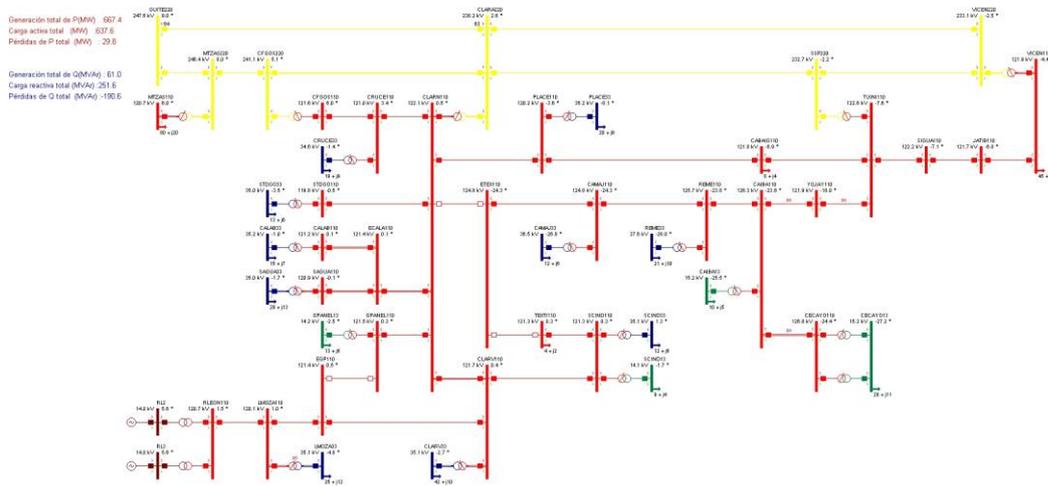
Para régimen de mínima sin carga en el cayo alimentado solo desde Tuinicú:



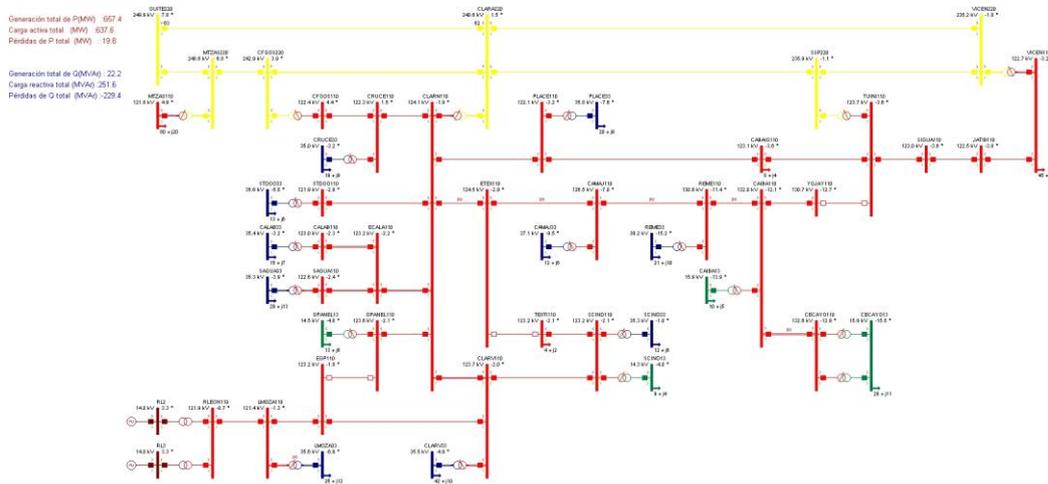
Anexo VIII.

Resultados obtenidos de las diferentes corridas en el PSX para Circuito Doble Caibarién-Santa María a 110 kV.

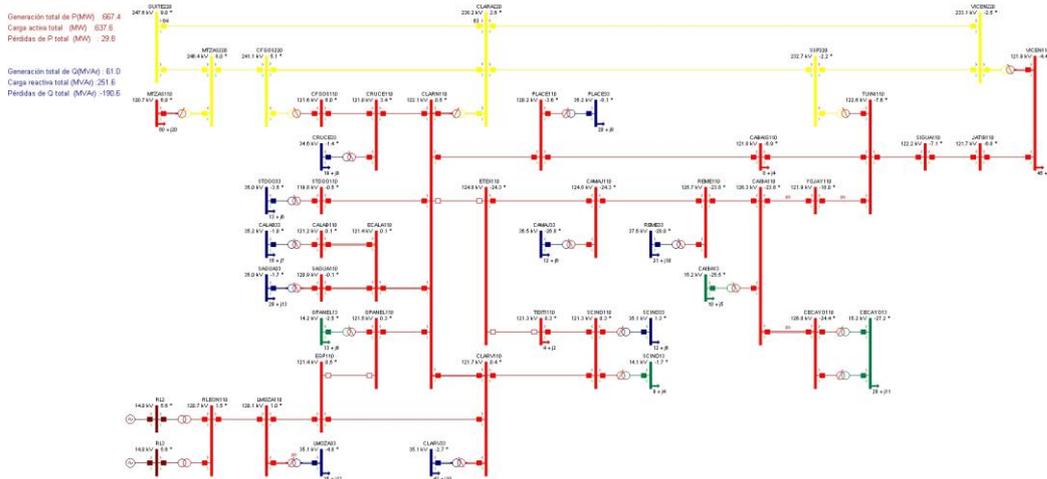
Para régimen de máxima en condiciones normales:



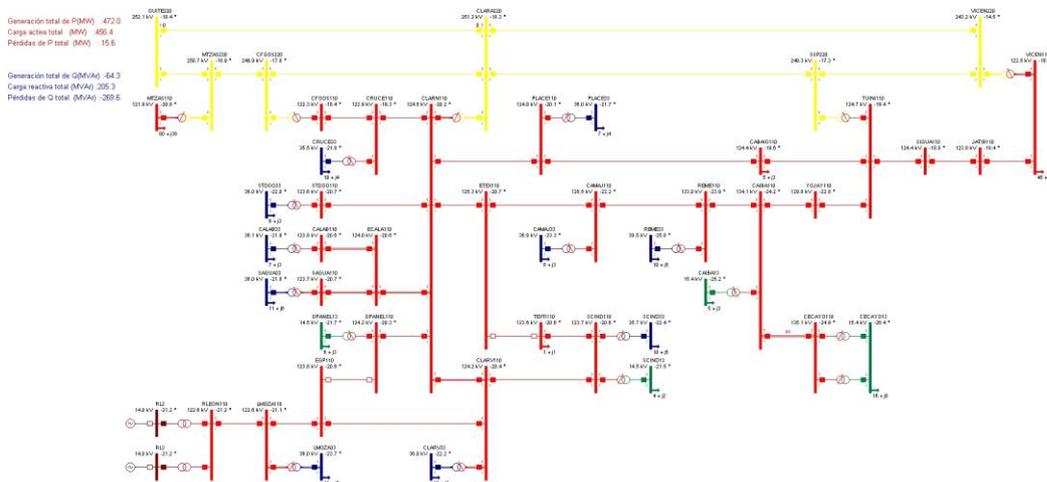
Para régimen de máxima alimentado solo desde Santa Clara:



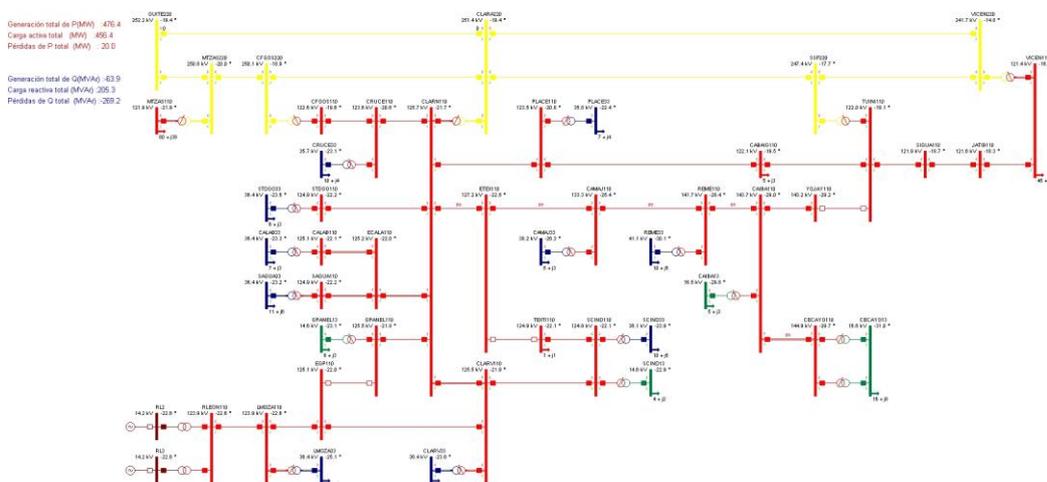
Para régimen de máxima alimentado solo desde Tuinicú:



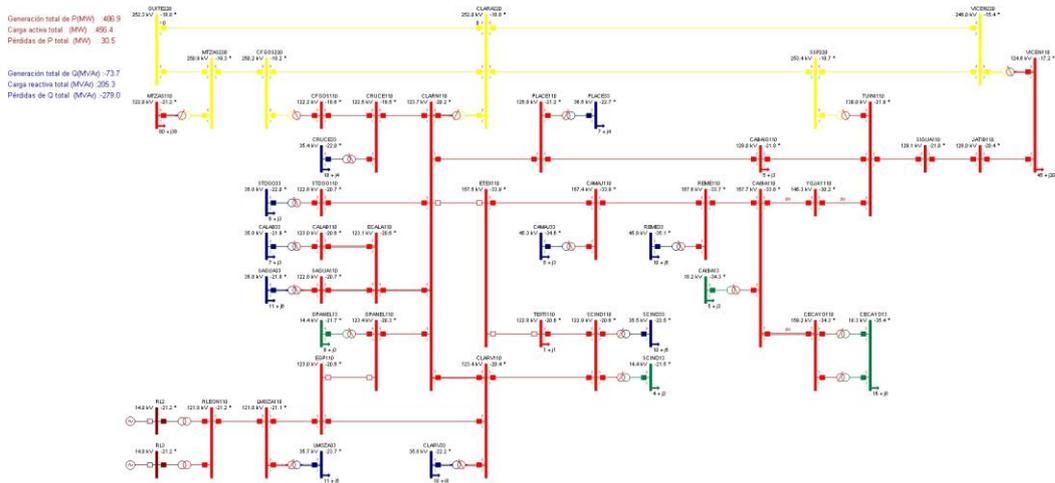
Para régimen de mínima en condiciones normales:



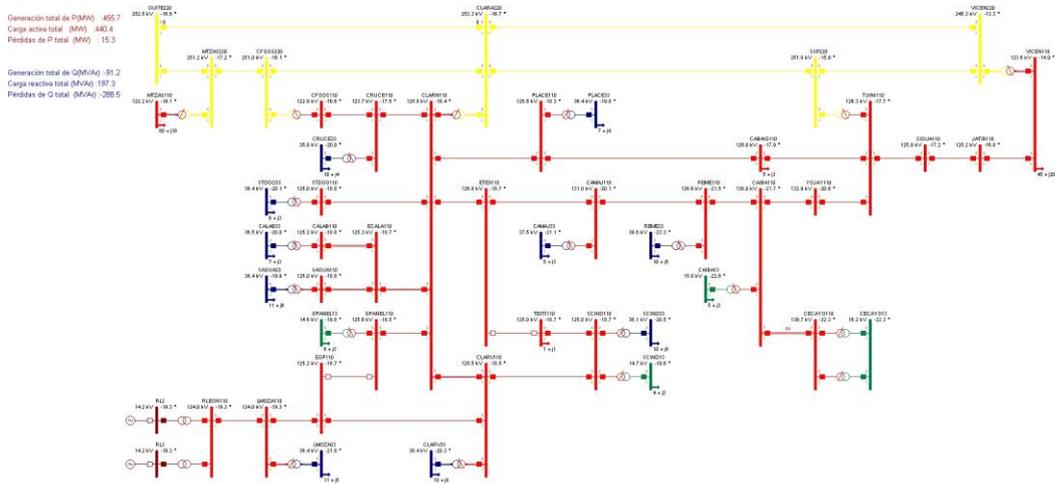
Para régimen de mínima alimentado solo desde Santa Clara:



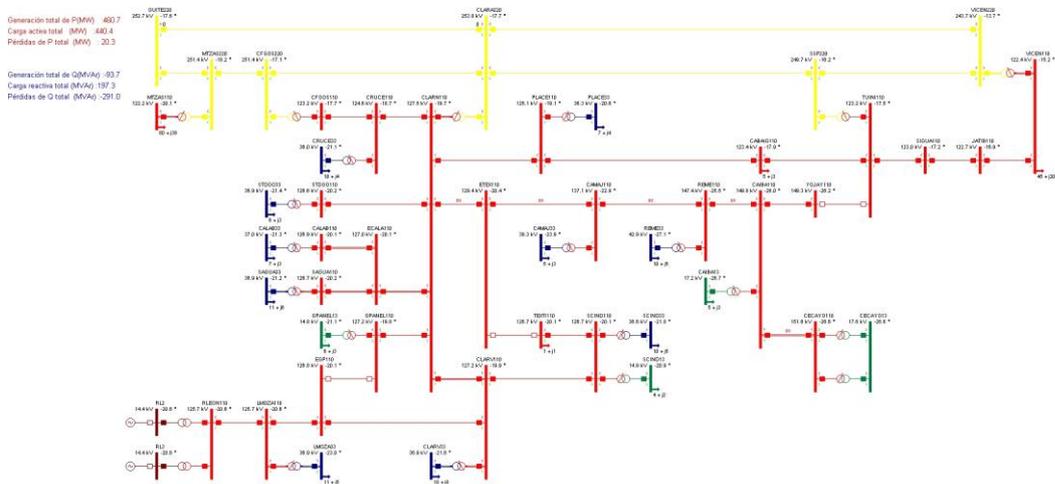
Para régimen de mínima alimentado solo desde Tuinicú:



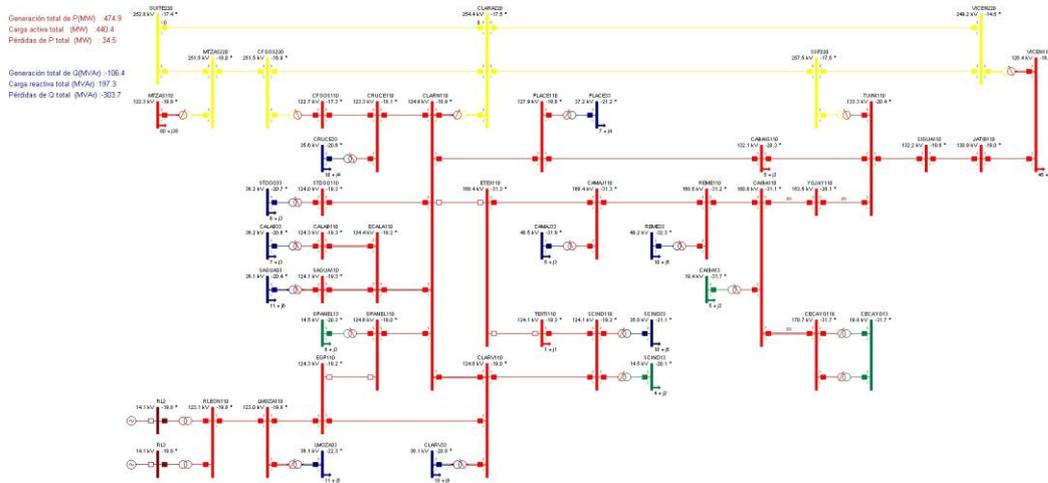
Para régimen de mínima sin carga en el cayó en condiciones normales:



Para régimen de mínima sin carga en el cayó alimentado solo desde Santa Clara:



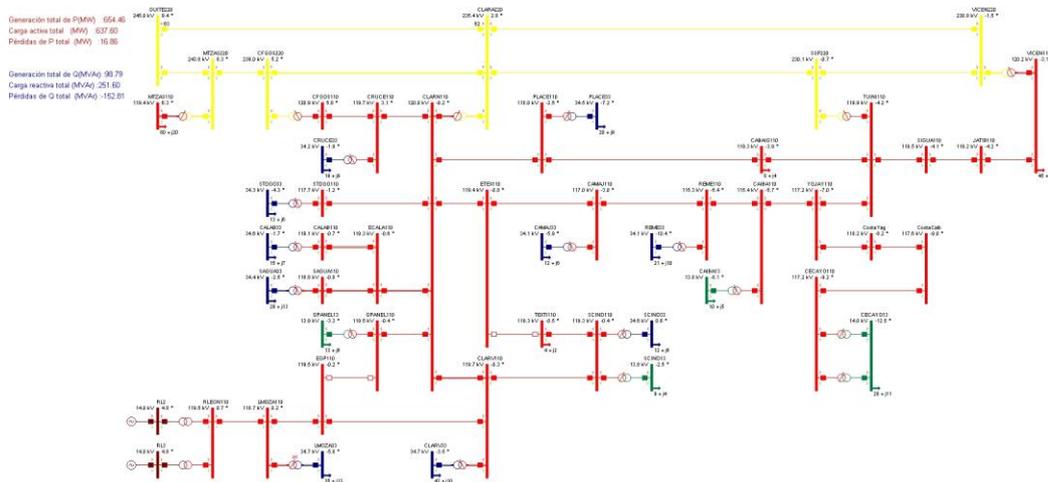
Para régimen de mínima sin carga en el cayo alimentado solo desde Tuinicú:



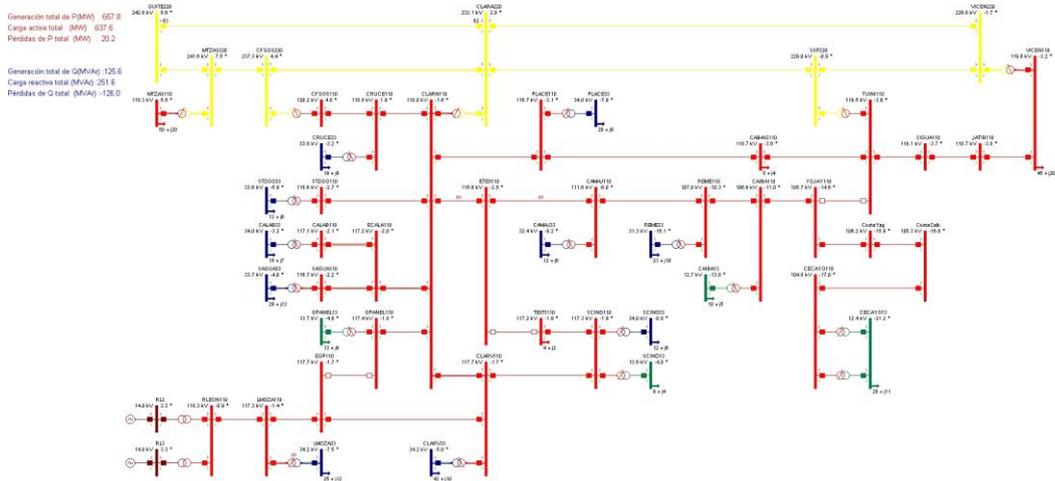
Anexo IX.

Resultados obtenidos de las diferentes corridas en el PSX para Circuito Simple Yaguajay-Santa María a 110 kV.

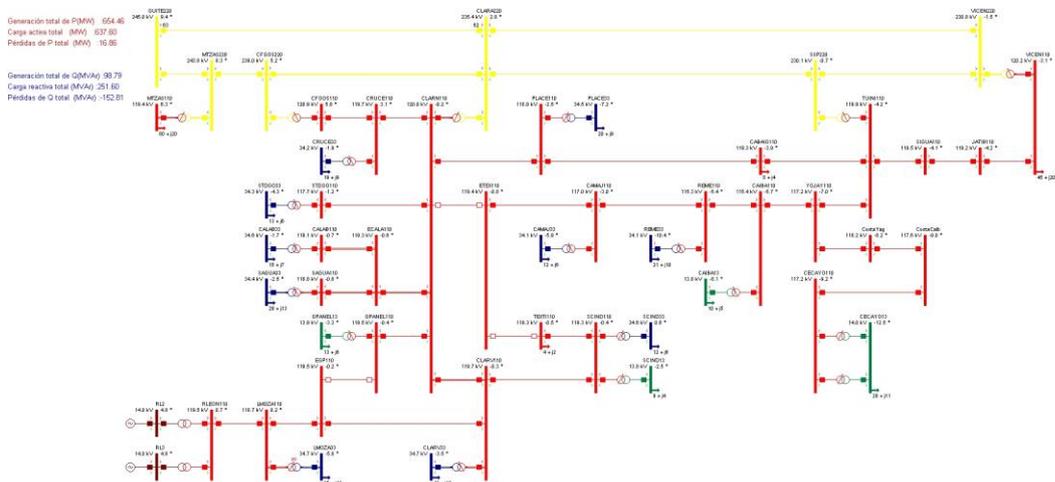
Para régimen de máxima en condiciones normales:



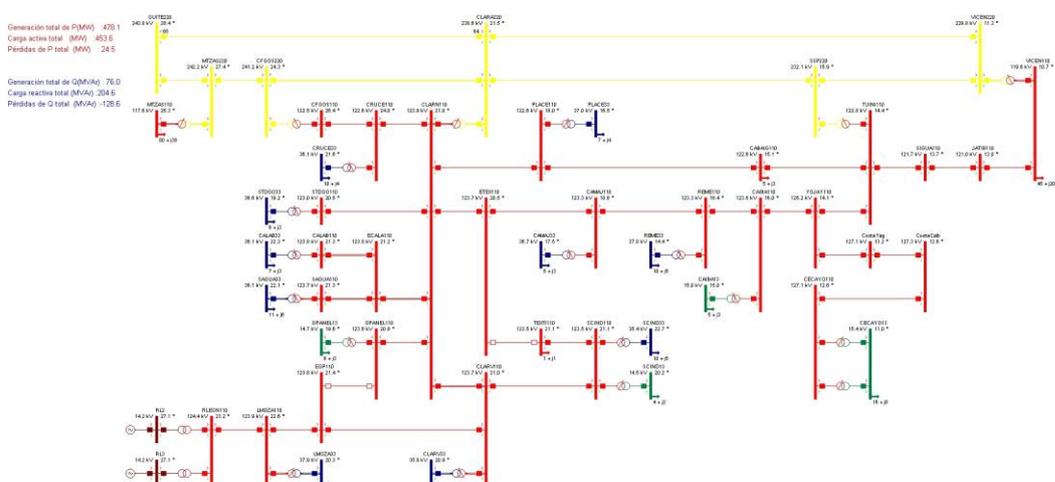
Para régimen de máxima alimentado solo desde Santa Clara:



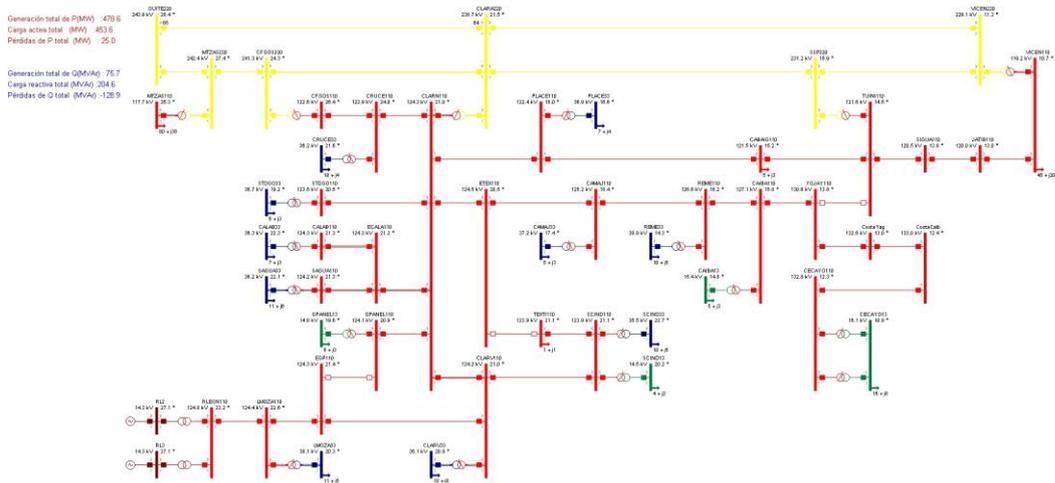
Para régimen de máxima alimentado solo desde Tuinicú:



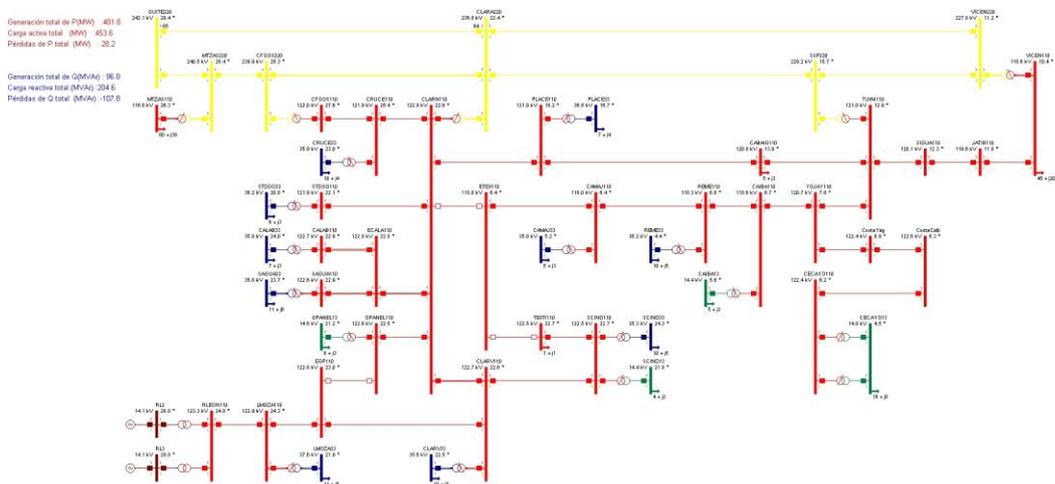
Para régimen de mínima en condiciones normales:



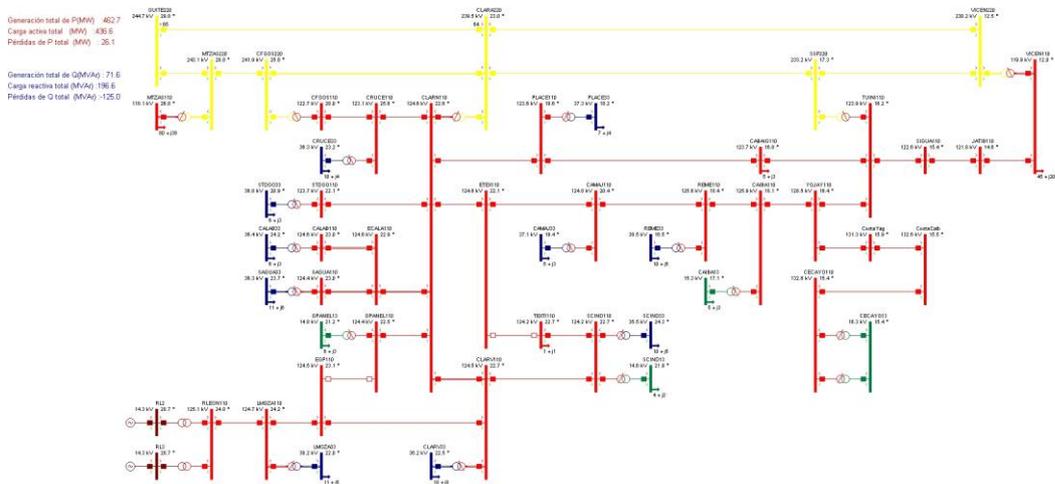
Para régimen de mínima alimentado solo desde Santa Clara:



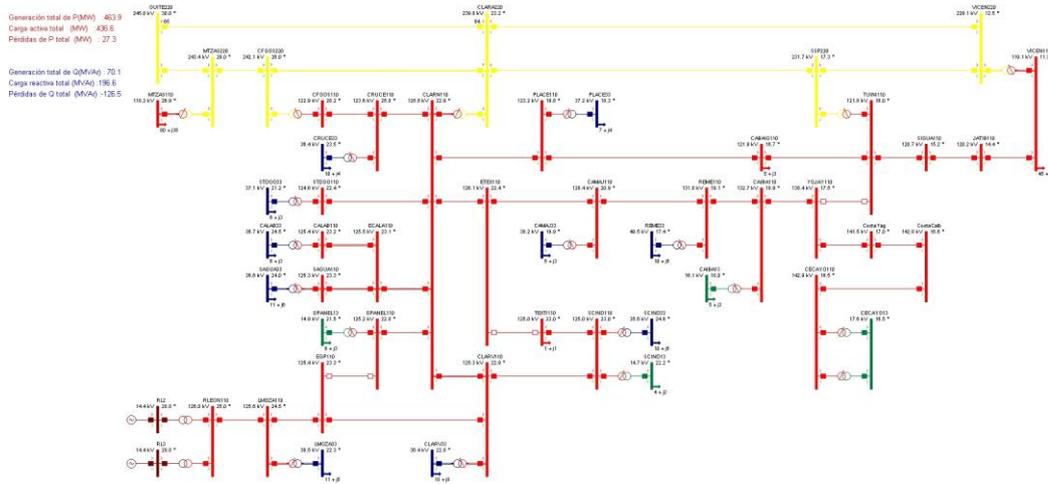
Para régimen de mínima alimentado solo desde Tuinicú:



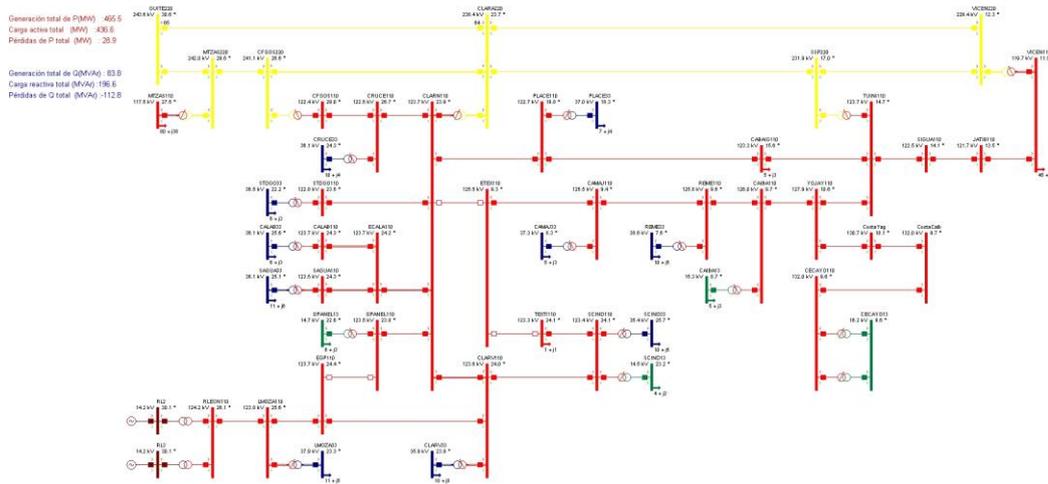
Para régimen de mínima sin carga en el cayo en condiciones normales:



Para régimen de mínima sin carga en el cayo alimentado solo desde Santa Clara:



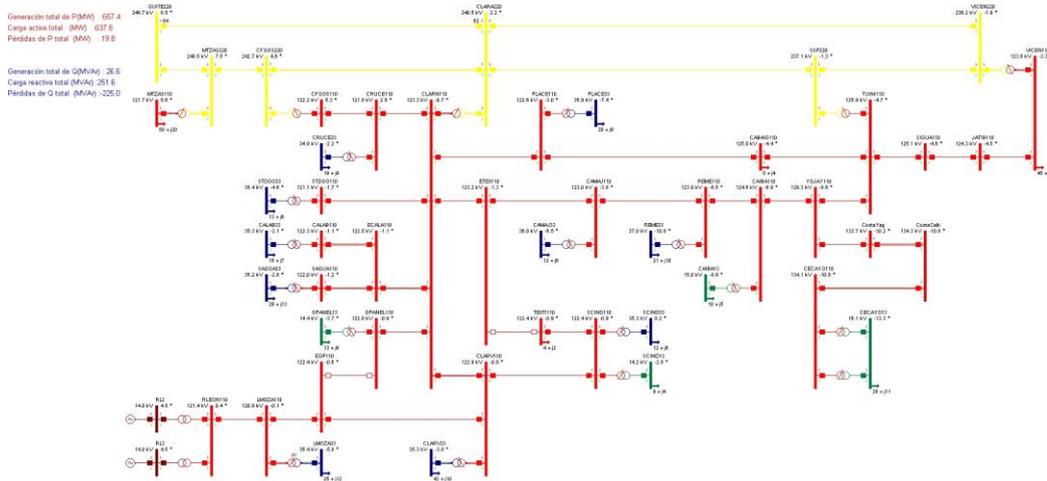
Para régimen de mínima sin carga en el cayo alimentado solo desde Tuinicú:



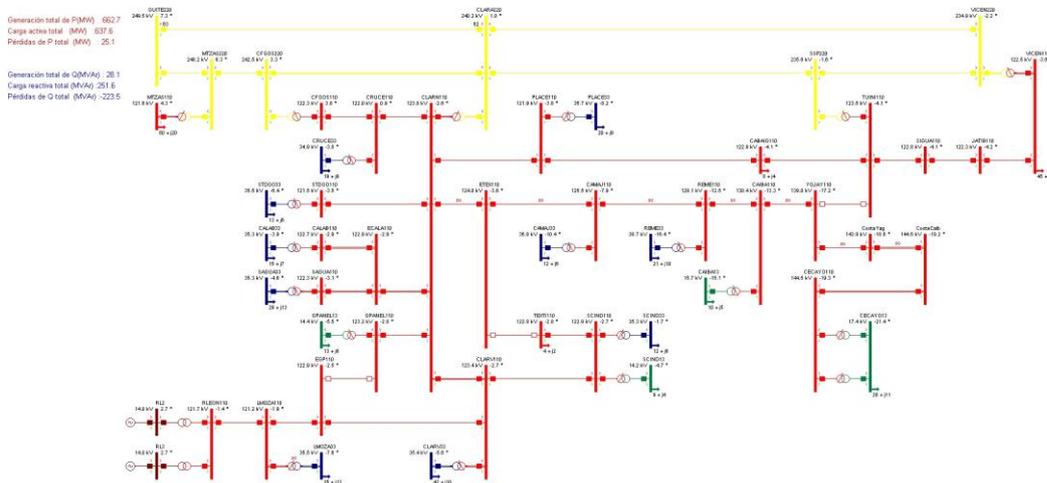
Anexo X.

Resultados obtenidos de las diferentes corridas en el PSX para Circuito Doble Yaguajay-Santa María a 110 kV.

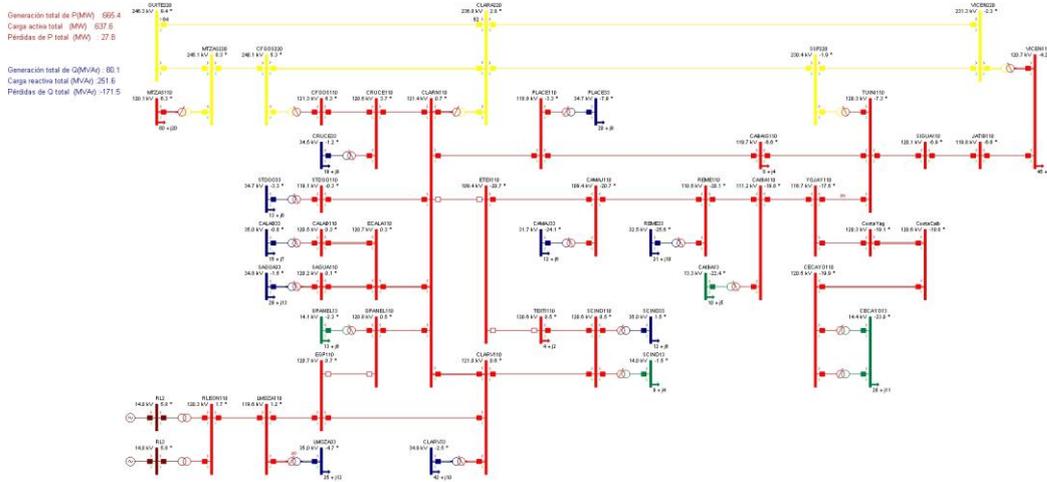
Para régimen de máxima en condiciones normales:



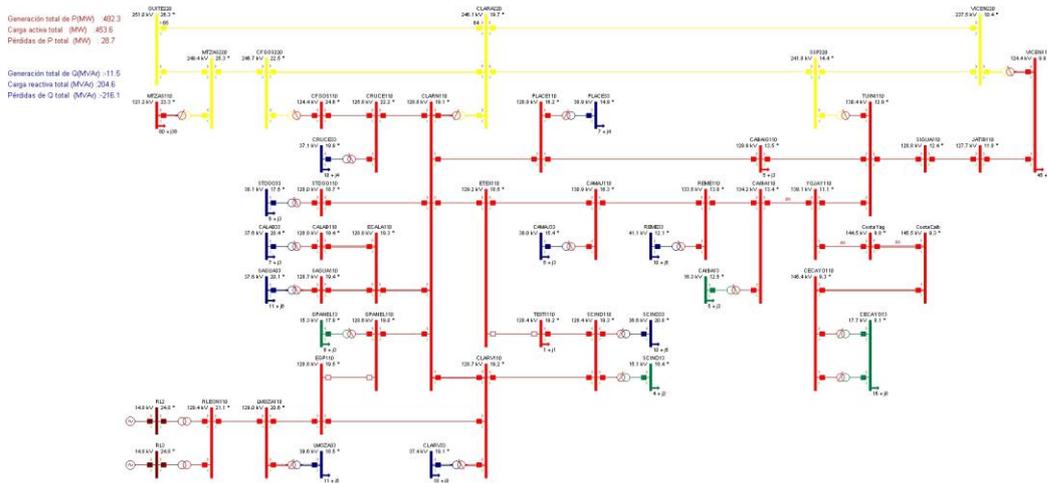
Para régimen de máxima alimentado solo desde Santa Clara:



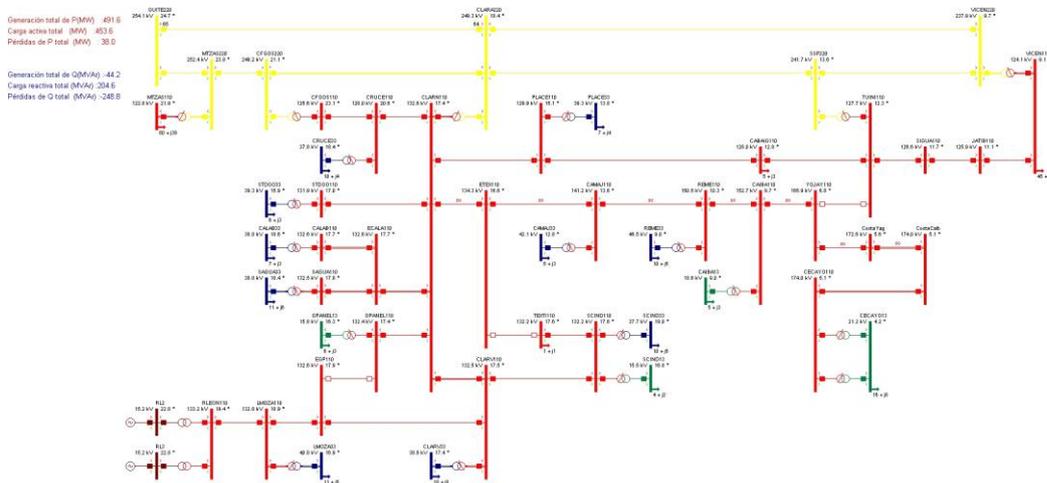
Para régimen de máxima alimentado solo desde Tuinicú:



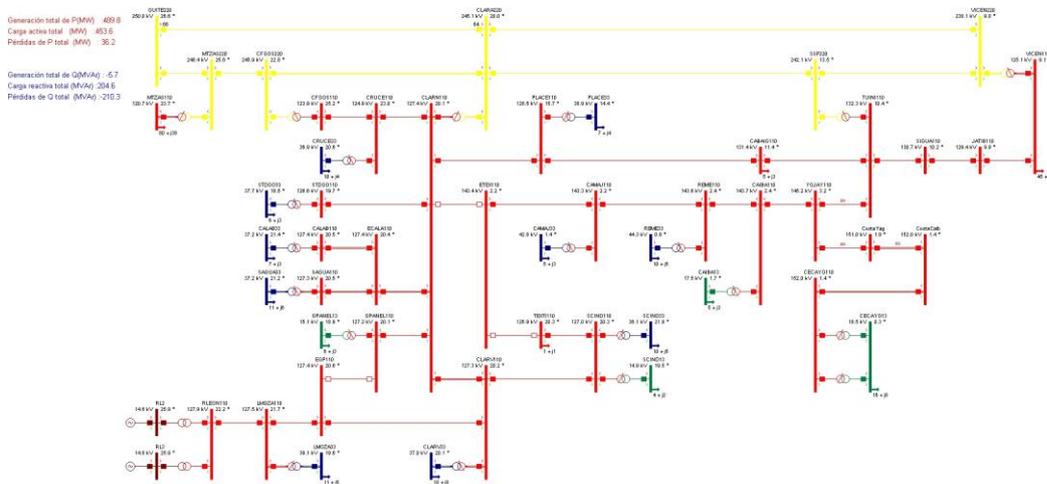
Para régimen de mínima en condiciones normales:



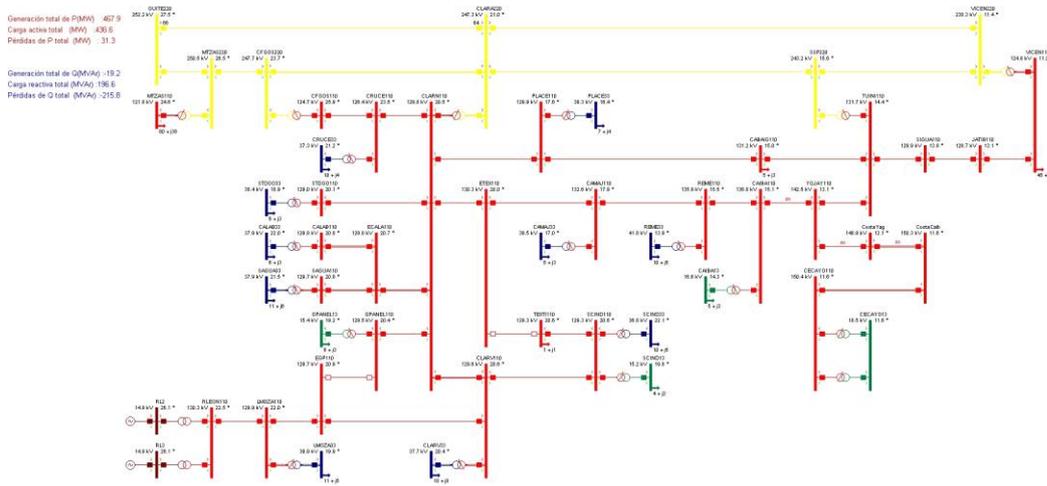
Para régimen de mínima alimentado solo desde Santa Clara:



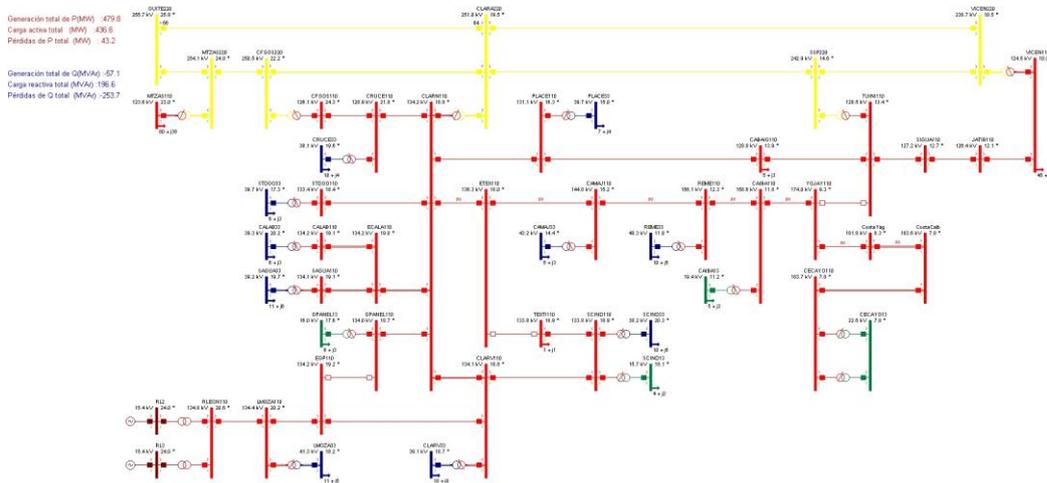
Para régimen de mínima alimentado solo desde Tuinicú:



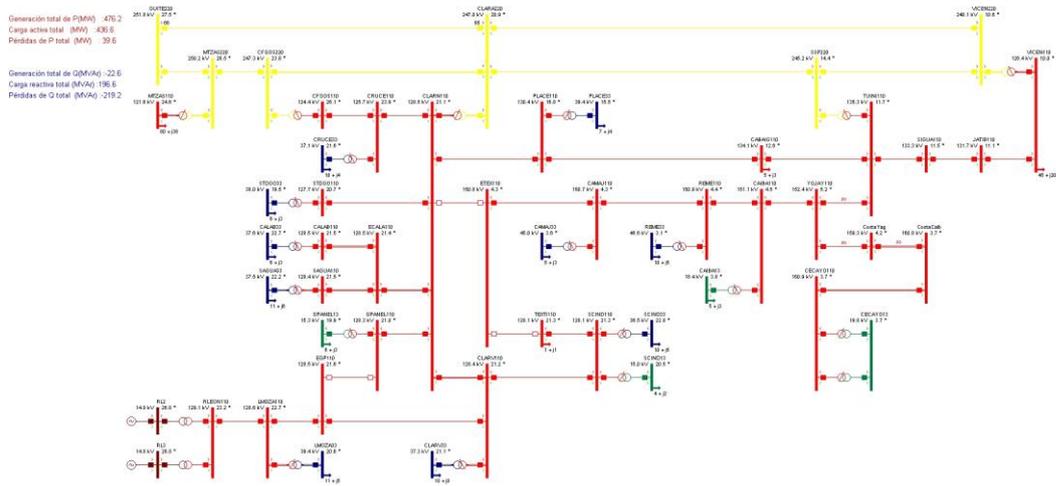
Para régimen de mínima sin carga en el cayo en condiciones normales:



Para régimen de mínima sin carga en el cayo alimentado solo desde Santa Clara:



Para régimen de mínima sin carga en el cayo alimentado solo desde Tuinicú:



Anexo XI.

Ubicación física del corredor para la línea soterrada en el terraplén al Cayo Santa María:



Anexo XII.

Barcos utilizados para la instalación de cables submarinos.





► Tendido de la conexión eléctrica que une Estonia con Finlandia.



Barco cablero Skagerrak, de Nexans.

Anexo XIII.

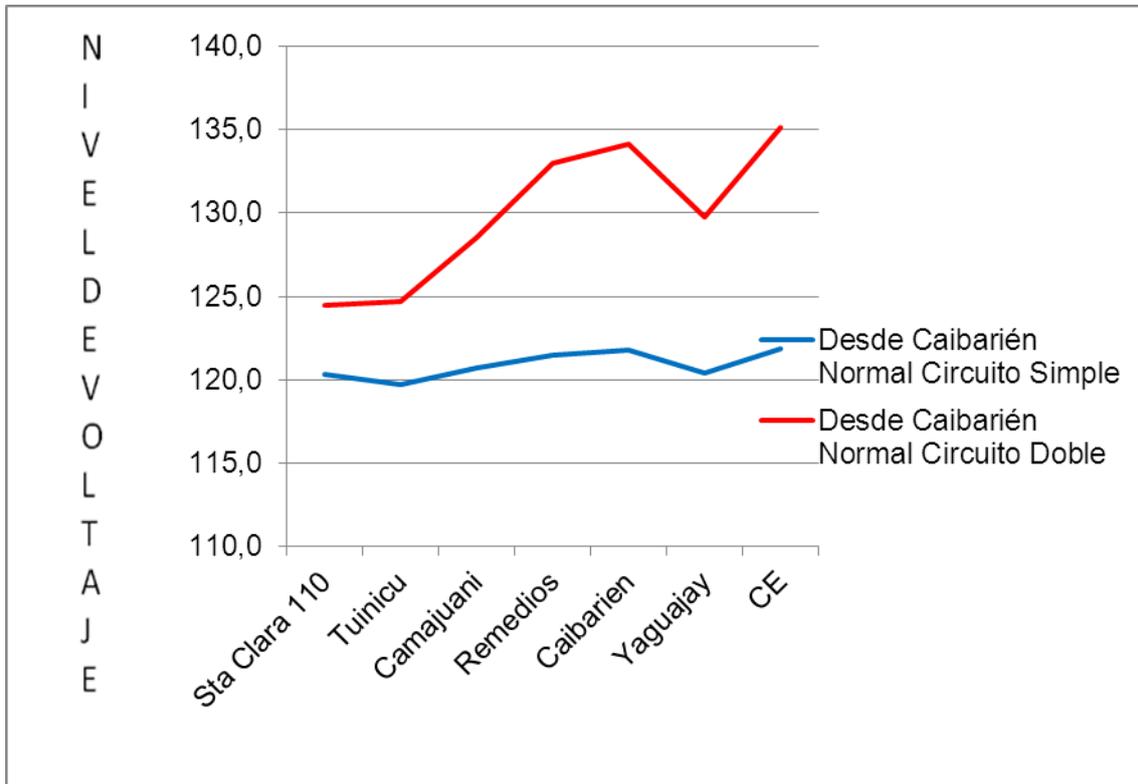
Control humano y tecnológico de la colocación de cables submarinos.



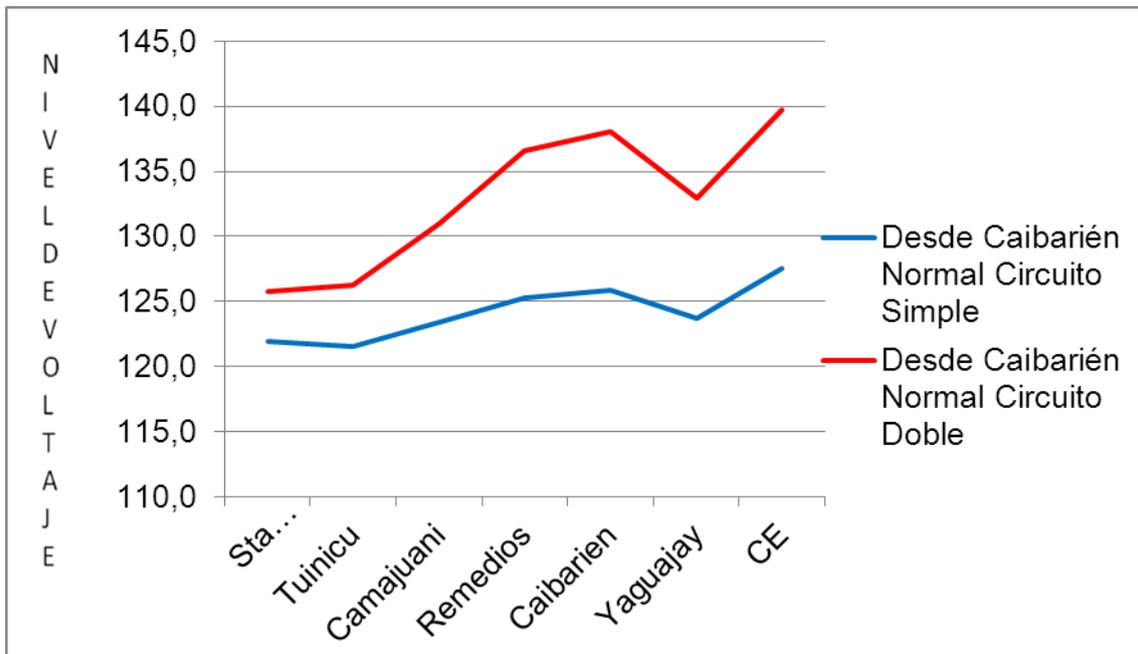
Anexo XIV.

Comparación del voltaje que llega la cayería norte de Villa Clara en condiciones normales con carga mínima y sin carga desde Caibarién.

Carga Mínima.



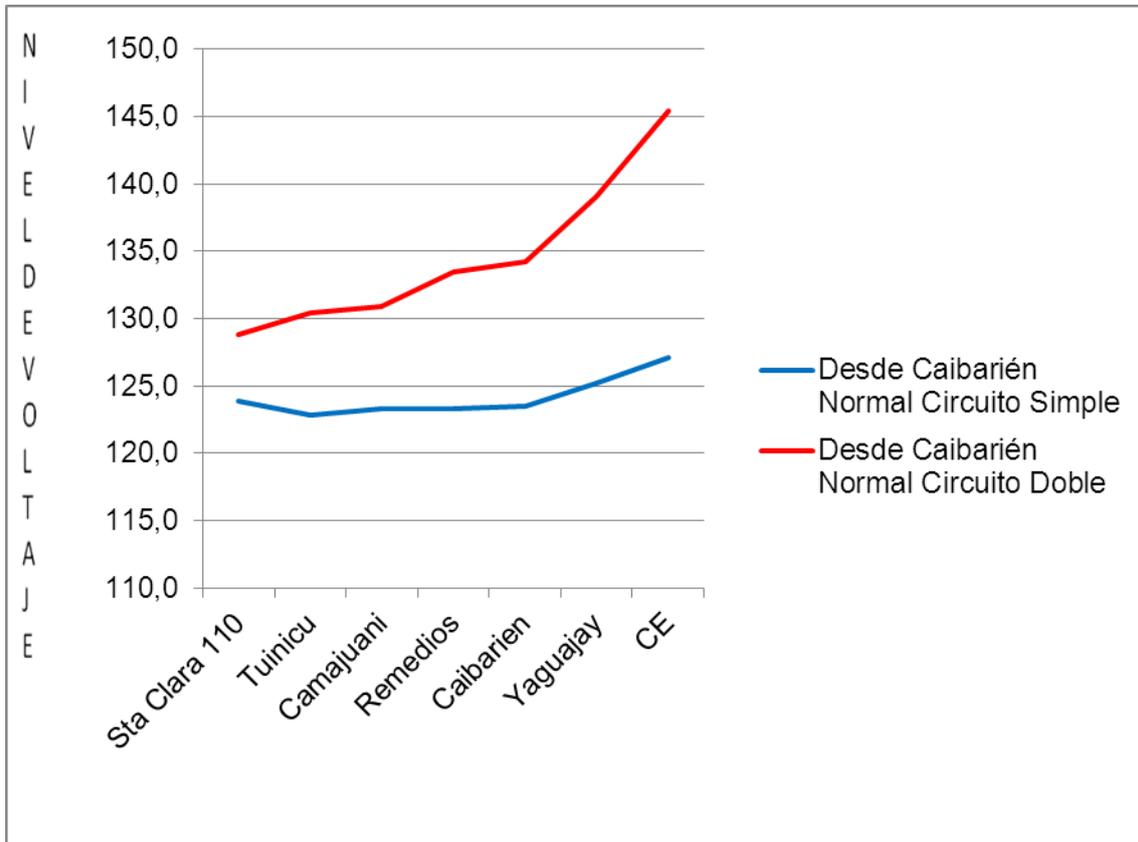
Sin Carga.



Anexo XV.

Comparación del voltaje que llega la cayería norte de Villa Clara en condiciones normales con carga mínima y sin carga desde Yaguajay.

Carga Mínima.



Sin Carga.

