UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILIS TOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética

TRABAJO DE DIPLOMA

Interconexión del Sistema Aislado Cayo Santa María con el SEN mediante un cable submarino

Autor: Pedro Isacc Nicodemos Calderón

Tutor: Ms.C Yandi Gallego Landera

Dr. Leonardo Casas Fernández

Santa Clara

2017

"Año 58 de La Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética

TRABAJO DE DIPLOMA

Interconexión del Sistema Aislado Cayo Santa María con el SEN mediante un cable submarino

Autor: Pedro Isacc Nicodemos Calderón

e-mail: pnicodemos@uclv.cu

Tutor: Ms.C Yandi Gallego Landera

Profesor Asistente, Centro de Estudios Electroenergéticos, Facultad Ingeniería Eléctrica

e-mail: gallego@uclv.cu

Dr. Leonardo Casas Fernández

Profesor Titular, Centro de Estudios Electroenergéticos, Facultad Ingeniería Eléctrica

e-mail: lcasas@uclv.edu.cu

Santa Clara

2017

"Año 58 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 Autor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

Todo tiene su tiempo, y todo lo que se quiere debajo del cielo tiene su hora.

Salomón

DEDICATORIA

Quiero dedicarles este trabajo a todas esas personas que siempre confiaron en mí, que estuvieron a mi lado dándome su apoyo incondicional en los momentos difíciles para continuar este largo y difícil camino.

- *A mi mamá por estar siempre a mi lado, por su paciencia, por su perdón, por su amor incondicional y por sus lecciones de entrega y constancia a lo largo de toda mi vida.*
- A mi papá por su apoyo frente a las adversidades para continuar mi camino de frente y saber que siempre puedo contar con él.
- *A mi hermano José por todo su cariño y que estos cinco años le sirva de guía en su vida.*
- *A mi esposa Darianny por su amor, por permanecer a mi lado en todo momento, por sus horas de desvelo junto a mí y por darme su apoyo cuando creía que todo estaba perdido.*
- A mis tutores Yandi Gallego Landera y Leonardo Casas Fernández por su ayuda incondicional.
- A todos ellos va dedicado este trabajo que sin su ayuda nada de esto fuera posible.

AGRADECIMIENTOS

En la ocasión de finalizar mis estudios, me da un inmenso placer expresar mi gratitud a todas las personas que me han apoyado y han contribuido con mi desarrollo no solo profesional sino también humano.

- *A Dios, por ser el padre que nunca falla.*
- *A mis padres Pedro y Magalys por su amor, confianza por estar siempre a mi lado dándome el apoyo que siempre necesite y ayudarme a encarar las adversidades que se han presentado en el camino.*
- *A mi hermano José que lo quiero mucho.*
- A mi esposa que más que mi pareja ha sido mi amiga y me ha dado su apoyo cuando lo necesité.
- A alguien muy especial que aunque en estos momentos no se encuentre físicamente conmigo la llevaré siempre en mi corazón por sus lecciones de valentía,
- A mis tutores y amigos Yandi Gallego y Leonardo Casas por su tiempo, su guía, su amistad, comprensión, dedicación, paciencia y esfuerzo incondicional ya que sin ellos no hubiera sido posible este triunfo.
- En fin a todos los que de una forma u otra han contribuido con la realización de este trabajo.

A todos muchas gracias.

TAREA TÉCNICA

- Realizar una revisión bibliográfica acerca del tema a estudiar.
- Confección de los regímenes bases en los estados de máxima y mínima demanda tanto del SEN como del Sistema Aislado Cayo Santa María.
- Análisis de las diferentes variantes de conexión del Sistema Aislado Cayo Santa María con el SEN.
- Evaluación de los efectos de la interconexión con el SEN.
- Realizar una valoración económica sobre las variantes de conexión.
- Redacción del informe de acuerdo a las normas establecidas.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

El polo turístico Cayo Santa María en un futuro no muy lejano aumentará su demanda eléctrica por lo que es de gran necesidad que el mismo posea un sistema eléctrico fuerte que sea la garantía de que el servicio que se brinda sea de calidad.

El sistema eléctrico actual se encuentra trabajando en régimen aislado, trayendo consigo todas las desventajas que este tipo de generación arrastra, pues al estar separados del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) no son capaces de resistir fallas muy grandes sin perder la estabilidad y por tanto habrá un colapso del sistema.

Por lo anteriormente explicado se hace necesario formular variantes de interconexión del Sistema Aislado Cayo Santa María con el SEN.

En este trabajo se hace un análisis de cada variante de interconexión, realizándose flujos de carga y detallándose las inversiones a ejecutar para cada una de ellas, para así hacer una evaluación económica de las mismas

Los resultados de este trabajo pueden ser interés para los especialistas de la Organización Básica Eléctrica (OBE) de Villa Clara y de la Unión Eléctrica de Cuba, pues pueden ser el punto de partida para la determinación de las posibles modificaciones que se efectuarán a la red provincial al realizar la interconexión de Sistema Aislado Cayo Santa María con el SEN.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO i

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iii

TAREA TÉCNICA iv

RESUMEN v

INTRODUCCIÓN 1

Antecedentes del problema. 2

Organización del informe 4

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CARACTERRIZACIÓN DE LOS SISTEMAS A INTERCONECTAR 5

1.1 Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) 5

1.2 Estructura de un Sistema electrico 6

1.3 Topología de un sistema eléctrico 8

1.3.1 Sistema Radial 8

1.3.2 Sistema en Anillo o Lazo 9

1.3.3 Red Mallada 10

1.4 Generalidades sobre los sistemas eléctricos aislados 10

1.5 Interconexión de sistemas eléctricos 11

1.6 Características sobre los sistemas eléctricos a interconectar 13

1.6.1 Sistemas Electroenergético Nacional 13

1.6.2 Sistema Aislado Cayo Santa María 14

1.7 Programa de desarrollo eléctrico en el Cayo Santa María 16

1.8 Conexión del sistema aislado Cayo Santa María con el cable submarino a 110 kV 19

1.9 Conclusiones del capítulo 22

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIANTES DE INTERCONEXIÓN 23

2.1 Descripción del SEN en el noreste de la región central [12] 23

2.2 Variantes técnicas de interconexión del sistema aislado Cayo Santa María al SEM mediante un cable submarino 25

2.3 Interconexión desde Yaguajay [1] 25

2.3.1 Variante de interconexión desde Punta Judas [1] 27

2.3.1.1 Ubicación de la subestación de *switcheo* de salida del cable submarino 28

2.3.2 Variante de interconexión desde Victoria 30

2.3.2.1 Ubicación de la subestación de *switcheo* para la salida del cable submarino 31

2.4 Variante de arribo al Cayo Santa María para ambas variantes de Yaguajay 34

2.5 Estudio de Factibilidad Ambiental con el Cable submarino desde Yaguajay 35

2.6 Variante de interconexión desde Caibarién 36

2.6.1 Ubicación de la subestación de *switcheo* para la salida del cable submarino 36

2.6.2 Variante de arribo al Cayo Santa María con salida desde Caibarién 38

2.8 Estudio de Factibilidad Ambiental con Cable Submarino desde Caibarién 40

2.9 Conclusines del capítulo 40

CAPÍTULO 3. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS VARIANTES DE INTERCONEXIÓN 42

3.1 Herramienta de Simulación 42

3.2 Simulación del Cable Submarino 43

3.2.1 Simulación del Cable submarino con la subestación de *switcheo* ubicada en Punta Judas 43

3.2.2 Simulación del cable submarino con la subestación de *switcheo* ubicada en Playa Vitoria 44

3.2.3 Simulación del Cable Submarino con la subestación *switcheo* ubicada en Caibarién 45

3.3.2 Análisis de inversiones 46

3.3.3 Variante de interconexión Punta Judas 46

3.3.4 Inversiones necesarias para la variante de salida por Punta Judas 46

3.3.5 Costo del Cable Submarino y del enterramiento 48

3.3.6 Monto Total de la Inversión 48

3.3.7 Variante de Interconexión Playa Victoria 48

3.3.8 Inversiones necesarias para la variante de salida por Playa Vitoria 49

3.3.9 Costo del Cable Submarino y del enterramiento 50

3.3.10 Monto Total de la Inversión 51

3.3.11 Variante de interconexión por Caibarién 51

3.3.3.1 Inversiones necesarias para la variante de salida por Caibarién 51

3.3.3.2 Costo del Cable Submarino y del enterramiento 53

3.3.3.3 Monto total de la Inversión 54

3.4 Valoración económica 54

3.5 Costo de generación del SEN y del Cayo 55

3.6 Valor Actual Neto (VAN) de las variantes que se analizan 56

3.7 Tiempo de recuperación de la inversión.....57

3.8 Otros escenarios.....58

3.9 Instalación de un solo cable submarino.....58

3.10 Conclusiones del capítulo.....59

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 60

Conclusiones 60

Recomendaciones 61

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....62

ANEXOS.....63

Anexo I Resultados de la valoración económica para un periodo de construcción de la obra de cuatro y un enlace doble. 63

Anexo II Resultados de la valoración económica para un periodo de construcción de la obra de tres años y un enlace doble 71

Anexo III Resultados de la valoración económica para un periodo de construcción de la obra de dos años y un enlace doble.....79

Anexo IV Resultados de la valoración económica para un periodo de construcción de la obra de 1año y un enlace doble 87

INTRODUCCIÓN

La electricidad se ha convertido para el mundo en una forma de energía imprescindible y con infinidad de uso, debido a su controlabilidad y versatilidad, a la inmediatez en su utilización y a la limpieza en el punto de consumo.
En el ámbito residencial es empleada para proporcionar toda clase de servicios, pero su uso está igualmente extendido en lo comercial e industrial, por lo que se nos hace difícil cada día reemplazarla en la mayoría de sus usos y aplicaciones, se puede afirmar que la calidad de vida y el propio funcionamiento de las sociedades depende de forma significativa de la disponibilidad de la energía eléctrica.

Para dar una solución a la actual crecimiento de la demanda y a los problemas de abastecimientos de energía que existe hoy en todo el mundo, que según transcurren los años esta aumenta considerablemente, una interconexión de sistemas eléctricos se presenta como una alternativa, permitiendo así interconectar diversos países entre sí y ofrecer a los sistemas vecinos electricidad generada en el propio país como recibir de ellos energía que puede satisfacer la demanda interna. De esta manera también se lograría mayor calidad de la energía, bajar los costos, mejorar el nivel de seguridad de los sistemas y ampliar la oferta.

En Cuba uno de los principales renglones de la economía que se ha venido desarrollando es el turismo. Dentro de los principales polos turísticos del país se encuentra el Cayo Santa María al norte de la provincia de Villa Clara. El desarrollo de esta industria turística constituye hoy el eslabón principal para las autoridades locales de cara al 2030, para convertirlo en uno de los mejores en el Caribe y el mundo, por lo que se hace necesario y de vital importancia que las instalaciones turísticas cuenten con las condiciones óptimas para satisfacer al cliente más exigente. Para esto se necesita cumplir con los requerimientos de un buen comportamiento de los sistemas eléctricos, háblese de generación, transmisión, subtransmisión y distribución de energía eléctrica.

El cayerío norte incluye a los Cayos Santa María, Las Brujas y Ensenachos, es el principal polo turístico de la provincia, y como parte de un programa de desarrollo turístico se prevé que para el 2017 este complejo hotelero cuente con 13 102 habitaciones. Lo anterior implica un crecimiento inevitable de la capacidad de generación de la central eléctrica o su posible interconexión con el Sistema Eléctrico Nacional. Tomando el criterio de la demanda por habitación que se utiliza para este tipo de servicio de 2.25 kW por habitación, serían 29.5 MW de valor tope al que llegaría la demanda máxima posible [1].

El servicio eléctrico del cayerío noreste dispone de un sistema de generación constituido por grupos electrógenos que utilizan como combustibles el *fueloil* y diesel, con tecnología MAN, Hyundai y MTU, los cuales alimentan toda la carga en la cayería norte de Villa Clara [2], sin interconexión con el SEN, constituyendo así un sistema aislado. Este sistema eléctrico aislado trae consigo un conjunto de desventajas, entre las que se encuentra un elevado costo y efecto de contaminación y una menor estabilidad de la frecuencia en relación a sistemas interconectados ya que la estabilidad la proporciona la respuesta conjunta de todas las máquinas síncronas conectadas al sistema.

Para garantizar un avance turístico en el cayerío norte de Villa Clara se hace necesario poder abastecer eléctricamente la demanda exigida de la forma más segura y confiable, haciéndose necesario la interconexión con el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), para de esta forma garantizar toda la energía necesaria, brindar la autonomía de este sistema, la continuidad de servicio a todos los hoteles e instalaciones con la calidad requerida y ampliar las respuestas a las fallas.

Antecedentes del problema.

La puesta en servicio de la moderna subestación de distribución en la cayería norte de Villa Clara [3] junto con la planificación de aumentar gradualmente los niveles de generación local, una mayor exigencia en la disciplina operativa y tecnológica, el reordenamiento en las redes de distribución, la aplicación de medidas para mejorar la regulación de frecuencia , son acciones emprendidas para erradicar algunos de las principales causas que han sido responsables de los

colapsos experimentados por el Sistema Aislado Cayo Santa María (SACSM) en el pasado reciente.

En los últimos meses se han producido algunos eventos que evidencian debilidades propias de los sistemas aislados, como son la salida repentina de máquinas generadoras por motivos técnicos o por errores en la operación, que han con llevado a la caída total del sistema o en el mejor de los casos a un peligroso deterioro de los principales parámetros de las maquinas restantes.

A partir de estos antecedentes cabe entonces el planteamiento de la interrogante científica siguiente:

¿Cuál será la mejor variante de conexión del Sistema Aislado Cayo Santa María con el SEN?

Para dar respuesta a esta interrogante en el presente trabajo se planteó como objetivo general el siguiente:

Proponer la variante de conexión del Sistema aislado Cayo Santa María con el SEN.

De este objetivo general se derivan los objetivos específicos siguientes:

- Confeccionar los regímenes bases en el software PSX en los estados de mínima y máxima demanda.
- Analizar las diferentes variantes sobre los posibles puntos de salida del cable submarino.
- Seleccionar las variantes de solución para garantizar un servicio eléctrico de calidad en el Cayo Santa María.
- Evaluar los efectos de la interconexión con el SEN.
- Realizar una valoración económica de las variantes de conexión.

Organización del informe

En el presente trabajo se desarrollará un estudio técnico-económico sobre la interconexión del Sistema Aislado Cayo Santa María con el Sistema Electroenergético Nacional (SEN)

En el Primer Capítulo: Se realiza una descripción y análisis de los conceptos y definiciones básicos relacionados con los sistemas eléctricos de potencia. Se muestran las generalidades de los sistemas eléctricos aislados y se analizan las características de los sistemas a interconectar.

En el Segundo Capítulo: Se muestran las características de las posibles variantes de interconexión, así como las posibles trazas del cable submarino.

En el Tercer Capítulo: Se hace referencia al análisis de resultados y valoración económica de la interconexión con el Sistema Electroenergético Nacional. En el mismo se explican los resultados obtenidos de las simulaciones en el programa PSX, se realiza un análisis económico de las posibles variantes de interconexión y se muestran las inversiones a ejecutar.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CARACTERRIZACIÓN DE LOS SISTEMAS A INTERCONECTAR

A partir del desarrollo de la energía eléctrica y su posible utilización comercial por parte del hombre, ésta ha jugado un papel determinante en el desarrollo de la humanidad.

La explotación de grandes fuentes de energía para ejecutar trabajos útiles ha sido la clave del ininterrumpido progreso industrial y parte primordial en la mejora de calidad de vida del hombre, en la sociedad moderna.

Las acciones de hacer llegar la energía eléctrica desde las fuentes hasta los consumidores, requieren de estructuras cada vez más complejas, denominadas en su conjunto como Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), los cuales poseen asociadas una serie de fenómenos en condiciones operativas normales y anormales, que son motivo del apasionado estudio de los ingenieros electricistas.

1.1 Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP)

Establecer una definición única de sistema de potencia, es algo difícil, ya que existe gran cantidad de autores que han establecidos sus puntos de vistas al respecto de esto, por ello, para ser objetivo se presentan los conceptos internacionales aceptados por instituciones de importancia.

Una de las definiciones más aceptadas a escala mundial, es la establecida por el *Institute of Electrical and Electronics Engineer* (*IEEE* de sus siglas en inglés); ésta define un sistema de potencia como “Una red formada por unidades generadoras eléctricas, cargas y/o líneas de transmisión de potencia, incluyendo el equipo asociado, conectado eléctricamente o mecánicamente a la red” [4].

Por otra parte el diccionario de términos eléctricos y electrónicos de la *IEEE*, define el sistema de potencia como las fuentes de potencia eléctrica, conductores y equipos requeridos para suplir la potencia eléctrica. Red eléctrica que se

encarga de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica, hasta los consumidores [5].

Aunque ambas definiciones anteriores gozan de una gran aceptación a nivel mundial, en este trabajo el autor define como Sistema Eléctrico de Potencia a un conjunto de elementos que tienen como fin generar, transformar, transmitir, distribuir y consumir la energía eléctrica de tal forma que se logre la mayor calidad al menor costo posible.

1.2 Estructura de un Sistema electrico

Desde finales del siglo XIX y durante todo el siglo XX, el crecimiento de los sistemas eléctricos ha ido a la par del avance tecnológico de la sociedad, hasta el punto de considerar el consumo de energía eléctrica como uno de los indicadores más claros del grado de desarrollo de un país.

Un sistema eléctrico de potencia consta de plantas generadoras que producen la energía eléctrica consumida por las cargas, una red de transmisión y de distribución para transportar y distribuir esa energía desde las plantas hasta los puntos de consumo, así como el equipo adicional necesario para lograr que el suministro de energía se realice con las características de continuidad de servicio, regulación de tensión y control de frecuencia requeridas [6].

La figura 1.1 muestra un esquema de la estructura de un sistema eléctrico actual de generación, transporte y distribución de energía eléctrica [4].

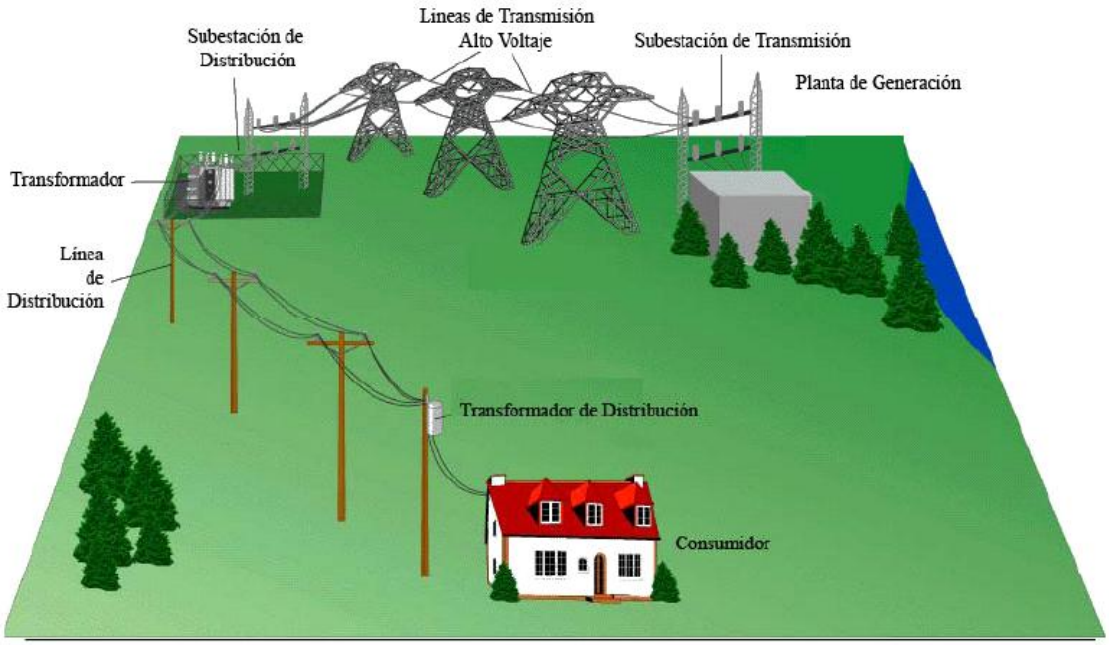

Fig. 1.1. Estructura de un sistema eléctrico de potencia.

En el caso del sistema eléctrico cubano, generalmente conocido como Sistema Electroenergético Nacional (SEN), la generación de energía eléctrica tiene lugar en las centrales eléctricas en que la gran mayoría son térmicas convencionales de petróleo crudo, de fuelóleo, de gas, (con ciclo combinado), diesel y biomasa cañera). Actualmente se está ampliando el tipo de centrales y así, aún con una potencia instalada mucho menor que las anteriores, existen centrales basadas en energías renovables: eólicas, fotovoltaicas, de biogás obtenido a partir de la biomasa o de residuos de la cosecha cañera. Los alternadores de las centrales producen la energía eléctrica a media tensión, de 6 a 30 kV, la que se eleva mediante los transformadores de salida de la central, para ser inyectada en la red de transmisión. La frecuencia del sistema de corriente alterna que se genera es fija y está normalizada a 60 Hz.

La red de transporte y distribución está formada por las líneas que llevan esa energía hasta los consumidores. La transmisión se hace en alta tensión (220 y 110 kV) para disminuir las pérdidas. La red de alta tensión es geográficamente

extensa, y abarca todo el territorio nacional más allá de las fronteras provinciales, es una red compleja.

En los nodos de esta gigantesca malla, donde las líneas se interconectan, es decir, a donde llegan y de donde salen, se encuentran las subestaciones con los transformadores, para cambiar a los niveles de tensión de las líneas, los elementos de mando y de protección, que sirven para manipular y proteger la red (interruptores, seccionadores, fusibles, pararrayos, etc.), y los elementos de medida, que permiten conocer en todo momento la situación del sistema y los valores de las variables más importantes.

De estas subestaciones salen líneas a menor tensión que forman las redes de subtransmisión y en algunos caso las distribución primaria (34.5 y 13.8 kV respectivamente), por lo general estas líneas son radiales y de menor longitud: en ellas se encuentran los centros de transformación, en los que la tensión se va reduciendo hasta que finalmente, llega hasta los últimos consumidores, para lo cual se transforman en las redes de distribución secundaria, de baja tensión (240 y 110 V) que es donde se conectan los consumidores menores.

1.3 Topología de un sistema eléctrico

Dentro de un sistema eléctrico, las diferentes líneas, dependiendo de su función, se pueden clasificar en tres tipos [6]:

1.3.1 Sistema Radial

Como su nombre lo indican, estos circuitos reciben el suministro de energía por un solo extremo y alimentan las cargas a lo largo de su recorrido esta descripción se puede apreciar en la figura 1.2.Su aspecto recuerda un árbol con el tronco y sus ramas, ya que consta de una línea central o tronco del cual sale un gran número de ramales y subramales que se desprenden de aquél para llegar hasta los lugares más apartados.

La mayor parte de los circuitos de subtransmisión y distribución son de este tipo. Sus ventajas estriban en su bajo costo de instalación y la sencillez de su

operación, mientras que las desventajas que presentan estos sistemas son su pobre regulación de voltaje y su poca confiabilidad, ya que una falla de carácter permanente puede dejar sin servicio a un gran número de consumidores.

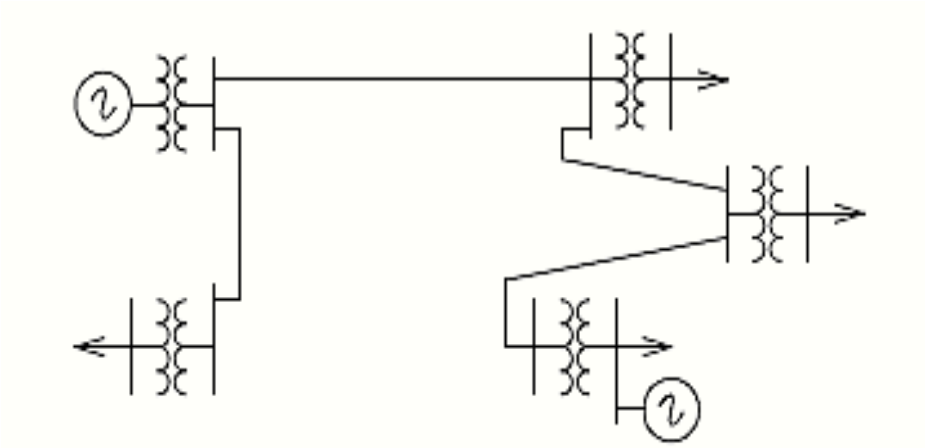

Fig. 1.2. Sistema radial.

1.3.2 Sistema en Anillo o Lazo

Estos circuitos parten desde una fuente de alimentación, y después de un recorrido regresan al punto de origen formando un lazo o anillo, véase en la figura 1.3.

Son más costosos, tienen buena regulación de voltaje y una alta fiabilidad de servicio, ya que una falla en una línea queda aislada por dichos interruptores, sin que los consumidores pierdan el servicio. Sólo se usan en lugares de alta fiabilidad.

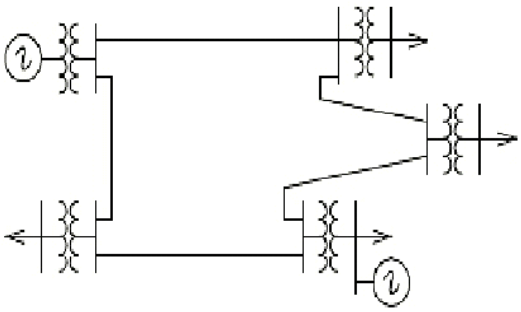

Fig. 1.3. Red en Lazo.

1.3.3 Red Mallada

Estos circuitos como su nombre lo indican, se forma una malla o red altamente interconectada, véase en la figura 1.4.

La mayor aplicación de estos circuitos se centra en la distribución y particularmente en la distribución secundaria de las grandes ciudades.

Esta red ofrece una alta confiabilidad en el servicio, ya que la avería de un transformador no interrumpe el servicio, puesto que la carga entregada por él se distribuye entre los demás; otra de sus ventajas es su alta regulación de voltaje, muy superior a la de los demás circuitos antes analizados.

Estas características hacen de estos circuitos ideales para su aplicación en aquellos lugares en que se requiere una alta confiabilidad y calidad en el servicio. Su implementación es más costosa [7].

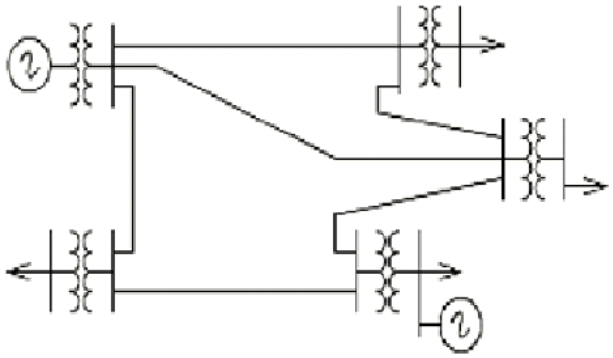

Fig. 1.4. Red mallada.

1.4 Generalidades sobre los sistemas eléctricos aislados

Los sistemas aislados se construyen como unidades autosuficientes en los cuales la potencia producida está ajustada al consumo de las cargas. Están compuesto por grupos de generación de muy baja inercia (como aerogeneradores y grupos accionados por motores de *fueloil* diesel) y con redes eléctricas poco malladas a niveles de tensión inferiores a las de los sistemas interconectados. Por estos motivos las variaciones de frecuencia que se producen en caso de perturbaciones

en la red son superiores a las que se originan en los sistemas con mayor interconexión. Por lo tanto, en el caso de una falla severa, el colapso de estos sistemas es inevitable y lleva a un *blackout*total y a la interrupción del suministro de todos los consumidores. Sin embargo, la reposición de todo el sistema resulta relativamente fácil debido a su pequeño tamaño. Es válido destacar también que "la respuesta de los sistemas insulares en caso de desconexión de grupos generadores está muy afectada por la magnitud de la reserva rodante. Por ello, el despacho de generación deberá reflejar la magnitud de la reserva rodante habitualmente seleccionada [8].

1.5 Interconexión de sistemas eléctricos

Una interconexión del sistema aislado con un sistema eléctrico fuerte, como es el caso por ejemplo del Sistema Aislado Cayo Santa María con el Sistema Electroenergético Nacional, se presenta como una alternativa o solución frente a los problemas asociados con los sistemas eléctricos aislados y aunque esto trae consigo inversiones millonarias, los beneficios de la interconexión son considerables. Entre estos beneficios se destacan:

- Economía: El enlace del sistema eléctrico interno del Sistema Aislado Cayo Santa María con el SEN, permite aprovechar el hecho de la generación en el SEN es en base al ¨crudo nacional¨ en su mayor parte, con un costo de generación mucho menor que la generación con diesel o *fueloil*.
- Continuidad del servicio: El pequeño sistema del Sistema Aislado Cayo Santa María está conformado por cuatro zonas eléctricas tal como se muestra en la figura 1.5: Base Apoyo (Generación), Circuito Ensenachos (circuito rojo), Circuito este (circuito verde) y Circuito Dunas (circuito azul),

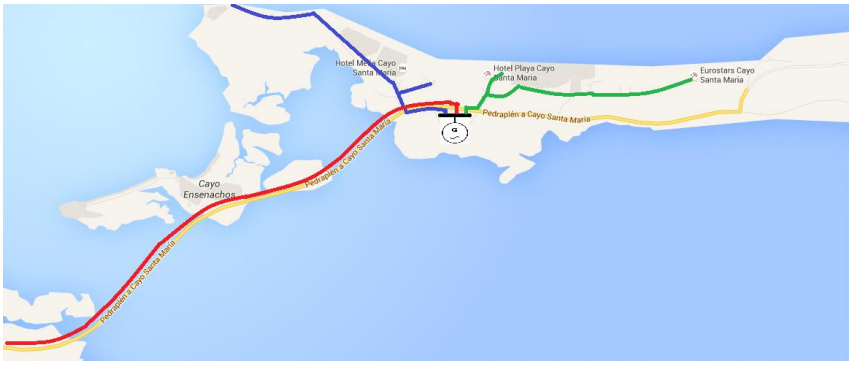

Fig. 1.5. Sistema eléctrico del polo turístico Cayo Santa María por zonas.

- La fiabilidad de estas cargas es muy dependiente tanto de las líneas que los alimentan como de la planta generadora. La condición de ser soterrados, hace que las líneas sean altamente confiables, no así las plantas, que son los elementos más vulnerables de un sistema, es por eso que se busca en todo momento disponer de una doble alimentación y para este caso solo se puede lograr mediante la interconexión del Cayo con el SEN.

La interconexión entre estos dos sistemas eléctricos tiene que llevarse a cabo a través de líneas sobre (o debajo) del mar, lo que limpia secciones de líneas aéreas y cables submarinos. Varios aspectos deben considerarse en este aspecto:

- ¿Cuánta potencia se planea transferir entre los sistemas?
- ¿Desde dónde deberá realizarse la interconexión?
- Aspectos medioambientales, permisos entre otros.

Se puede, inicialmente, definir que existen dos soluciones completamente diferentes para la interconexión de dos SEP:

- Enlace en corriente alterna (HVAC)
- Enlace en corriente directa (HVDC)

Un enlace en corriente alterna es la solución natural por su menor costo dado que la otra alternativa hoy no resulta viable para esa magnitud de potencia, que según los operadores del sistema este año 2017 fue de 18 MW, la máxima hasta la fecha.

Debe tenerse en cuenta que en realidad este no es el caso de la interconexión de dos sistemas, ya que el Cayo se transformará en una carga radial, y que sólo se mantendrán en él algunas máquinas para casos de emergencia extrema. Estas máquinas no trabajarán sincronizadas con el SEN.

1.6 Características sobre los sistemas eléctricos a interconectar

1.6.1 Sistemas Electroenergético Nacional

La matriz energética del Sistema Electroenergético Nacional (figura1.6) está compuesta mayoritariamente por plantas térmicas convencionales, aunque también participan otros tipos de tecnologías como la generación a gas natural y las energías limpias

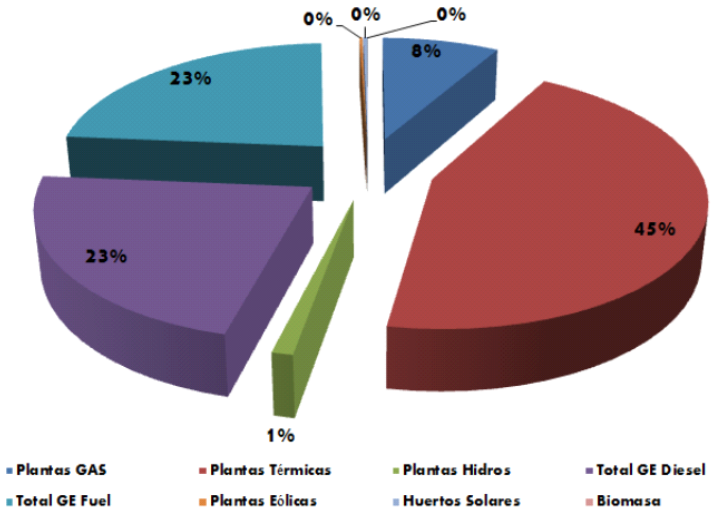

Fig. 1.6. Grafica de generación del Sistema Electroenergético Nacional.

Cuenta actualmente con 24 subestaciones de 220 kV, 114 subestaciones de 110 kV. A continuación se muestra en la figura 1.7 el comportamiento de la demanda.

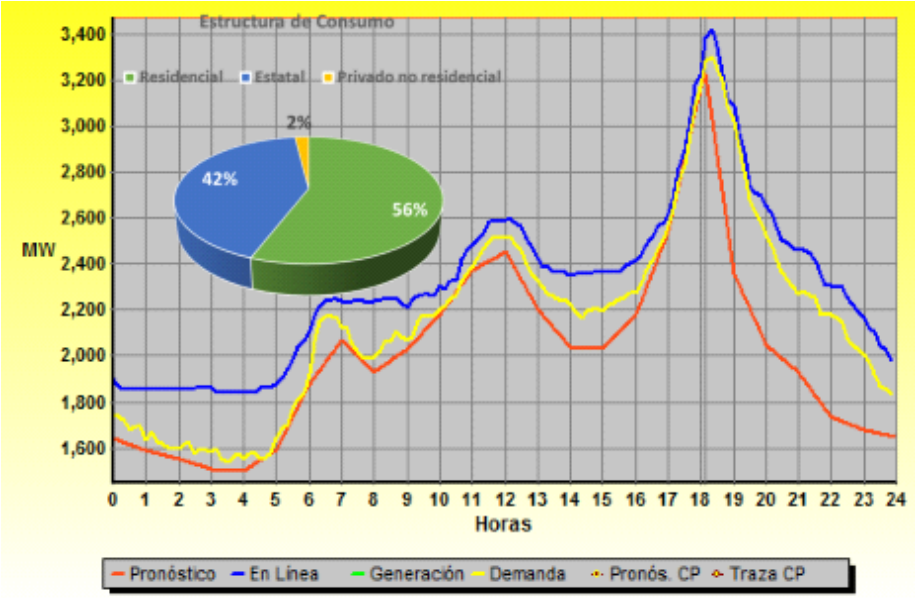

Fig. 1.7. Comportamiento de la demanda.

1.6.2 Sistema Aislado Cayo Santa María

Actualmente el Sistema Aislado Cayo Santa María cuenta con una planta generadora compuesta por:

- 2 unidades MAN de 3,85 MW.
- Una batería de 4 unidades Hyundai de 1,7 MW.
- 12 unidades MTU de 1,88 MW.
- 12 unidades MTU de tecnología china

Como se explicó anteriormente, estas máquinas sólo se mantendrán para algún caso de emergencia extrema ante un fallo en el cable submarino o su alimentación.

La carga eléctrica en este microsistema tiene la característica que varía de acuerdo a la temporada turística (alta o baja), según los operadores del sistema la

demanda máxima registrada hasta la fecha ha sido de 18.05 MW ocurrida este año 2017 mientras que la mínima es del orden de los 9 MW y ocurre generalmente en el mes de enero.

La forma de la curva es bastante llena debido a la propia actividad que se realiza, en la figura 1.8 se observa este comportamiento de la demanda para un mes [9].

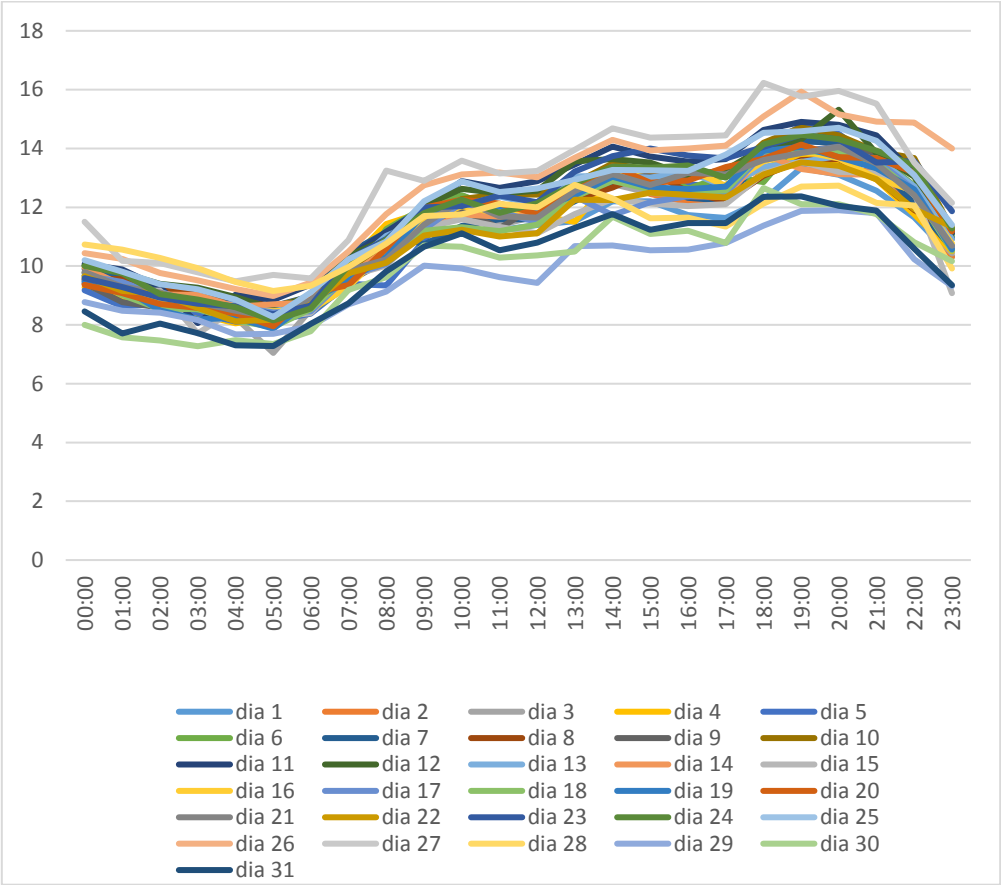

Fig. 1.8. Gráfico de carga del polo turístico Cayo Santa María.

Los principales factores que la caracterizan son:

Factor de carga: Fc = 0.847

Horas equivalentes: Heq = 17.7 h/día

Este sistema cuenta con 106 consumidores estatales los cuales tienen un consumo promedio de 5 542 336 MW.h/año y los tipos de carga que predominan son los siguientes

- Climatización 60 – 80%.
- Conservación de Alimentos 8 - 12%.
- Bombeos: 6 -10%.

Distribuidas en:

- 95 Cámaras de media tensión.
- 14 Casetas de Empalme.
- 16 Centros de Conmutación.

1.7 Programa de desarrollo eléctrico en el Cayo Santa María

El crecimiento turístico planificado para el Cayo Santa María hasta este año 2017, llegará hasta las 13 102 habitaciones como se muestra en la tabla 1, lo que implica inevitablemente un crecimiento de la capacidad de generación de la central eléctrica o su posible interconexión con el SEN. 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 deben desechar los valores iníciales [1].

Tabla 1.1. Habitaciones y demanda pronosticada por años.

Año	Habitaciones acumuladas según programa	Demanda máxima pronosticada(MW) según habitaciones	Demanda máxima real (MW)
2010	3607	8.1	8.6
2011	4993	11.2	9.5
2012	5884	13.2	11.6
2013	6730	15.1	14.0
2014	7749	17.4	14.2
2015	10057	22.6	16.1
2016	11717	26.4	17.65
2017	13102	29.5	18.05

El número de habitaciones se espera que se siga incrementando en los próximos años y aunque no se tiene el dato del valor de habitaciones por años que se espera que entren, se habla de la terminación de lo que será el mayor hotel del Cayo, el Lagunas 5, que contará con 24 piscinas y un gran número de habitaciones.

Todo este incremento en el número de habitaciones se traduce en un incremento del consumo de combustible en el Cayo y para determinarlo se consideró la operación utilizando tecnología *fueloil*, se tomó un índice de consumo de 205 g/kW.h y una densidad de 0.9645 kg/L; quedando como resultado la gráfica que se muestra seguidamente en la figura 1.9.

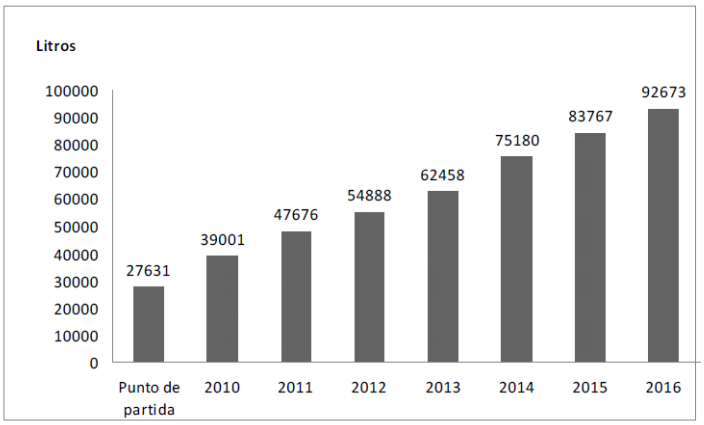

Fig. 1.9. Consumo de combustible diario.

Estos valores finales equivalen a tres pailas diarias de 30 000 L circulando por el pedraplén, acción que está demostrada es severamente dañina para los puentes del mismo, debido al excesivo peso de las pailas y del costo por transportación que esto requiere.

Analizando lo anterior se deduce que es necesario acometer una solución técnica para poder brindar el servicio eléctrico requerido. Con las condiciones actuales que tiene el sistema es imposible, ya que no hay suficiente potencia instalada para ello.

Las principales variantes que surgen de acuerdo a las posibilidades de la Unión Eléctrica (UNE) son: incrementar la generación en la planta Cayo Santa María o interconectar el sistema aislado con el Sistema Electroenergético Nacional.

La variante de incrementar generación en el Cayo tiene la ventaja de que los costos de inversión son menores, además de que pueden acometerse paulatinamente de acuerdo a las necesidades, sin embargo tiene varias desventajas, entre la que se destacan:

- Se mantiene la generación aislada lo que disminuye la fiabilidad del sistema.
- Es necesario instalar una potencia mayor que la requerida, manteniendo la misma proporción que existe actualmente (proporción que ha demostrado que es operable pero no debe disminuirse), ya que los mantenimientos que requieren las tecnologías *fueloil* y diesel así como las averías hacen salir de servicio las máquinas cada cierto tiempo.
- A medida que aumente la instalación de plantas generadoras aumenta la reserva rodante y el riesgo de una falla generalizada.
- El combustible que utilizan es costoso.
- La transportación de combustible es costosa también. Se hace desde el puerto de Cienfuegos.

- La transportación de combustible provoca daños en los puentes del pedraplén.
- Existe poco espacio físico en la planta Cayo Santa María para incrementar la generación.
- El costo ambiental de generar en el cayo puede ser elevado.
- En general los costos de operación son elevados

La variante de interconectar con el SEN tiene varias ventajas.

- Se evitaría la instalación de más generación en el Cayo lo que elimina todas sus desventajas.
- Se incorporaría a la curva de carga del sistema la carga del cayo, que es más llena en la madrugada lo que es favorable.

Sin embargo presenta las siguientes desventajas.

- La interconexión debe hacerse soterrada o submarina con un costo alto.
- Hay que adecuar las redes en el SEN para asimilar la interconexión.
- Esta tecnología es novedosa para los técnicos que la explotarán por lo que es necesario un análisis detallado de la misma.

1.8 Conexión del sistema aislado Cayo Santa María con el cable submarino a 110 kV

En nuestra universidad se han realizado un grupo de trabajos que tratan la interconexión del Sistema Electroenergético Nacional con el Sistema Aislado Cayo Santa María entre los que se destacan [8] donde se realizo un análisis de interconexión teniendo en cuenta diferentes trazas y niveles de voltaje existentes en nuestro país, en ellos se llega a un grupo de conclusiones

importantes entre las que se destacan las obtenidas en [10] en la cual se plantea que:

Los análisis correspondientes a un nivel de voltaje de 34,5 kV se desechan puesto que con ellos no se cumplen los parámetros de operación y las pérdidas son elevadas.

Es por esto que los análisis en este informe serán con una conexión a un nivel de voltaje de 110 kV.

El conductor utilizado para el análisis figura 1.10 se obtuvo a partir del catálogo del fabricante de cables tipo XLPE (Polietileno Reticulado) [11]. Fue seleccionado de cobre, con un calibre de 120 mm^2 puesto que tiene una corriente nominal de 334 A que satisface con cierto margen la demanda que se espera haya en el polo turístico Cayo Santa María.

Fig1.10. Cable Submarino

Los datos de este conductor son los que se muestran en la tabla 1.2 que aparece a continuación.

Tabla 1.2. Datos del conductor

DC-resistance at 20°C for the conductor	Ω/km	0,1530
AC-resistance at 90°C for the conductor and 60 Hz	Ω/km	0,1968
DC-resistance at 20°C for the metallic sheath	Ω/km	0,6362
Positive Sequence Impedance at 90°C for the conductor at 60 Hz, according to Cigré 531	Ω/km	0,222 + j0,186
Negative Sequence Impedance at 90°C for the conductor at 60 Hz, according to Cigré 531	Ω/km	0,222 + j0,186
Zero Sequence Impedance at 20°C for the conductor at 60 Hz, according to Cigré 531	Ω/km	0,605 + j0,342
Zero Sequence Impedance at 90°C for the conductor at 60 Hz, according to Cigré 531	Ω/km	0,712 + j0,417
Inductance of conductor	mH/km	0,492
Inductance of metallic sheath	mH/km	0,159
Capacitance per phase	µF/km	0,112
Charging current for one phase at 60 Hz	A/km	2,68
Charging capacity of three phase system at U0 and 60 Hz	kVAr/km	511
Maximum permissible conductor temperature for continuous load	°C	90
Continuous current rating at max. cond. temp., I_{max} (6)	A	334
Losses and cable temperatures for continuous load(6) of:	A	157
Conductor losses	W/m	3x 4,1
Dielectric losses	W/m	3x 0,2
Metallic screen losses	W/m	3x 0,2
Armour losses	W/m	1,5
Total losses	W/m	15,0

1.9 Conclusiones del capítulo

A modo de resumen se debe destacar que:

- La interconexión Cayo Santa María con el SEN aportaría una serie de ventajas técnicas de gran peso debido a la calidad de servicio que requiere la instalación. Esta aseveración se hará más firme con el paso del tiempo.
- La interconexión eléctrica del sistema aislado cayo Santa María con el SEN a 34.5 kV, a pesar de tener costos muchos más bajos que la interconexión a 110 kV, no es viable, por no cumplir los requisitos técnicos. Por tanto en caso de realizar este proyecto se recomienda realizarlo a un nivel de voltaje de 110 kV que es el que logra los parámetros de operación necesarios.
- La transportación de combustible para mantener la generación del cayo como sistema asilado no es ventajosa ya que causa daños para los puentes del pedraplén, debido al excesivo peso de las pailas además del costo por transportación que esto requiere.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIANTES DE INTERCONEXIÓN

El desarrollo de la industria turística constituye hoy uno de los principales pilares para el fortalecimiento de la economía nacional de cara al 2030, y entre los lugares llamados a constituir uno de los atractivos más destacados resalta por sus excelentes condiciones el Cayo Santa María que aspira a ser uno de los mejor posicionados en el Caribe y el mundo, de ahí la importancia de 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 su sistema eléctrico, háblese de generación, subtransmisión y distribución de la energía eléctrica [1].

En este Capítulo II se abordan temas definitorios para la selección de una variante de solución con el fin de lograr la interconexión del Sistema Aislado Cayo Santa María con el Sistema Electroenergético Nacional.

Para ello se analizan las características de la interconexión y las necesidades de la misma, así como el punto de interconectar ambos sistemas.

2.1 Descripción del SEN en el noreste de la región central [12]

Dado que la conexión del Cayo al SEN tiene que realizarse desde la costa norte de la región central, es imprescindible conocer las características de los municipios de Caibarién, Remedios, Camajuaní y Santa Clara en la provincia de Villa Clara; del municipio Yaguajay en la provincia de Santi Spíritus y del municipio de Chambas en la provincia de Ciego de Ávila.

La región norte de Villa Clara se alimenta con una línea 110 kV radial que parte de la subestación Santa Clara Industria 110 kV y alimenta las subestaciones Camajuaní y Remedios ambas 110/33 kV. Yaguajay actualmente se alimenta radialmente desde el nodo Sancti Spíritus 110 kV que forma parte del lazo central de 110 kV, este lazo tiene varios nodos intermedios (Placetas, Sancti Spírutus,

Jatibonico, son los más relevantes), mientras que Chambas se alimenta desde el nodo de Morón que parte de la subestación Vicente 110 kV, en la figura 2.1 y en la figura 2.2 se muestra un monolineal muy simple y un mapa, respectivamente, donde se puede apreciar lo anteriormente descrito.

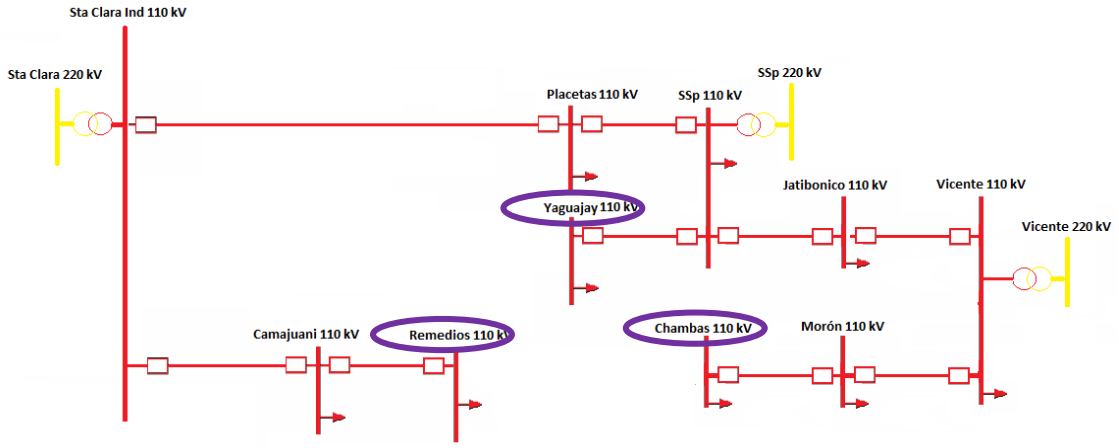

Fig 2.1. Diagrama esquemático de la región note de Villa Clara.

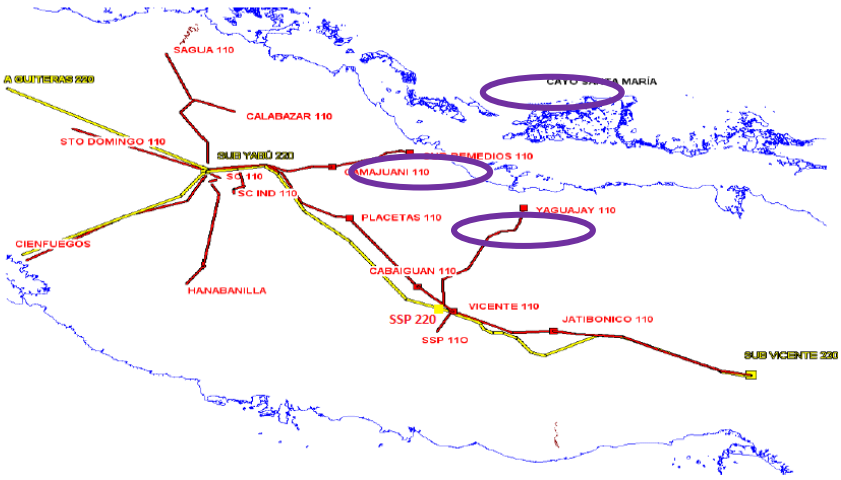

Fig 2.2. Mapa cartográfico de la red de 220 y 110 kV de la región norte central.

2.2 Variantes técnicas de interconexión del sistema aislado Cayo Santa María al SEM mediante un cable submarino

El enlace se propone a través de tres vías de conexión:

- Conexión desde Yaguajay al Cayo Santa María a 110 kV con salida del cable submarino por Punta Judas.
- Conexión desde Yaguajay al Cayo Santa María a 110 kV con salida del cable submarino por Playa Vitoria.
- Conexión desde Caibarién al Cayo Santa María a 110 kV.

2.3 Interconexión desde Yaguajay [1]

Para la propuesta de salida de tierra firme desde Yaguajay (véase en la figura 2.3) se escogieron dos variantes que poseen las mejores posibilidades territoriales, las que pasarían por el Canalizo de los Chorros. Ellas son:

- Desde Punta Judas, (extremo oriental de la provincia de Sancti Spíritus).
- Desde Playa Vitoria (Yaguajay).

Fig 2.3. Propuestas de sitios costeros para las salidas del cable hacia el medio marino desde tierra firme.

Las dos variantes de salida desde la costa de Yaguajay pasan por este canalizo, el cual cumple con las expectativas para la navegación, atendiendo a su profundidad tanto a la entrada como a la salida hacia Cayo Santa María, con profundidades superiores a los 2,5 m. El ancho medio de este canal sobrepasa los 40 m y una profundidad media de tres metros, que lo hace viable a la navegación. En los intercambios mareales siempre los reflujos o corrientes de vaciantes son superiores en velocidad que los flujos o llenantes, pero que en ninguno de los casos la velocidad de la corrientes sobrepasa los cuatro nudos. Los fondo son limpios y en su mayor parte recubierto por pastos marinos, sin que existan obstáculos para la navegación. Estas particularidades se presentan hasta la altura del bajo de Cortizo; ya posterior a este punto aumentan las profundidades superiores a los 3,5 m hasta el arribo al bajo de Santa María, donde prevalecen grandes acumulaciones arenosas, pero que no interfieren el arribo de la

infraestructura del cable, siempre respetando las instalaciones turísticas próximas [1].

2.3.1 Variante de interconexión desde Punta Judas [1]

Se propone un punto en la costa noreste de la provincia de Sancti Spíritus, conocido como Punta Judas que se encuentra ubicado en los límites del parque de Caguanes, este parque es zona protegida por lo que cualquier modificación en esa zona requiere la aprobación de las autoridades correspondientes al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

El sector costero está formado por una playa de arenas gruesas con abundante vegetación marina de *Thalassia*; este lugar se encuentra a unos ocho kilómetros del asentamiento poblacional de “Las Noventa” perteneciente al consejo popular de Mayajigua.

El uso actual del territorio es ganadero, con determinado grado de protección asociado a los valores arqueológicos y espeleológicos, vinculados a las elevaciones mogóticas que se encuentran próximas a la costa. El vial de acceso es un terraplén que necesita ser mejorado en pequeños zonas de intercambios que se encuentran deteriorados, como se muestra en la figura 2.4.

A pesar de ser una zona costera con espacios cubiertos por el bosque manglar, el acceso principal se aproxima a menos de 50 m de la costa, lo que permite la accesibilidad hacia el espacio marino sin mayores obstáculos.

El mayor inconveniente es la distancia donde se encuentran hoy día las infraestructuras de transmisión eléctrica del SEN, cuyos accesos son adecuados a pesar de ser por vías no pavimentadas, hasta Las Noventa, donde existe un batey. El recorrido del cable submarino desde este punto hasta Cayo Santa María es de aproximadamente 34 km.

Fig 2.4. Vial de acceso a Punta Judas.

2.3.1.1 Ubicación de la subestación de *switcheo* de salida del cable submarino

La imprescindible subestación de *switcheo* se ubicaría en los límites del parque Nacional Caguanes, figura 2.5, dentro de la zona protegida. No cuenta con vías de acceso que puedan facilitar la entrada a la zona; sólo se llega con equipos de características especiales, debido a lo anterior se tendría que construir una vía de acceso que sirviera para facilitar el transporte de materiales y de personal para la ejecución de la obra, se trata de una zona baja que llevaría a construir la estación de switcheo distante de la costa, entre 6 y 8 km de la misma; no cuenta con un asentamiento poblacional cercano, esto llevaría consigo que una vez puesta en marcha la obra los operarios que la atenderían tuvieran que trasladarse desde lejos. Una variante viable técnicamente en la actualidad es hacer la subestación totalmente automatizada y operada a distancia.

Fig 2.5. Espacio escogido para el emplazamiento de la subestación eléctrica en las proximidades de Punta Judas.

Las modificaciones al sistema eléctrico para la interconexión por Punta Judas se muestran en rojo en el siguiente monolineal, figura 2.6.

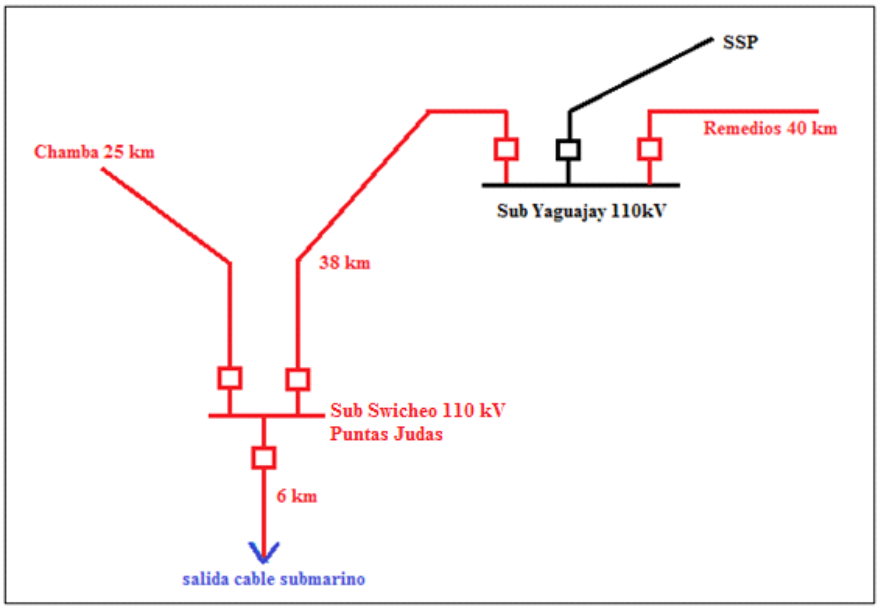

Fig 2.6. Monolineal para la conexión desde Punta Judas.

Esta variante de conexión presenta una serie de ventajas y desventajas que se muestran a continuación.

Como ventajas se destacan:

- La distancia del cable submarino sería menor, tomando como recorrido buscar el Canal de los Chorros, serian aproximadamente 34 km.
- Estaría casi fuera de la zona protegida (parque Nacional Caguanes) para lo cual la aprobación del CITMA sería menos trabajosa.

Como desventajas se presentan:

- Zona baja, tendría consigo un arduo trabajo de relleno, además de utilizar materiales con características especiales, como postes de hormigón etc.
- Mayor km de líneas de 110 kV a construir en tierra, por la lejanía de Yaguajay de ese punto, 109 km de línea a construir.
- Asentamientos poblacionales distantes, lo que dificulta la atención de la subestación. Vías de acceso en mal estado.
- La subestación de Yaguajay no cuenta con espacio para dos campos más de 110 kV.

2.3.2 Variante de interconexión desde Victoria

Es un sector costero de costa lacuno-palustre, donde se taló el bosque de mangle y se rellenó para la construcción de diferentes infraestructuras de apoyo al embarque de azúcar desde los inicios del siglo pasado. Se encuentra dentro la zona protegida del parque Caguanes, pero a pesar de ser una zona baja, el agua solo penetra alrededor de 800 m de la costa por lo que la subestación de *switcheo* quedaría más cerca de la posible salida del cable submarino. Cuenta con un vial de acceso pavimentado, como se muestra en la figura 2.7.

Las condiciones ingeniero-geológicas muestran una zona costera con relleno de material arcilloso y rocoso con un fondo marino fango-arenoso con buenas características para el arranque del cable submarino, al existir infraestructuras que permiten el arranque del cable desde un punto de mayor factibilidad de entrada en dependencia de la tecnología que se use. Este punto se encuentra a unos seis kilómetros del pueblo de Yaguajay, donde se encuentra una subestación eléctrica y un grupo electrógeno. El recorrido del cable submarino desde este punto a la infraestructura de generación en Cayo Santa María es de aproximadamente de 46 km.

Fig 2.7. Vial que facilita el arribo de toda la infraestructura de transmisión hacia el litoral Playa Vitoria.

2.3.2.1 Ubicación de la subestación de *switcheo* para la salida del cable submarino

Se encuentra dentro la zona protegida del parque Nacional Caguanes, a pesar de ser zona baja el agua solo penetra alrededor de 800m de la costa por lo que la subestación de *switcheo* quedaría más cerca de la posible salida del cable submarino, tiene una carretera en buen estado que va en línea recta hacia la costa, lo que serviría como posible traza; cuenta, además, con un asentamiento poblacional cercano de donde se puede preparar al personal que atendería la subestación de *switcheo*, En la figura 2.8 se muestra la zona analizada para la construcción de la misma.

Fig 2.8. Área escogida no posee ningún elemento de la biota para su protección, sino que es típica de uso ganadero.

Este emplazamiento posee un área de 100 m X 100 m, lo que equivale a unos 10 000 m^2.Su posición fue escogida en un sector no comprometedor con el Área Protegida del Parque Nacional Caguanes, principalmente dedicada a la ganadería y sin que se observen elementos de la flora o la fauna que sean objeto de protección.

Las modificaciones al sistema eléctrico para la interconexión por Playa Vitoria se muestran en rojo en la siguiente figura 2.9.

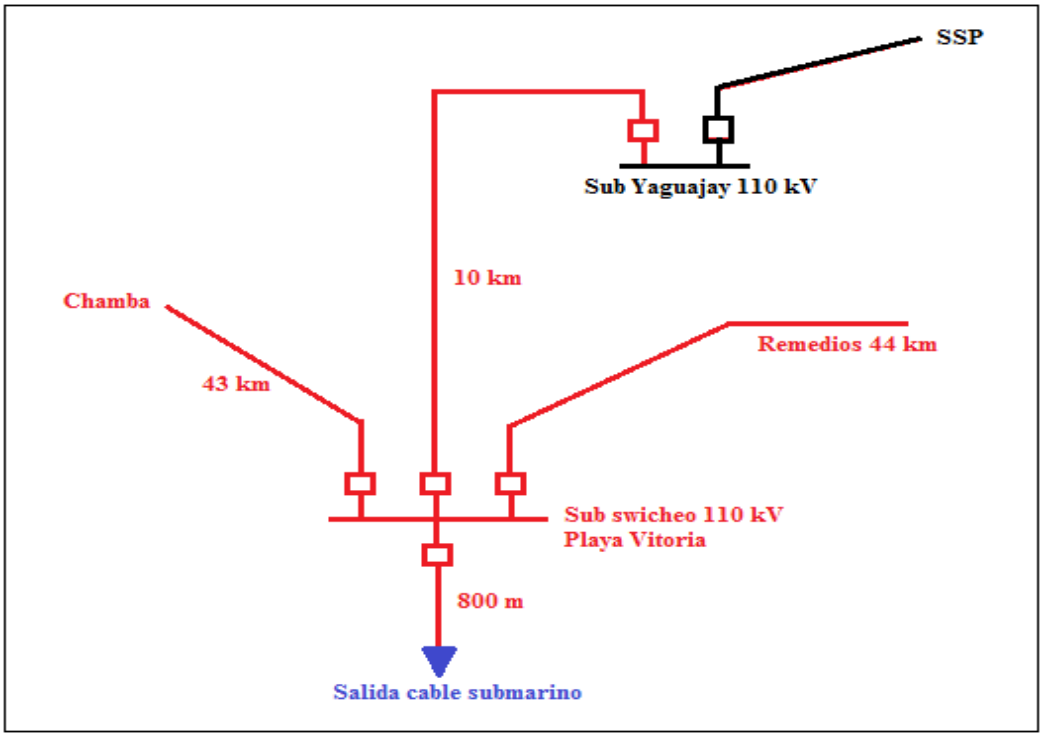

Fig 2.9. Monolineal para la conexión desde Playa Vitoria.

Esta variante de conexión presenta una serie de ventajas y desventajas que se muestran a continuación.

Como ventajas existen:

- Vía de acceso en buen estado que va hacia la misma costa de Playa Vitoria.
- Presenta un asentamiento poblacional cercano.
- Menor distancia de la sub Yaguajay.
- Posibilidad de hacer sub para tres campos de entrada y así no se tendrían que realizar grandes modificaciones en la sub Yaguajay.
- Menor km de líneas de 110 kV a construir en comparación con Punta Judas ya que para esta variante serian 98 km.

Las desventajas de la interconexión desde Playa Vitoria serían las siguientes.

- Se encuentra dentro de la zona protegida.
- Mayor distancia para el recorrido del cable submarino, 46 km.

2.4 Variante de arribo al Cayo Santa María para ambas variantes de Yaguajay

A partir de los puntos de salida de tierra firme desde Playa Vitoria y Punta Judas existe un punto común de intersección próximo a la ¨pasa de Manatí¨ que hasta la entrada al sur del centro de generación actual, le separan unos 20 km a través de un acuatorio con una profundidad media de entre 2.5 y 3 m donde priman, al igual que el resto del acuatorio, particularidades de fondos areno fangosos, con aguas transparentes en condiciones normales y salinidad que media entre 37 y 40 partes por mil.

La posible traza y punto de arribo del cable submarino se muestra en la siguiente figura 2.10.

Fig 2.10. Posibles trazas para el arribo al Cayo Santa María.

2.5 Estudio de Factibilidad Ambiental con el Cable submarino desde Yaguajay

Como punto de partida para efectuar una verdadera evaluación de factibilidad ambiental para el trazado del cable submarino se estimaron inicialmente tres elementos claves:

- Evaluación de los posibles puntos de partida desde tierra firme, partiendo de criterios tácticos-ambientales, teniendo en consideración las tecnologías más utilizadas mundialmente para el uso de esta tipología de conductores.
- Trazado marino de los posibles derroteros desde los puntos terrestres hasta el lugar idóneo de pase hacia el acuatorio exterior.
- Con esta misma metodología se partió desde el punto del paso de los Canalizos de los Chorros hacia Santa María.

Todo el litoral del norte de la provincia de Sancti Spíritus, está constituido esencialmente por una costa baja y pantanosa de tipo lacuno – palustre con pocos espacios naturales de tierra firme que favorezcan a la instalación de infraestructuras. Solo en aquellos lugares que constituyeron antiguos embarcaderos de azúcar de los CAI “Simón Bolívar” (Vitoria) y “Aracelio Iglesias” (Nela), construidos en el pasado siglo sobre la base tala del manglar y del relleno del área pantanosa los que se mantienen actualmente como tierra firme con algún tipo de infraestructura un tanto deteriorada con el tiempo.

2.6 Variante de interconexión desde Caibarién

Es un sector costero ubicado en la zona noreste de la provincia de Villa Clara, que no cuenta en la actualidad con una subestación de 110 kV desde donde se pueda salir hacia el polo turístico Cayo Santa María, aunque sí existe un proyecto de construcción de la misma, es por eso que se piensa en una posible interconexión desde este municipio.

El recorrido del cable submarino desde este punto a la infraestructura de generación en Cayo Santa María es de aproximadamente 43 km.

2.6.1 Ubicación de la subestación de *switcheo* para la salida del cable submarino

Se propone como punto de salida del cable submarino, el área de la antigua “Escuela de Botes” en Caibarién (figura 2.11), debido a que cuenta con el espacio necesario para la construcción, sin necesidad de ejecutar acciones de desbroce y afectación a terceros (entidades y particulares), con facilidades de conectividad con la infraestructura existente en la ciudad.

Fig 2.11. Propuesta del punto de salida.

Las modificaciones al sistema eléctrico para la interconexión desde Caibarién se muestran enrojo en la siguiente figura 2.12.

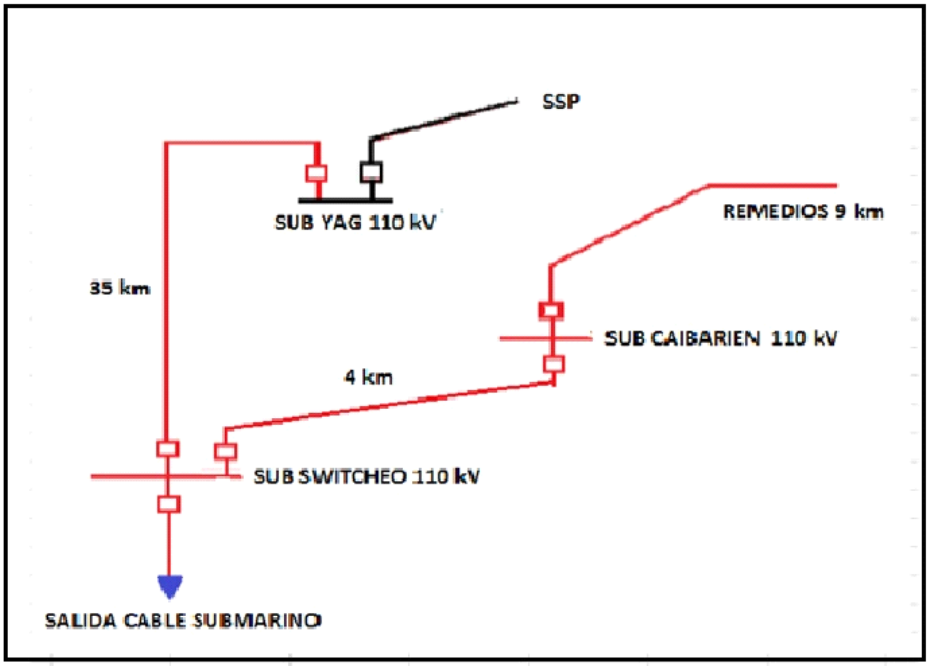

Fig 2.12. Monolineal para la conexión desde Caibarién.

Esta variante de conexión presenta una serie de ventajas y desventajas que se muestran a continuación.

Como ventajas se presentan:

- Vía de acceso en buen estado que va hacia la misma costa de Caibarién.
- Asentamiento poblacional.
- Menor km de líneas de 110 kV por tierra a construir en comparación con las dos variantes anteriores, serían sólo 48 km.

2.6.2 Variante de arribo al Cayo Santa María con salida desde Caibarién

El posible punto de arribo del cable tiene que ser necesariamente a partir de cayo Las Brujas que es donde comienzan las redes eléctricas soterradas, donde el cable pudiera conectarse y seguir el recorrido a través del terraplén hasta la base de apoyo de Cayo Santa María. El punto propuesto no coincide con zonas de áreas protegidas. En la figura 2.13 se muestra la localización para la variante de traza propuesta para el cable submarino de tierra firme hacia la cayería, y en la figura 2.14 se resumen algunos datos de interés de la misma.

Fig 2.13. Localización para las diferentes variantes de trazas para el cable submarino de tierra firme hacia la Cayería.

Punto de arribo	Distancia desde tierra firma (Km)	Coordenadas planas rectangulares (m)
1	42.81	698.35 314.4

Fig 2.14. Datos de interes sobre el punto de arribo del cable submario a la cayeria.

El punto de arribo del cable pudiera ser a través del canal de La U, situado entre los cayos Ensenachos y Cayo Santa María. Este canal comunica la parte exterior de la cayería con el pedraplén, presenta una barra de arena en su entrada que

obstaculiza la entrada de embarcaciones que calen más de 1.75 m con marea alta, los fondos son totalmente arenosos con poco contenido de materia orgánica, el cable puede ser enterrado a lo largo del canal hasta el puente del pedraplén, conectándose con la red eléctrica soterrada y a poca distancia está ubicada la base de apoyo de Cayo Santa María, donde se encuentra la planta eléctrica hasta donde se extenderá el conductor mediante una línea soterrada a 110 kV.

2.8 Estudio de Factibilidad Ambiental con Cable Submarino desde Caibarién

Como punto de partida para efectuar una verdadera evaluación de factibilidad ambiental para el trazado del cable subacuático de abastecimiento de electricidad al polo turístico de la Cayería del noreste de la provincia, se estimaron inicialmente los siguientes elementos claves:

- Evaluación de los posibles punto de partida desde tierra firme, partiendo de criterios tácticos-ambientales, teniendo en consideración las tecnologías más utilizadas mundialmente para el uso de esta tipología de conductores:
- Accesibilidad hacia los puntos de partida o existencia de alguna variante de acceso.
- Posibilidades de accesos marítimos de las tecnologías a utilizar.
- Existencia de infraestructuras ingeniero constructivas litorales que puedan ser utilizables.
- Distancias a las infraestructuras existentes de líneas de 110 kV del SEN.
- Ser áreas no comprometidas desde el punto de vista ambiental, de protección o de carácter estratégico-militar

Evaluación de posibles puntos de arribo del cable submarino ubicados en los diferentes cayos con conexión con el pedraplén

2.9 Conclusines del capítulo

Al elaborar este capítulo se arriban a las siguientes conclusiones:

- Para realizar la interconexión de Cayo Santa María con el SEN mediante un cable submarino es necesario construir 103 km de líneas a 110 kV para la salida por Punta Judas, 97 km de líneas para la salida por Playa Vitoria y 58 km para la interconexión por Caibarién.

- Las ventajas de la interconexión con el SEN permiten tener un sistema más robusto y confiable en la zona turística y se reducirían totalmente las emisiones de dióxido de carbono y otros gases contaminantes que actualmente se emiten en el mismo Cayo.

- Con la interconexión al SEN se elimina el riesgo de un derrame de petróleo que hoy existe debido al transporte del combustible por carretera. Todas estas variantes hacen atractiva la interconexión a través de un cable submarino.

CAPÍTULO 3. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS VARIANTES DE INTERCONEXIÓN

Entre las limitadas informaciones dadas por la UNE para el proyecto de la interconexión del Cayo Santa María con el SEN [10], existen tres posibles variantes ya analizadas como las más favorables: Punta Judas, Playa Vitoria y Caibarién.

Para cada una de ellas se ha establecido el requisito de que desde el SEN al punto de entrada de la línea al Cayo debe existir una doble alimentación por razones de fiabilidad, dada la importancia de la carga que se va a alimentar. Según estudios ya realizados [8], técnicamente, el voltaje mínimo para el proyecto debe de ser 110 kV, lo que unido al hecho que a lo largo de la geografía norte de las provincias de Villa Clara, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila, existen subestaciones de 110 kV que en forma radial se alimentan desde nodos de 220 kV de la zona central de esas provincias, o sea que las condiciones están creadas para reforzamiento exigido.

Este capítulo tiene como objetivo analizar los resultados técnicos-económicos y medioambientales de una posible interconexión eléctrica del Sistema Aislado Cayo Santa María con el SEN mediante un cable submarino, especificar las inversiones necesarias asociadas a este proyecto y un análisis económico de las variantes seleccionadas.

3.1 Herramienta de Simulación

Para realizar las simulaciones en este trabajo se utilizó el software PSX, una herramienta avanzada, desarrollada por profesores de la Universidad Central ‘Marta Abreu’ de Las Villas, que garantiza alta fiabilidad, concebida para asistir a los ingenieros de las Empresas Eléctricas y al Despacho Nacional en los estudios de operación, análisis y planificación de los Sistemas Eléctricos de Potencia, con el que es posible alcanzar resultados de alta calidad vinculados con los

problemas más frecuentes, con un mínimo de simplificaciones, además, PSX ofrece facilidades adicionales para el análisis de otros problemas reales.

3.2 Simulación del Cable Submarino

Para las simulaciones se analizó el Sistema Aislado Cayo Santa María con una demanda máxima de 13+j9 MV.A y una mínima de 9+j5 MV.A. Como es en esta última condición donde el sistema tiene menos capacidad para regular la tensión y el cable submarino genera altos niveles de reactivo se toma como situación crítica. Se analizó la conexión con el SEN y un circuito doble del cable submarino y a un nivel de voltaje de 110 kV pues como se ha explicado anteriormente en[8]se llega a la conclusión que la interconexión eléctrica del Sistema Aislado Cayo Santa María con el SEN a 34.5 kV, a pesar de tener costos muchos más bajos que la interconexión a 110 kV, no es aconsejable por presentar problemas desde el punto de vista técnico.

3.2.1 Simulación del Cable submarino con la subestación de *switcheo* ubicada en Punta Judas

Para la salida del cable por Punta Judas es necesario construir 40 km de línea para enlazar la subestación de Remedios 110 kV con la subestación de Yaguajay 110 kV. Además hay que construir dos líneas hacia la subestación de *switcheo* de Punta Judas, una de 38 km que sale de la subestación de Yaguajay 110 kV y otra de 25 km que sale de la subestación Chambas 110 kV en la provincia de Ciego de Ávila. Y desde la ubicación de la subestación hay que recorrer 6 km más por tierra hasta llegar al punto de salida del cable submarino. Toda esta descripción se puede apreciar en la figura 2.6.

Los resultados del flujo de caja se muestran seguidamente en forma de tabla:

Tabla 3.1. Comportamiento de los voltajes para la variante de Punta Judas

Variante Punta Judas	Yaguajay	Remedios	SSP	Chambas	Cayo
Máxima (kV)	118.7	118.2	119.3	119.0	119.5
Mínima (kV)	119.7	118.4	119.8	119.6	120.7

Tabla 3.2. Incremento de pérdidas al SEN para la variante de Punta Judas

Variante Punta Judas	Cable Submarino	Incremento total de pérdidas al SEN	
Régimen	**∆Q(MV.Ar)**	**∆P (MW)**	**∆Q (MV.Ar)**
Máximo	-17.6	0.303	-24.26
Mínimo	-20.55	0.271	-27.39

3.2.2 Simulación del cable submarino con la subestación de *switcheo* ubicada en Playa Vitoria

Para la salida del cable por Playa Vitoria es necesario construir 44 km de línea para enlazar la subestación de Remedios 110 kV con la subestación de *switcheo* en Playa Vitoria. Además hay que construir dos líneas hacia la subestación de *switcheo*, una de 10 km que sale de la subestación de Yaguajay 110 kV y otra de 43 km que sale de la subestación de Chambas 110 kV en la provincia de Ciego de Ávila. Para la salida de Playa Vitoria la subestación de *switcheo* estará ubicada a solo 800 m del punto de salida al mar. Toda esta descripción se puede apreciar en la figura 2.9.

Los resultados del flujo de carga para las condiciones descritas anteriormente se muestran en las tablas 3.3 y 3.4.

Tabla 3.3. Comportamiento de los voltajes para la variante de Playa Victoria

Variante Playa Vitoria	Yaguajay	Remedios	SSP	Chambas	Cayo
Máxima (kV)	119.5	119.3	118.4	119.1	119.2
Mínima (kV)	119.6	119.0	118.5	119.0	119.7

Tabla 3.4. Incremento de pérdidas al SEN para la variante de Playa Vitoria

Variante Playa Vitoria	Cable Submarino	Incremento total de pérdidas al SEN	
Régimen	**∆Q (MV.Ar)**	**∆P (MW)**	**∆Q (MV.Ar)**
Máximo	-18.12	0.32	-24.10
Mínimo	-19.23	0.27	-25.29

3.2.3 Simulación del Cable Submarino con la subestación *switcheo* ubicada en Caibarién

Para la salida del cable por el municipio Caibarién es necesario construir una subestación de 110 kV en dicho municipio a partir de esa la implementación de esa subestación se hace necesario la construcción de 9 km de línea para enlazar la subestación de Remedios 110kV con la nueva subestación de Caibarién. Además hay que construir dos líneas hacia la subestación de *switcheo*, una de 4 km que sale de la subestación de Caibarién 110kV y otra de 35 km que sale de la subestación de Yaguajay 110kV en la provincia de Sancti Spíritus. Para la salida desde Caibarién la subestación de *switcheo* estará ubicada en la antigua escuela de botes muy cerca del mar por lo que el cable submarino saldrá de la propia subestación de *switcheo*.

Los resultados del flujo de carga para las condiciones descritas anteriormente se muestran en las tablas 3.5 y 3.6.

Tabla 3.5. Comportamiento de los voltajes para la variante de Playa Victoria

Variante Caibarién	Yaguajay	Remedios	SSP	Cayo	Caibarién
Máxima (kV)	118.5	119.4	119.2	119.3	119.6
Mínima (kV)	117.6	119.2	119.6	119.5	119.3

Tabla 3.6. Incremento de pérdidas al SEN para la variante de Caibarién

Variante Caibarién	Cable Submarino	Incremento total de pérdidas al SEN	
Régimen	**ΔQ (MV.Ar)**	**ΔP (MW)**	**ΔQ (MV.Ar)**
Máximo	-24.57	0.325	- 27.38
Mínimo	-26.63	0.281	- 29.483

Como puede apreciarse, para todas las variantes los voltajes satisfacen las condiciones de operación; se observa también la fuerte incidencia del efecto capacitivo del cable.

3.3.2 Análisis de inversiones

3.3.3 Variante de interconexión Punta Judas

Para la interconexión del polo turístico Cayo Santa María al SEN por Punta Judas es imprescindible realizar un número de inversiones tanto en construcción de líneas como en la construcción y/o ampliación de las subestaciones existentes en la zona.

3.3.4 Inversiones necesarias para la variante de salida por Punta Judas

Para lograr el enlace al SEN del Sistema Aislado Cayo Santa María por Punta Judas se hace necesario como se explicó anteriormente construir 103 km de líneas de 110 kV para lograr el enlace entre las subestaciones más cercanas, los costos de la construcción de las mismas se desglosan en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Líneas de 110 kV a construir

Líneas a Construir 110 kV	Cantidad (km)	Costo (MUSD)
Remedio Yaguajay	40	4 000
Chambas Punta Judas	25	2 500
Yaguajay Punta Judas	38	3 800
Total	103	10 300

Para la salida de las líneas de 110 kV se hace necesario aumentar el números de campos en la subestación de Yaguajay pues la misma actualmente es una

subestación muy compacta y no tiene campos para recibir la línea que llega desde Remedios ni para la salida de la línea hacia la subestación de *switcheo*. Los costos de la construcción de estos campos en la subestación de Yaguajay se muestran desglosados en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Obras Inducidas en la Subestación de Yaguajay 110 kV

Subestación de Yaguajay (110 kV)	Cantidad	Costo (MUSD)
Campos 110 kV	3	300
Remedios	1	100
Subestación de *Switcheo*	1	100

Es necesario además la construcción de dos subestaciones nuevas una la que llamamos subestación de *switcheo* que es de donde partirá el cable submarino y otra de 110 kV (voltaje con el que se realizara la transmisión de energía hacia el Cayo) a 13 kV (voltaje que como se ha explicado anteriormente se realiza la distribución el polo turístico)

Los costos de estas subestaciones se muestran en las tablas 3.9 y 3.10

Tabla 3.9. Obras Inducidas para la nueva Subestación de *Switcheo* 110 kV

Subestación de *Switcheo* desde Punta Judas (110 kV)	Cantidad	Costo (MUSD)
Campos 110 kV	4	400
Yaguajay	1	100
Chambas	1	100
Salida Cable	2	200

Tabla 3.10. Obras Inducidas en la nueva Subestación Cayo Santa María 110/13 kV

Subestación Cayo Santa María 110/13 kV	Cantidad	Costo (MUSD)
Campos de 110 kV	2	200
Trafo 25MV.A 110/13.8 kV	2	500
Interruptores de 13.8 kV	2	72
Cable Soterrado 13.8 kV	2	130
Total		902

3.3.5 Costo del Cable Submarino y del enterramiento

Para la salida por Punta Judas es necesario extender el cable submarino por 34 km desde la posible ubicación de la subestación *switcheo* hasta el arribo al Cayo Santa María. Los costos del cable y del enterramiento del mismo se muestran en las tablas 3.11 y 3.12.

Tabla 3.11. Costo del cable submarino

Variante	Cantidad de (km)	Costo del Cable (MMUSD)
Punta Judas	34x2	22

Tabla 3.12. Costo del enterramiento

Variante	Cantidad de (km)	Costo (MMUSD)
Puntas Judas	34	16

3.3.6 Monto Total de la Inversión

Para la salida por Punta Judas a partir de la realización de las nuevas inversiones el monto total de la interconexión asciende a los 50 MMUSD.

3.3.7 Variante de Interconexión Playa Victoria

Para la interconexión del polo turístico Cayo Santa María al SEN por Playa Vitoria es imprescindible realizar un número de inversiones tanto en construcción de líneas como en la construcción y/o ampliación de las subestaciones existentes en la zona tal como se realizó para la variante de interconexión desde Punta Judas.

3.3.8 Inversiones necesarias para la variante de salida por Playa Vitoria

Para lograr el enlace al SEN del Sistema Aislado Cayo Santa María por Playa Vitoria se hace necesario como se explicó anteriormente construir 97 km de líneas de 110 kV para lograr el enlace entre las subestaciones más cercanas, los costos de la construcción de las mismas se desglosan en la tabla 3.13

Tabla 3.13 Líneas de 110 kV a construir

Líneas a Construir de 110kV	Cantidad (km)	Costo (MUSD)
Remedio - Playa Vitoria	44	4 400
Chambas - Playa Victoria	43	4 300
Yaguajay - Playa Vitoria	10	1 000
Total	97	9 700

Para la salida de las líneas de 110 kV se hace necesario aumentar el números de campos en la subestación de Yaguajay pues la misma actualmente es una subestación muy compacta y para la salida de la línea hacia la subestación de *switcheo*, en este caso no es necesario la construcción de un campo para recibir la línea desde Remedios pues esta va directamente conectada a la subestación de *switcheo*. Los costos de la construcción de estos campos en la subestación de Yaguajay se muestran desglosados en la tabla 3.14

Tabla 3.14 Obras Inducidas en la Subestación de Yaguajay 110 kV

Subestación de Yaguajay (110 kV)	Cantidad	Costo (MUSD)
Campos 110 kV	1	100
Subestación de *Switcheo*	1	100

Es necesario además la construcción de dos subestaciones nuevas una la que llamamos subestación de *switcheo* que es de donde partirá el cable submarino y otra de 110 kV (voltaje con el que se realizara la transmisión de energía hacia el Cayo) a 13 kV (voltaje que como se ha explicado anteriormente se realiza la

distribución el polo turístico) y además la ampliación de un campo en la subestación de Remedios de donde partirá la línea hacia la subestación de *switcheo*

Los costos de estas subestaciones se muestran en las tablas 3.15 y 3.16.

Tabla 3.15 Obras Inducidas para la nueva Subestación de *Switcheo* 110 kV

Subestación de *Switcheo* desde Playa Vitoria (110 kV)	**Cantidad**	**Costo (MUSD)**
Campos 110 kV	5	600
Yaguajay	1	100
Chambas	1	100
Salida Cable	2	200
Remedios	2	200

Tabla 3.16. Obras Inducidas en la nueva Subestación Cayo Santa María 110/13 kV

Subestación Cayo Santa María 110/13 kV	**Cantidad**	**Costo (MUSD)**
Campos de 110 kV	2	200
Trafo 25MV.A 110/13.8 kV	2	500
Interruptores de 13.8 kV	4	72
Cable Soterrado 13.8 kV	2	130
	Total	902

3.3.9 Costo del Cable Submarino y del enterramiento

Para la salida por Playa Vitoria es necesario extender el cable submarino por 46 km desde la posible ubicación de la subestación de *switcheo* hasta el punto de arribo al Cayo Santa María.

Los costos de enterramiento y del conductor se muestran en las tablas 3.17 y 3.18.

Tabla 3.17. Costo del cable submarino

Variante	Cantidad de (km)	Costo del Cable (MMUSD)
Playa Vitoria	46x2	30

Tabla 3.18. Costo del enterramiento

Variante	Cantidad de (km)	Costo (MMUSD)
Playa Vitoria	46	24

3.3.10 Monto Total de la Inversión

Para la variante de interconexión con la salida por Playa Vitoria el monto total de la inversión asciende a 65 MMUSD.

3.3.11 Variante de interconexión por Caibarién

Para la interconexión del polo turístico Cayo Santa María al SEN por el municipio Caibarién es imprescindible realizar un número de inversiones tanto en construcción de líneas como en la construcción y/o ampliación de las subestaciones existentes en la zona tal como se realizó para la variante de interconexión anteriores, es importante destacar que en este análisis no se incluyen los costos de la nueva subestación a construir en Caibarién pues esta inversión saldría por otro presupuesto.

3.3.3.1 Inversiones necesarias para la variante de salida por Caibarién

Para lograr el enlace al SEN del Sistema Aislado Cayo Santa María por Caibarién se hace necesario como se explicó anteriormente construir 48 km de líneas de 110 kV para lograr el enlace entre las subestaciones más cercanas, los costos de la construcción de las mismas se desglosan en la siguiente tabla:

Tabla 3.19. Líneas de 110 kV a construir

Líneas a Construir 110 kV	**Cantidad (km)**	**Costo (MUSD)**
Remedio Caibarién	9	900
Yaguajay Caibarién	35	3 500
Caibarién sub *switcheo*	4	400
Total	48	4 800

Para la salida de las líneas de 110 kV se hace necesario aumentar el números de campos en la subestación de Yaguajay pues la misma actualmente es una subestación muy compacta y para la salida de la línea hacia la subestación de *switcheo*, en este caso no es necesario la construcción de un campo para recibir la línea desde Caibarién pues esta va directamente conectada a la subestación de *switcheo*, aunque se mantiene la ampliación de la subestación de Remedios con la construcción de un campo para la línea que saldría hacia la nueva subestación de Caibarién. Los costos de la construcción de estos campos en la subestación de Yaguajay se muestran desglosados en la tabla 3.20.

Tabla 3.20. Obras Inducidas en la Subestación de Yaguajay 110 kV

Subestación de Yaguajay (110 kV)	**Cantidad**	**Costo (MUSD)**
Campos 110 kV	1	100
Subestación de Switcheo	1	100

Es necesario además la construcción de dos subestaciones nuevas una la que llamamos subestación de *switcheo* que es de donde partirá el cable submarino y otra de 110 kV (voltaje con el que se realizara la transmisión de energía hacia el Cayo) a 13 kV (voltaje que como se ha explicado anteriormente se realiza la distribución el polo turístico).

Los costos de estas subestaciones se muestran en las tablas 3.21 y 3.22.

Tabla 3.21. Obras Inducidas para la nueva Subestación de Switcheo 110 kV

Subestación de *Switcheo* desde Playa Vitoria (110 kV)	Cantidad	Costo (MUSD)
Campos 110 kV	4	500
Salida Cable	2	200
Remedios	1	100
Yaguajay	1	100
Caibarién	1	100

Tabla 3.22. Obras Inducidas en la nueva Subestación Cayo Santa María 110/13 kV

Subestación Cayo Santa María 110/13 kV	Cantidad	Costo (MUSD)
Campos de 110 kV	2	200
Trafo25MV.A 110/13.8 kV	2	500
Interruptores de 13.8 kV	4	72
Cable Soterrado 13.8 kV	2	130
	Total	902

3.3.3.2 Costo del Cable Submarino y del enterramiento

Para la salida por Playa Vitoria es necesario extender el cable submarino por 43 km desde la posible ubicación de la subestación de *switcheo* hasta el punto de arribo al Cayo Santa María.

Los costos de enterramiento y del conductor se muestran en las tablas 3.23 y 3.24.

Tabla 3.23.Costo del cable submarino

Variante	Cantidad de (km)	Costo del Cable (MMUSD)
Caibarién	43x2	26

Tabla 3.24.Costo del enterramiento

Variante	Cantidad de (km)	Costo (MMUSD)
Caibarién	43	22

3.3.3.3 Monto total de la Inversión

Para la variante de interconexión con la salida desde el municipio Caibarién el monto total de la inversión asciende a 57 MMUSD.

3.4 Valoración económica

La evaluación económica financiera constituye la etapa donde se mide si la magnitud de los beneficios obtenidos con la ejecución del proyecto supera los costos y gastos en que se incurrieron. Los resultados de esta evaluación indicarán la rentabilidad del proyecto, así como sus aportes en divisas a la economía nacional.

Para este análisis se consideran los datos de la UNE donde se brindan los costos de la energía del SEN y los costos de la energía con la generación del Sistema aislado Cayo Santa María, véase la tabla 3.25.

Tabla 3.25. Costo de la Energía (CUC/MW.h)

Costo de la energía en el Cayo	231,52
Costo de la energía en el SEN	133,01

Aunque en estos valores se incluyen los costos de transportación del combustible, no se incluyen los graves daños que se le están ocasionando al pedraplén y demás viales por donde circulan estos pesados transportes.

En la tabla 3.26 se muestra el ahorro que se produce solo por el concepto de interconexión al SEN del Sistema Aislado.

Tabla 3.26. Ahorro de energía por la interconexión (CUC/MW.h)

Playa Vitoria	**58,2**
Punta Judas	55,9
Caibarién	55,9

Para realizar este cálculo se han tenido en cuenta las pérdidas de potencia mostradas en el epígrafe 3.2

Es importante resaltar que los datos que la UNE ha ofrecido para realizar esta valoración económica han sido muy limitados, son insuficientes. En este caso se han asumido de acuerdo a los valores aproximados de la literatura internacional.

- Se consideran premisas del análisis.
- Una tasa de retorno de un 12%.
- El horizonte temporal que abarca la evaluación es de 30 años.
- Las horas equivalentes del SEN se consideran en 17 h/día.
- Las horas equivalentes del Sistema Aislado Cayo Santa María se consideran en 9.48 h/día.
- Un por ciento de crecimiento de la demanda por año de un 2% a partir del 2019.
- Índice de los Costos de mantenimientos de un 3% de la inversión inicial por año.

Los resultados de esta valoración económica tanto para diferentes periodos de construcción de la obra y para un enlace doble del conductor submarino se muestran en los anexos de este trabajo, seguidamente se muestra un resumen en forma comparativa de estos resultados.

3.5 Costo de generación del SEN y del Cayo

Como ya se ha indicado, las plantas del Cayo utilizan combustible diesel o *fueloil*, que son más costosos que el que usan las plantas del SEN, que utilizan una parte de *fueloil*, pero mayoritariamente emplean el crudo nacional que es mucho más económico.

Según datos de la UNE, los costos de generación para ambos sistemas fueron los mostrados en la tabla 3.25.

Resulta de interés observar la gran diferencia de costos de generación de ambos sistemas. La diferencia promedio es del orden de 98.51 CUC/MW.h, que aplicados a los 110 000 MW.h anuales de necesidades del Cayo representa un cifra del

orden de los 10.8 MMp/año que de por sí sola es capaz de pagar en muy poco tiempo cualquier inversión que se realice.

3.6 Valor Actual Neto (VAN) de las variantes que se analizan

Una de las formas de decidir entre las variantes que técnicamente satisfacen un proyecto, es mediante la valoración económica, que entre otros métodos puede realizarse mediante el VAN.

El VAN es el método más conocido y más aceptado, indica la cantidad neta en el presente, que representa la diferencia entre los ingresos y los egresos en el tiempo, a una cierta tasa de interés.

El VAN se determina a través de la siguiente expresión:

$$VAN_{(i\%)} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + ... + \frac{F_n}{(1+i)^n} \qquad (3.1)$$

Donde:

I: Tasa de descuento inversionista

F: Flujos netos de caja de cada periodo

I_0: Inversión inicial

Son muchas las variables que intervienen en su aplicación, algunas de las cuales, como ya se indicó, no se han podido obtener. Entre las de mayor influencia figuran la tasa de retorno y el tiempo de construcción del proyecto.

Para el primero como se indicó anteriormente se usó un 12%, en tanto basándose en experiencias similares en el país, se consideró un período de cuatro años. Los costos de mantenimiento anual se estimaron en un 3% anual sobre la inversión total.

En la tabla 3.27 se presenta a modo de ejemplo el VAN de la Variante Punta Judas (Véase también en anexo 1), cuyos datos son:

- Inversión en el SEN: 11,5 MMp
- Inversión en el cable: 39,1 MMp
- Tiempo de construcción: 4 años
- Tasa interna de retorno: 12%
- Mantenimiento anual: 3% de la inversión total
- Beneficio promedio anual por costo de la energía: 10.8 MMp/año

Tabla 3.27. Flujo de caja variante Punta Judas

Variante Punta Judas	Años de Construcción				Años de Explotación				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 1	Año 2	…	Año 29	Año 30
VAB	0	0	0	0	5.8	5.2	…	0.4	0.4
VAC	12.7	11.3	10.1	9	1	0.9	…	0	0
VAN	-12.7	-24	-34.1	-43.1	-38.3	-34	…	7.2	7.6

Para el análisis del VAN la inversión total comprende tanto las de tierra como las del mar con dos cables submarinos

A modo de resumen, los valores del VAN, para las tres variantes son:

- Punta Judas 7.6 MMp
- Playa Vitoria -7.8 MMp
- Caibarién 0.5 MMp

Como se observa la variante con mejor VAN es la primera, o sea Punta Judas.

3.7 Tiempo de recuperación de la inversión

Otro aspecto de gran interés es el tiempo en que se recupera la inversión. En el anexo 1 se puede observar la tabla que muestra el cálculo para el caso analizado.

En resumen, los valores, para las tres variantes son:

- Punta Judas: 10 años

- Playa Vitoria: 12 años
- Caibarién: 11 años

3.8 Otros escenarios

Un análisis de sensibilidad y/o cambios en las principales variables arrojan resultados dignos de analizar. En la tabla 3.28se muestran las influencias de algunas variables sobre el resultado final:

Tabla 3.28. Tiempo de ejecución del proyecto

Variante	VALOR ACTUAL NETO (VAN) Para 1, 2, 3 y 4 años de construcción			
	Un año	Dos años	Tres años	Cuatro años
Punta Judas	27.1	21.6	16.8	7.6
Playa Vitoria	8.6	4.1	0.4	-7.8
Caibarién	18.7	13.5	9.2	0.5

Es evidente que al disminuir el tiempo de construcción los beneficios comienzan a materializarse antes y por tanto el proyecto se hace más rentable.

3.9 Instalación de un solo cable submarino

Otras de las variantes analizadas fue la de la interconexión con un solo cable submarino, aunque esta variante disminuye la fiabilidad también reduce los costos considerablemente, en la tabla 3.29. se muestra un resumen en forma comparativa del cálculo del VAN.

Tabla 3.29. Resultados del VAN para la interconexión con uno y dos cables

Variante	VALOR ACTUAL NETO (VAN) para uno y dos cables submarinos en un periodo de construcción de la obra de 4 años	
	Un cable	Dos cables
Punta Judas	20.6	7.6
Playa Vitoria	9.8	-7.8
Caibarién	14.2	0.5

Puede observarse un efecto similar al del análisis anterior.

3.10 Conclusiones del capítulo

Para realizar la interconexión de Cayo Santa María con el SEN mediante un cable submarino es necesario construir 103 km de líneas a 110 kV para la salida por Punta Judas, 97 km de líneas para la salida por Playa Vitoria y 48 km para la salida desde el municipio Caibarién.

La interconexión al SEN provoca un ahorro promedio del orden de 98.51 CUC/MW.h anuales que aplicados a las de necesidades de energía del Cayo representa un cifra del orden de los 10.8 MMp/año que de por sí sola es tentadora.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Al realizar este trabajo se arriban a las siguientes conclusiones

1- La conexión del Sistema Aislado Cayo Santa María (SACSM) al SEN requiere reforzar la red de 110 kV de la región noroeste del sistema centro, mediante la construcción de nuevas líneas y subestaciones para garantizar un servicio fiable a las instalaciones turísticas del Cayo.
2- Pudiera existir cierta incertidumbre por falta de precisión en los datos disponibles, no obstante, las cifras resultan tan favorables, que todo indica que esto no es determinante.
3- En todas las variantes de interconexión analizadas, se ha podido observar el gran peso que representa el ahorro por concepto del disminución del costo de generación, que es de alrededor de 98 CUC/MW.h. Para una demanda anual del orden de los 110 GW.h, esto representa alrededor de 10 MMCUC/año.
4- La cifra anterior, aunque lleva ya implícita los gastos de transporte del combustible, no analiza el impacto que sobre las vías, fundamentalmente el pedraplén, ocasiona la circulación de los pesados medios de transporte usados para este servicio.
5- De igual forma, por falta de definición en la estrategia general del proyecto, no se considera el valor residual de la planta instalada en el Cayo.
6- La interconexión por 110 kV del SACSM implementando la variante de Punta Judas es la más recomendable desde el punto de vista de inversión económica y con menores pérdidas en la transferencia de potencia.

Recomendaciones

Como recomendaciones de este trabajo están:

1- Perfeccionar los resultados obtenidos mediante el mejoramiento de los datos usados en la valoración del proyecto.
2- Resaltar el gran efecto favorable que tiene la ejecución del proyecto en el menor tiempo posible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Grupo, de, desarrollo., Organización, Básica, Eléctrica, *et al.*, "Análisis de la posible interconexión del sistema aislado Cayo Santa María con el SEN mediante un cable submarino.," ed, 2016.

[2] S. Dorta, Empresa, Eléctrica, Villa, and Clara., "Informe sobre la Situación Actual y Perspectiva de la Infraestructura Eléctrica Cayo Santa María”." p. 11, Junio 2014.

[3] Á. F. Pérez., "Eléctricos garantizan desarrollo del turismo en la Cayería Norte de Villa Clara" Granma Internacional," ed. . La Habana. Periódico Gramna, 4, Feb 13, 2014.

[4] F. M. Gonzalez, *Introducción a los Sistemas de Potencia*, Empresa CADAFE de Venezuela. ed., 2008.

[5] J. R. V. P. SALMERÓN, R. S. HERRERA Y S. P. LITRÁN, "Title," unpublished|.

[6] Viqueira and J. L, *Redes Eléctricas*, México, UNAM, Facultad de Ingeniería ed. vol. Tomo I, 2004.

[7] L. C. Fernández, *Sistemas Electroenergeticos*.

[8] Silvio Eric Ruiz González, "Interconexión del Sistema eléctrico aislado Cayo Santa María con el Sistema Electroenergético Nacional,," Departamento de Electroenergética, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas,, 2011,.

[9] Yanet, Rivas, and Arocha, "Impacto de la generación fotovoltaica en el sistema aislado Cayo Santa María ,," Departamento de Electroenergética, , Marta Abreu de las Villas, 2016

[10] Yamileisy, Díaz , and Ferrer, "Ajustes de las protecciones de las líneas de interconexión con Cayo Santa María,," Departamento de Electroenergética,, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas,, 2015.

[11] P C Systems, "Cables para redes de media Tensión," ed. Agentina, 2009, p. 53.

[12] Sitio, Web, Despacho, de, and Carga, "Esquema eléctrico de las líneas de 110 kV de la provincia Villa Clara," ed, Cuba 2015.

ANEXOS

Anexo I Resultados de la valoración económica para un periodo de construcción de la obra de cuatro y un enlace doble.

Valor Actual de las inversiones (MMP)

Variante	Años de construcción				Años de explotación													
	% de Mantenimiento de la inversión inicial por año				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Playa Vitoria	16,5	14,7	13,1	11,7	1,3	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Punta Judas	12,7	11,3	10,1	9	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Caibarién	14,4	12,8	11,4	10,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3

Variante	Años de explotación															
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
Playa Vitoria	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0
Punta Judas	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0
Caibarién	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0

Cubrimiento de la energía demandada por el cayo por los diferentes combustibles (GW.h/año)

% Crecimiento demanda/año		0	0	0	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Años	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**
Diesel	25,5	25,5	25,5	25,5	26,5	27,1	27,6	28,1	28,7	29,3	29,9	30,5	31,1	31,7
Fuel	79,3	79,3	79,3	79,3	82,5	84,1	85,8	87,5	89,3	91,1	92,9	94,7	96,6	98,6
Total	104,8	104,8	104,8	104,8	109,0	111,2	113,4	115,7	118,0	120,3	122,7	125,2	127,7	130,3

% Crecimiento demanda/año	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Años	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**2035**	**2036**	**2037**	**2038**	**2039**	**2040**	**2041**	**2042**	**2043**
Diesel	32,3	33,0	33,6	34,3	35,0	35,7	36,4	37,1	37,9	38,6	39,4	40,2	41,0	41,8
Fuel	100,5	102,5	104,6	106,7	108,8	111,0	113,2	115,5	117,8	120,1	122,5	125,0	127,5	130,1
Total	132,9	135,5	138,2	141,0	143,8	146,7	149,6	152,6	155,7	158,8	162,0	165,2	168,5	171,9

Costo de la energía generada en el cayo menos costo de la energía generada en el SEN (MMP)

Variante	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
Playa Vitoria	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1
Punta Judas	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1
Caibarién	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1

Variante	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30
Playa Vitoria	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6
Punta Judas	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6
Caibarién	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6

Valor Actual de los Beneficios (MMP)

Variante	Años de construcción				Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Playa Vitoria	0	0	0	0	5,8	5,2	4,7	4,2	4,3	3,5	3,2	2,9	2,7	2,4	2,2	2	1,8	1,7
Punta Judas	0	0	0	0	5,8	5,2	4,7	4,2	3,9	3,5	3,2	2,9	2,7	2,4	2,2	2	1,8	1,7
Caibarién	0	0	0	0	5,8	5,2	4,7	4,2	3,9	3,5	3,2	2,9	2,7	2,4	2,2	2	1,8	1,7

Variante	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
Playa Vitoria	1,5	1,4	1,3	1,1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Punta Judas	1,5	1,4	1,3	1,1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Caibarién	1,5	1,4	1,3	1,1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4

Flujo de caja Variante Playa Vitoria

Variante Playa Vitoria	Años de construcción				Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	0	0	0	5.8	5.2	4.7	4.2	4.3	3.5	3.2	2.9	2.7	2.4	2.2	2	1.8	1.7
VAC	16.5	14.7	13.1	11.7	1.3	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
VAN	-16.5	-31.2	-44.3	-56	-51.5	-47.4	-43.7	-40.4	-36.9	-34.1	-31.5	-29.2	-27	-25.1	-23.3	-21.7	-20.2	-18.8

Variante Playa Vitoria	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	1.5	1.4	1.3	1.1	1	1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
VAC	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
VAN	-17.6	-16.5	-15.4	-14.5	-13.7	-12.8	-12	-11.3	-10.7	-10.1	-9.6	-9.2	-8.8	-8.5	-8.2	-7.8

Flujo de caja Variante Punta Judas

Variante Punta Judas	Años de construcción				Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	0	0	0	5.8	5.2	4.7	4.2	3.9	3.5	3.2	2.9	2.7	2.4	2.2	2	1.8	1.7
VAC	12.7	11.3	10.1	9	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
VAN	-12.7	-24	-34.1	-43.1	-38.3	-34	-30.1	-26.6	-23.3	-20.3	-17.6	-15.1	-12.8	-10.7	-8.8	-7.1	-5.5	-4

Variante Punta Judas	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	1.5	1.4	1.3	1.1	1	1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
VAC	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0
VAN	-2.7	-1.5	-0.4	0.6	1.5	2.4	3.2	3.9	4.5	5.1	5.6	6	6.4	6.8	7.2	7.6

Flujo de caja Variante Caibarién

Variante Caibarién	Años de construcción				Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	0	0	0	5.8	5.2	4.7	4.2	3.9	3.5	3.2	2.9	2.7	2.4	2.2	2	1.8	1.7
VAC	14.4	12.8	11.4	10.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
VAN	-14.4	-27.2	-38.6	-48.8	-44.1	-39.9	-36.1	-32.7	-29.5	-26.6	-24	-21.6	-19.3	-17.3	-15.5	-13.8	-12.3	-10.9

Variante Caibarién	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	1.5	1.4	1.3	1.1	1	1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
VAC	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
VAN	-9.6	-8.4	-7.3	-6.4	-5.5	-4.6	-3.8	-3.1	-2.5	-1.9	-1.4	-1	-0.6	-0.3	0.1	0.5

Años en que se paga la inversión de cada variante

Variante playa Vitoria			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	16,45	0	-16,45
2	16,45	0	-32,9
3	16,45	0	-49,35
4	16,45	0	-65,8
5	2,0	10,3	-57,5
6	2,0	10,3	-49,2
7	2,0	10,3	-40,9
8	2,0	10,3	-32,6
9	2,0	10,7	-23,9
10	2,0	11,0	-14,9
11	2,0	11,2	-5,7
12	2,0	11,4	***3,7***

Variante Punta Judas			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	12,65	0	-12,65
2	12,65	0	-25,3
3	12,65	0	-37,95
4	12,65	0	-50,6
5	1,5	10,3	-41,8
6	1,5	10,3	-33
7	1,5	10,3	-24,2
8	1,5	10,3	-15,4
9	1,5	10,7	-6,2
10	1,5	11,0	***3,3***

Variante Caibarien			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	14,35	0	-14,35
2	14,35	0	-28,7
3	14,35	0	-43,05
4	14,35	0	-57,4
5	1,7	10,3	-48,8
6	1,7	10,3	-40,2
7	1,7	10,3	-31,6
8	1,7	10,3	-23
9	1,7	10,7	-14
10	1,7	11	-4,7
11	1,7	11,2	4,8

Anexo II Resultados de la valoración económica para un periodo de construcción de la obra de tres años y un enlace doble

Valor Actual de las inversiones (MMP)

Variante	Años de construcción			Años de explotación													
	% de Mantenimiento de la inversión inicial por año			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Playa Vitoria	21,9	19,6	17,5	1,4	1,3	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3
Punta Judas	16,9	15,1	13,4	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
Caibarién	19,1	17,1	15,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3

Variante	Años de explotación															
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
Playa Vitoria	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Punta Judas	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0
Caibarién	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0

Cubrimiento de la energía demandada por el cayo por los diferentes combustibles (GW.h/año)

% Crecimiento demanda/año		0	0	0	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Años	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**
Diesel	25,5	25,5	25,5	25,5	26,5	27,1	27,6	28,1	28,7	29,3	29,9	30,5	31,1	31,7
Fuel	79,3	79,3	79,3	79,3	82,5	84,1	85,8	87,5	89,3	91,1	92,9	94,7	96,6	98,6
Total	104,8	104,8	104,8	104,8	109,0	111,2	113,4	115,7	118,0	120,3	122,7	125,2	127,7	130,3

% Crecimiento demanda/año	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Años	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**2035**	**2036**	**2037**	**2038**	**2039**	**2040**	**2041**	**2042**	**2043**
Diesel	32,3	33,0	33,6	34,3	35,0	35,7	36,4	37,1	37,9	38,6	39,4	40,2	41,0	41,8
Fuel	100,5	102,5	104,6	106,7	108,8	111,0	113,2	115,5	117,8	120,1	122,5	125,0	127,5	130,1
Total	132,9	135,5	138,2	141,0	143,8	146,7	149,6	152,6	155,7	158,8	162,0	165,2	168,5	171,9

Costo de la energía generada en el cayo menos costo de la energía generada en el SEN (MMP)

Variante	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
Playa Vitoria	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1
Punta Judas	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1
Caibarién	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1

Variante	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30
Playa Vitoria	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6
Punta Judas	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6
Caibarién	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6

Valor Actual de los Beneficios (MMP)

Variante	Años de construcción			Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Playa Vitoria	0	0	0	7,3	6,5	5,8	5,2	4,8	4,4	4	3,7	3,3	3,1	2,8	2,5	2,1	1,9
Punta Judas	0	0	0	7,3	6,5	5,8	5,2	4,8	4,4	4	3,7	3,3	3,1	2,8	2,2	2,1	1,9
Caibarién	0	0	0	7,3	6,5	5,8	5,2	4,8	4,4	4	3,7	3,3	3,1	2,8	2,2	2,1	1,9

Variante	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
Playa Vitoria	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
Punta Judas	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
Caibarién	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4

Flujo de caja Variante Playa Vitoria

Variante Playa Vitoria	Años de construcción			Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	0	0	7.3	6.5	5.8	5.2	4.8	4.4	4	3.7	3.3	3.1	2.8	2.5	2.1	1.9
VAC	21.9	19.6	17.5	1.4	1.3	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
VAN	-21.9	-41.5	-59	-53.1	-47.9	-43.2	-39	-35.1	-31.5	-28.2	-25.1	-22.4	-19.8	-17.5	-15.4	-13.7	-12.1

Variante Playa Vitoria	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
VAC	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
VAN	-10.7	-9.5	-8.3	-7.2	-6.2	-5.3	-4.4	-3.6	-2.9	-2.3	-1.7	-1.2	-0.7	-0.3	0.1	0.4

Flujo de caja Variante Punta Judas

Variante Punta Judas	Años de construcción			Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	0	0	7.3	6.5	5.8	5.2	4.8	4.4	4.0	3.7	3.3	3.1	2.8	2.2	2.1	1.9
VAC	16.9	15.1	13.4	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
VAN	-16.9	-32	-45.4	-39.2	-33.7	-28.8	-24.4	-20.3	-16.5	-13	-9.8	-6.9	-4.2	-1.7	0.2	2	3.7

Variante Punta Judas	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
VAC	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
VAN	5.2	6.5	7.7	8.8	9.9	10.9	11.8	12.6	13.3	13.9	14.5	15	15.5	15.9	16.4	16.8

Flujo de caja Variante Caibarién

Variante Caibarién	Años de construcción			Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	0	0	7.3	6.5	5.8	5.2	4.8	4.4	4.0	3.7	3.3	3.1	2.8	2.2	2.1	1.9
VAC	19.1	17.1	15.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
VAN	-19.1	-36.2	20.5	-45.4	-40	-35.2	-30.9	-26.9	-23.2	-19.8	-16.7	-13.9	-11.2	-8.8	-7	-5.2	-3.6

Variante Caibarién	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
VAC	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
VAN	-2.2	-0.9	0.3	1.4	2.4	3.4	4.3	5.1	5.8	6.4	7	7.5	8	8.4	8.8	9.2

Años en que se paga la inversión de cada variante

Variante playa Vitoria			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	21,93	0	-21,93
2	21,93	0	-43,86
3	21,93	0	-65,79
4	2,0	10,3	-57,49
5	2,0	10,3	-49,19
6	2,0	10,3	-40,89
7	2,0	10,3	-32,59
8	2,0	10,7	-23,89
9	2,0	11	-14,89
10	2,0	11,2	-5,69
11	2,0	11,4	***3,71***

Variante Punta Judas			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	16,87	0	-16,87
2	16,87	0	-33,74
3	16,87	0	-50,61
4	1,5	10,3	-41,81
5	1,5	10,3	-33,01
6	1,5	10,3	-24,21
7	1,5	10,3	-15,41
8	1,5	10,7	-6,21
9	1,5	11,0	***3,29***

Variante Caibarien			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	19,13	0	-19,13
2	19,13	0	-38,26
3	19,13	0	-57,39
4	1,7	10,3	-48,79
5	1,7	10,3	-40,19
6	1,7	10,3	-31,59
7	1,7	10,3	-22,99
8	1,7	10,7	-13,99
9	1,7	11	-4,69
10	1,7	11,2	***4,81***

Anexo III Resultados de la valoración económica para un periodo de construcción de la obra de dos años y un enlace doble.

Valor Actual de las inversiones (MMP)

Variante	Años de construcción			Años de explotación												
	% de Mantenimiento de la inversión inicial por año		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Playa Vitoria	32,9	29,4	1,6	1,4	1,3	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4
Punta Judas	25,3	22,6	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Caibarién	28,7	25,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3

Variante	Años de explotación															
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
Playa Vitoria	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Punta Judas	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0
Caibarién	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Cubrimiento de la energía demandada por el cayo por los diferentes combustibles (GW.h/año)

% Crecimiento demanda/año		0	0	0	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Años	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**
Diesel	25,5	25,5	25,5	25,5	26,5	27,1	27,6	28,1	28,7	29,3	29,9	30,5	31,1	31,7
Fuel	79,3	79,3	79,3	79,3	82,5	84,1	85,8	87,5	89,3	91,1	92,9	94,7	96,6	98,6
Total	104,8	104,8	104,8	104,8	109,0	111,2	113,4	115,7	118,0	120,3	122,7	125,2	127,7	130,3

% Crecimiento demanda/año	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Años	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**2035**	**2036**	**2037**	**2038**	**2039**	**2040**	**2041**	**2042**	**2043**
Diesel	32,3	33,0	33,6	34,3	35,0	35,7	36,4	37,1	37,9	38,6	39,4	40,2	41,0	41,8
Fuel	100,5	102,5	104,6	106,7	108,8	111,0	113,2	115,5	117,8	120,1	122,5	125,0	127,5	130,1
Total	132,9	135,5	138,2	141,0	143,8	146,7	149,6	152,6	155,7	158,8	162,0	165,2	168,5	171,9

Costo de la energía generada en el cayo menos costo de la energía generada en el SEN (MMP)

Variante	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
Playa Vitoria	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1
Punta Judas	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1
Caibarién	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1

Variante	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30
Playa Vitoria	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6
Punta Judas	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6
Caibarién	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6

Valor Actual de los Beneficios (MMP)

Variante	Años de construcción		Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Playa Vitoria	0	0	8,2	7,3	6,5	5,8	5,4	5	4,5	4,1	3,7	3,4	3,1	2,8	2,3	2,1
Punta Judas	0	0	8,2	7,3	6,5	5,8	5,4	5	4,5	4,1	3,7	3,4	3,1	2,5	2,3	2,1
Caibarién	0	0	8,2	7,3	6,5	5,8	5,4	5	4,5	4,1	3,7	3,4	3,1	2,5	2,3	2,1

Variante	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
Playa Vitoria	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Punta Judas	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
Caibarién	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5

Flujo de caja Variante Playa Vitoria

Variante Playa Vitoria	Años de construcción		Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	0	8.2	7.3	6.5	5.8	5.4	5.0	4.5	4.1	3.7	3.4	3.1	2.8	2.3	2.1
VAC	32.9	29.4	1.6	1.4	1.3	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
VAN	-32.9	-62.3	-55.7	-49.8	-44.6	-39.9	-35.5	-31.4	-27.7	-24.3	-21.2	-18.4	-15.8	-13.5	-11.6	-9.9

Variante Playa Vitoria	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
VAC	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
VAN	-8.3	-6.9	-5.6	-4.4	-3.3	-2.3	-1.4	-0.5	0.3	1	1.7	2.3	2.8	3.3	3.7	4.1

Flujo de caja Variante Punta Judas

Variante Punta Judas	Años de construcción		Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	0	8.2	7.3	6.5	5.8	5.4	5.0	4.5	4.1	3.7	3.4	3.1	2.5	2.3	2.1
VAC	25.3	22.6	1.2	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
VAN	-25.3	-47.9	31.4	-34.7	-29.2	-24.3	-19.7	-15.4	-11.5	-7.9	-4.7	-1.7	1	3.2	5.2	7

Variante Punta Judas	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
VAC	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
VAN	8.7	10.2	11.6	12.8	13.9	15	16	16.9	17.7	18.4	19.1	19.7	20.2	20.7	21.1	21.6

Flujo de caja Variante Caibarién

Variante Caibarién	Años de construcción		Años de explotación													
	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	0	8.2	7.3	6.5	5.8	5.4	5.0	4.5	4.1	3.7	3.4	3.1	2.5	2.3	2.1
VAC	28.7	25.6	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3
VAN	-28.7	-54.3	-47.5	-41.4	-36	-31.2	-26.7	-22.5	-18.7	-15.2	-12.1	-9.2	-6.5	-4.4	-2.5	-0.7

Variante Caibarién	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
VAC	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
VAN	0.9	2.3	3.7	4.9	6	7	8	8.9	9.7	10.4	11.1	11.7	12.2	12.7	13.1	13.5

Años en que se paga la inversión de cada variante

Variante playa Vitoria			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	32,9	0	-32,9
2	32,9	0	-65,8
3	2,0	10,3	-57,5
4	2,0	10,3	-49,2
5	2,0	10,3	-40,9
6	2,0	10,3	-32,6
7	2,0	10,7	-23,9
8	2,0	11	-14,9
9	2,0	11,2	-5,7
10	2,0	11,4	***3,7***

Variante Punta Judas			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	25,3	0	-25,3
2	25,3	0	-50,6
3	1,5	10,3	-41,8
4	1,5	10,3	-33
5	1,5	10,3	-24,2
6	1,5	10,3	-15,4
7	1,5	10,7	-6,2
8	1,5	11,0	***3,3***

Variante Caibarien			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	28,7	0	-28,7
2	28,7	0	-57,4
3	1,7	10,3	-48,8
4	1,7	10,3	-40,2
5	1,7	10,3	-31,6
6	1,7	10,3	-23
7	1,7	10,7	-14
8	1,7	11	-4,7
9	1,7	11,2	***4,8***

Anexo IV Resultados de la valoración económica para un periodo de construcción de la obra de 1año y un enlace doble

Valor Actual de las inversiones (MMP)

Variante	Años de construcción		Años de explotación												
	% de Mantenimiento de la inversión inicial por año	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Año 1	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Playa Vitoria	65,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
Punta Judas	50,6	1,4	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Caibarién	57,4	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4

Variante	Años de explotación															
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
Playa Vitoria	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Punta Judas	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Caibarién	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Cubrimiento de la energía demandada por el cayo por los diferentes combustibles (GW.h/año)

% Crecimiento demanda/año		0	0	0	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Años	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**
Diesel	25,5	25,5	25,5	25,5	26,5	27,1	27,6	28,1	28,7	29,3	29,9	30,5	31,1	31,7
Fuel	79,3	79,3	79,3	79,3	82,5	84,1	85,8	87,5	89,3	91,1	92,9	94,7	96,6	98,6
Total	104,8	104,8	104,8	104,8	109,0	111,2	113,4	115,7	118,0	120,3	122,7	125,2	127,7	130,3

% Crecimiento demanda/año	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Años	**2030**	**2031**	**2032**	**2033**	**2034**	**2035**	**2036**	**2037**	**2038**	**2039**	**2040**	**2041**	**2042**	**2043**
Diesel	32,3	33,0	33,6	34,3	35,0	35,7	36,4	37,1	37,9	38,6	39,4	40,2	41,0	41,8
Fuel	100,5	102,5	104,6	106,7	108,8	111,0	113,2	115,5	117,8	120,1	122,5	125,0	127,5	130,1
Total	132,9	135,5	138,2	141,0	143,8	146,7	149,6	152,6	155,7	158,8	162,0	165,2	168,5	171,9

Costo de la energía generada en el cayo menos costo de la energía generada en el SEN (MMP)

Variante	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15
Playa Vitoria	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1
Punta Judas	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1
Caibarién	10,3	10,3	10,3	10,3	10,7	11,0	11,2	11,4	11,6	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	13,1

Variante	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30
Playa Vitoria	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6
Punta Judas	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6
Caibarién	13,3	13,6	13,9	14,2	14,5	14,7	15,0	15,3	15,6	16,0	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6

Valor Actual de los Beneficios (MMP)

Variante	Años de construcción	Años de explotación													
	Año 1	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
Playa Vitoria	0	9,2	8,2	7,3	6,5	6,1	5,6	5,1	4,6	4,2	3,8	3,5	3,2	2,6	2,3
Punta Judas	0	9,2	8,2	7,3	6,5	6,1	5,6	5,1	4,6	4,2	3,8	3,5	2,8	2,6	2,3
Caibarién	0	9,2	8,2	7,3	6,5	6,1	5,6	5,1	4,6	4,2	3,8	3,5	2,8	2,6	2,3

Variante	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
Playa Vitoria	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
Punta Judas	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
Caibarién	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5

Flujo de caja Variante Playa Vitoria

Variante Playa Vitoria	Años de construcción	Años de explotación													
	Año 1	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	9.2	8.2	7.3	6.5	6.1	5.6	5.1	4.6	4.2	3.8	3.5	3.2	2.6	2.3
VAC	65.8	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
VAN	-65.8	-58.4	-51.8	-45.9	-40.7	-35.7	-31.1	-26.9	-23.1	-19.6	-16.4	-13.5	-10.8	-8.7	-6.8

Variante Playa Vitoria	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
VAC	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
VAN	-5.1	-3.6	-2.1	-0.8	0.5	1.6	2.6	3.5	4.4	5.2	5.9	6.6	7.2	7.7	8.2	8.6

Flujo de caja Variante Punta Judas

Variante Punta Judas	Años de construcción	Años de explotación													
	Año 1	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	9.2	8.2	7.3	6.5	6.1	5.6	5.1	4.6	4.2	3.8	3.5	2.8	2.6	2.3
VAC	50.6	1.4	1.2	1.1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
VAN	-50.6	-42.8	-35.8	-29.6	-24.1	-18.9	-14.1	-9.7	-5.7	-2	1.3	4.4	6.8	9.1	11.1

	0	9.2	8.2	7.3	6.5	6.1	5.6	5.1	4.6	4.2	3.8	3.5	2.8	2.6	2.3

Variante Punta Judas	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
VAC	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
VAN	12.9	14.5	16.1	17.5	18.8	19.9	21	22	22.9	23.7	24.4	25.1	25.7	26.2	26.7	27.1

Flujo de caja Variante Caibarién

Variante Caibarién	Años de construcción	Años de explotación													
	Año 1	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
VAB	0	9,2	17,4	24,7	31,2	37,3	42,9	48	52,6	56,8	60,6	64,1	66,9	69,5	71,8
VAC	57,4	58,9	60,3	61,5	62,6	63,6	64,5	65,3	66	66,6	67,2	67,7	68,1	68,5	68,9
VAN	-57,4	-49,7	-42,9	-36,8	-31,4	-26,3	-21,6	-17,3	-13,4	-9,8	-6,6	-3,6	-1,2	1	2,9

Variante Caibarién	Años de explotación															
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29	Año 30
VAB	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
VAC	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
VAN	4.7	6.3	7.8	9.2	10.5	11.6	12.6	13.6	14.5	15.3	16	16.7	17.3	17.8	18.3	18.7

Años en que se paga la inversión de cada variante

Variante playa Vitoria			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	65,8	0	-65,8
2	2,0	10,3	-57,5
3	2,0	10,3	-49,2
4	2,0	10,3	-40,9
5	2,0	10,3	-32,6
6	2,0	10,7	-23,9
7	2,0	11	-14,9
8	2,0	11,2	-5,7
9	2,0	11,4	***3,7***

Variante Punta Judas			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	50,6	0	-50,6
2	1,5	10,3	-41,8
3	1,5	10,3	-33
4	1,5	10,3	-24,2
5	1,5	10,3	-15,4
6	1,5	10,7	-6,2
7	1,5	11,0	***3,3***

Variante Caibarien			
Año	**Gastos (MMP)**	**Beneficios (MMP)**	**Saldo (MMP)**
1	57,4	0	-57,4
2	1,7	10,3	-48,8
3	1,7	10,3	-40,2
4	1,7	10,3	-31,6
5	1,7	10,3	-23
6	1,7	10,7	-14
7	1,7	11	-4,7
8	1,7	11,2	***4,8***