

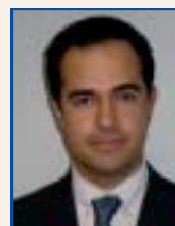
LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN CAYO SANTA MARÍA (CUBA)



Jorge Llanes Rodríguez
Ingeniero Eléctrico
por la CUJAE - La Habana
Director de Geysel



Francisco Gutiérrez Miguel
Ingeniero Industrial
por la ETSII - Madrid
por la ETSIT - Bilbao
Gerente de Electromet



José María Torres Novalbos
Ingeniero Industrial
por la ETSIT de Bilbao
Dr. Técnico de Ormazábal

Un novedoso esquema de distribución en media tensión que garantiza la máxima flexibilidad y continuidad de servicio para sistemas eléctricos aislados

Resumen

La ejecución de un sistema de distribución eléctrica para una producción aislada de energía, como suele suceder en el caso de islas sin interconexión con otros sistemas, requiere una serie de consideraciones técnicas en el diseño si se quiere establecer un sistema de alta calidad de suministro eléctrico, elevada flexibilidad operativa y mantenimiento mínimo, especialmente cuando las condiciones ambientales resultan altamente agresivas para las instalaciones. Tal es el caso de la infraestructura eléctrica del Cayo de Santa María de la que hacemos una exposición técnica.

Palabras clave

Suministro, celda, conmutación, distribución

Abstract

The development of an electric distribution network requires special considerations when it is associated with an isolated power generation system such as islands not connect with another electrical grid. It is essential to

perform a good design of the network and select the proper equipment to ensure a high quality electrical supply, high flexibility during operation and minimum maintenance of the electric components especially when the environmental conditions are extremely aggressive. This is the case in Cayo Santa María (Cuba) where a smart electrical design has been performed to fulfil the above mentioned targets.

Key words

Service, switchgear, switch station, distribution

1.- INTRODUCCIÓN

El Cayo Santa María es el nombre popular con que se nombran a un grupo de cayos o isletes a los que se accede desde la ciudad de Caibarién, en la provincia de Villa Clara, a través de una carretera sobre el mar (pedraplén) de 50 km de longitud, auténtica maravilla de Ingeniería Civil que obtuvo el Premio Internacional Puente de Alcántara, y que une el sistema de ca-

yos a la Isla de Cuba. Los diferentes cayos ofrecen hermosas playas vírgenes de aguas azules y cristalinas en los que el Gobierno cubano ha programado una fuerte inversión de desarrollo turístico que contempla entre 8.000 y 10.000 habitaciones.

La previsión de carga para el total de las instalaciones se estimó en 23.600 kW, potencia distribuida de la siguiente manera entre las diferentes Unidades turísticas de cada cayo:

El presente artículo describe el diseño eléctrico desarrollado para el sistema de distribución de media tensión en el Cayo, el cual está basado en un nuevo sistema de conmutación que garantiza la continuidad de servicio a la totalidad de las cargas del sistema. En el proyecto y ejecución de la infraestructura eléctrica del Cayo han colaborado estrechamente el ingeniero **Jorge Llanes Rodríguez** por la empresa cubana **Geysel** ejecutora del proyecto, así como los ingenieros **Francisco Gutiérrez Miguel de Electrimet**, S.A. de Las Palmas y el ingeniero **José María Torres Novalbos**, de la empresa **Ormazábal**.

2.- CONDICIONES DE CONTORNO Y PREMISAS DE FUNCIONAMIENTO

El punto inicial de partida fue decidir si procedía la producción y distribución en el Cayo como un sistema aislado o si bien procedía una alimentación en Alta Tensión desde la Isla de Cuba, quedando en este caso el sistema interconectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de la **Unión Eléctrica Cubana**. Razones de tipo económico y estratégico aconsejaron la conveniencia de generar electricidad

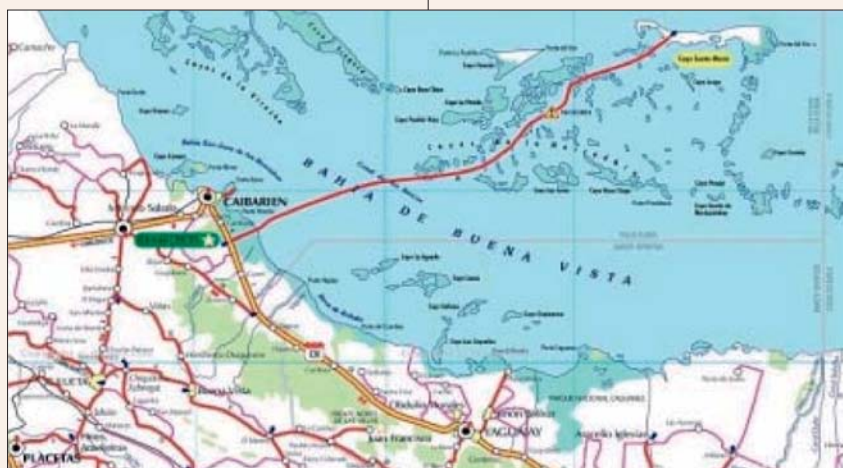


Foto 1: Situación del Cayo de Santa María (Cuba)

Cayo	Centros de carga	Demanda máxima
• Cayo Santa María	Unidad turística "Lagunas del Este"	8.500 kW
	Unidad turística "La Estrella"	4.200 kW
	Unidad turística "Las Dunas"	4.100 kW
	Base de apoyo a la Construcción	2.000 kW
• Cayo Ensenachos • Cayo Las Brujas • Cayo Francés		4.800 kW

en el propio Cayo a partir de módulos de generación que serían instalados en función del crecimiento de la demanda de electricidad. Así se determinó construir la central en el Cayo de Santa María (principal centro de carga), con una potencia instalada inicial de 4 MW para proceder posteriormente a su ampliación hasta cubrir las necesidades del sistema.

Se establecieron los principales centros de cargas los cuales definían los circuitos de alimentación en Media Tensión desde la central eléctrica:

- "Circuito Ensenachos", de 13 km, agrupa las instalaciones situadas hacia el suroeste e incluye los complejos situados en los cayos Ensenachos, Las Brujas y Francés.

- "Circuito Las Dunas", de 3 km, agrupa las cargas de esta unidad turística situadas en el centro del Cayo Santa María.

- "Circuito Este", de 7,5 km, agrupa las cargas de las unidades turísticas "La Estrella" y "Lagunas del Este" situadas al este del cayo Santa María.

- "Circuito Base de apoyo", agrupa las cargas que sirven como base de apoyo a la construcción y que están situadas en las inmediaciones de la central eléctrica.

Además, teniendo en cuenta los planes de desarrollo previstos, había que considerar una serie de requisitos técnicos que condicionaban el proyecto:

- Las redes de distribución deberían ser subterráneas dado que el Cayo es zona de eventual paso de huracanes. Había que tener en cuenta, además, que en muchos casos ocurrirían por debajo del nivel freático, que se encuentra a menos de 1 m de la superficie en algunos lugares.

- En el caso de fallo de un alimentador o de una acometida en MT a una instalación, debía disponerse de un 100% de potencia de reserva a

través de otra línea de MT de socorro.

- El sistema debía permitir la expansión de las redes, e incluso una eventual intervención en barras de la central, sin provocar interrupciones a los consumidores.

- Teniendo en cuenta el aumento progresivo de las cargas instaladas, e incluso la posibilidad de interconectarse a otros cayos de las proximidades, había que definir una serie de circuitos que tuviesen la posibilidad de aumentar su capacidad de transporte en el futuro.

- Las celdas y apartamento de media tensión estarían sometidas a un ambiente corrosivo y altamente agresivo dada la elevada salinidad del ambiente, la alta temperatura y humedad relativa habitual y los oscilantes ciclos térmicos. Debía contemplarse incluso una eventual inundación de los centros por las lluvias ocasionadas por un ciclón o una tormenta tropical.

- Al tratarse de un sistema aislado eléctricamente, la flexibilidad de explotación y la máxima continuidad de suministro debían ser dos de los parámetros fundamentales a la hora de realizar el diseño del sistema.

3.- DESARROLLO DEL PROYECTO Y SOLUCIONES

A partir de las premisas anteriores y de otros elementos técnicos-económicos, tales como las características geográficas del Cayo (largo y estrecho) o el progresivo aumento de potencia demandada de las Unidades turísticas, y buscando la mayor estandarización posible con objeto de disminuir al mínimo el mantenimiento en las redes, se tomaron las siguientes decisiones:

- Que las acometidas de alimentación a todos los objetivos y por tanto todos los centros de transformación, se realizarían a una tensión de servicio de 13,8 kV y 60 Hz.

- No obstante, y teniendo en cuenta la demanda de potencia futura del circuito oeste, que agrupaba las cargas conjuntas de Cayo Ensenachos, Cayo Las Brujas y Cayo Francés, se decidió preparar todo el circuito oeste (cables aislados y celdas de MT) para ser operativo en el futuro a 34,5 kV, aunque inicialmente se realizase el suministro en 13,8 kV.

- El sistema de distribución está basado en dos líneas trifásicas por cada circuito que pueden trabajar bajo operación en doble radial o en anillo. En la operación con doble radial, el cliente dispone de dos líneas de alimentación independientes (preferente y reserva) a las que puede conectarse, diseñadas ambas para admitir el 100% de la carga total. Hay que considerar que el coeficiente de simultaneidad de las cargas es muy elevado (0,85) dado que hay un consumo importante en permanencia asociado a las instalaciones de aire acondicionado de los hoteles, la mayoría de lujo de cuatro o cinco estrellas.

- Dado que una de las premisas era mantener la continuidad eléctrica bajo cualquier circunstancia, se diseñó un ingenioso Centro de conmutación en la salida de la central eléctrica que permite dejar incluso fuera de servicio la central principal para realizar operaciones de ampliación de barras, mantenimiento, etc. sin que ello afecte a la continuidad de suministro en todo los complejos del Cayo.

- Finalmente, y con objeto de dotar al sistema de la máxima flexibilidad, garantizando en todo momento la continuidad de servicio a los clientes ante posibles intervenciones o ampliaciones de las líneas, se decidió la instalación de *Centros de reparto*, que, situados estratégicamente en cada uno de los circuitos, actúan no solo como centros de reparto hacia los diferentes centros de transformación de cada cliente, sino que dotan de una máxima flexibilidad al sistema al permitir la selección y conmutación en carga de los alimentadores.

3.1.- Central eléctrica y subestación principal

Teniendo en cuenta la estrategia de desarrollo y de inversiones progresi-

vas en el Cayo se consideró que la central eléctrica se construyera en varias etapas. La primera, actualmente en funcionamiento, está integrada por cinco grupos diésel con una potencia total instalada de 4 MW. La salida de los grupos alimenta, a través de dos transformadores elevadores a 13,8 kV, a las barras de la subestación, constituida por un conjunto de celdas de doble barra con aislamiento integral en SF₆ (GIS).

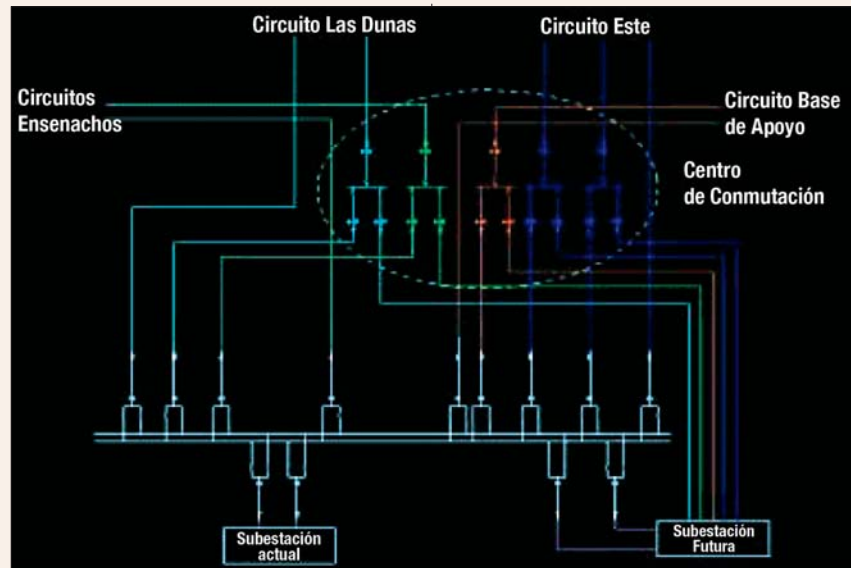
Desde la subestación principal se alimentan los cuatro circuitos principales del sistema, cada uno de ellos formado por dos líneas trifásicas soterradas (tres en el caso del circuito "Este") con cable de MTde 12/20 kV y aislamiento seco (EPR –Etileno - propileno). El circuito suroeste de "Ensenachos" dispone de cable de aislamiento 18/30 kV ya que, se decidió preparar el mismo para una futura operación a 34,5 kV.

Como se observa en el esquema anterior, una de las líneas de cada circuito se dirige directamente desde la salida de la subestación correspondiente hacia las cargas, mientras que la otra línea se dirige hacia el Centro de conmutación, uno de las principales aportaciones de diseño de este proyecto eléctrico.

3.2.- Centro de conmutación en MT

Para garantizar el servicio a la totalidad de los consumidores del Cayo en caso de necesidad de actuación en barras de la subestación principal, se diseñó un Centro de conmutación a la salida de la central constituido por un conjunto de cinco módulos, uno para cada circuito de distribución (excepto para el circuito "Ensenachos" que dispone de dos módulos).

Cada módulo está formado por tres celdas de MT modulares con aislamiento y corte integral en SF₆ de 24 kV y 630 A de la familia CGM de **Ormazábal**. Estas celdas cumplen con los requisitos más exigentes definidos en el capítulo segundo de este artículo ya que, al disponer de todos los circuitos de MT encapsulados, son insensibles a las condiciones ambientales exteriores (salinidad, ciclos térmicos, etc.), siendo eventualmente incluso sumergibles. Dos de estas



Esquema unifilar general

celdas actúan como entrada (alimentadores) y la tercera actúa como salida al circuito correspondiente. El módulo dota de una extraordinaria flexibilidad al sistema, ya que permite conmutar el alimentador de la Subestación con un segundo alimentador procedente, bien de la barra de la futura subestación o bien directamente de grupos electrógenos de apoyo.

Así, en el caso de necesidad de actuación en la subestación (bien por mantenimiento de una celda de salida o por parada total de las barras), el alimentador correspondiente a esa línea se conmutaría al segundo alimentador de reserva, permitiendo por tanto la continuidad de servicio al 100% de todos los objetivos desde dos fuentes totalmente independientes. Desde el punto de vista eléctrico, el Centro de conmutación, al permitir la parada total del sistema de doble barra de la subestación, actúa como si se tratase de una triple barra con capacidad de operación y gestión del 100% de la carga.

El costo del Centro de conmutación es insignificante frente a las ven-



Foto 3: Central eléctrica

tajas que presenta en cuanto a la garantía del servicio. Ya incluso en Cayo Santa María fue recuperada esta inversión durante la ampliación de la subestación principal en unos 15 días, ya que los consumidores no fueron afectados al conectarse un módulo de generación móvil provisional al segundo alimentador disponible en el Centro de conmutación.

3.3.- Centros de reparto

Cada uno de los circuitos dispone de Centros de reparto que, estratégicamente situados desde el punto de vista eléctrico, ofrecen una garantía de servicio y una flexibilidad de servicio máxima. Aquí, de nuevo la Ingeniería se apartó de las soluciones clásicas y logró realizar un diseño a muy bajo costo de inversión.

Los Centros de reparto, diseñados de acuerdo a la arquitectura de las instalaciones turísticas, están constituidos por celdas CGM modulares con aislamiento integral en SF₆, formando un esquema que incluye dos o tres alimentadores de entrada y varias líneas de salida hacia los puntos de consumo. Estos centros, así diseñados, permiten:

- Realizar una distribución optimizada hacia los puntos de consumo.
- Seleccionar cualquiera de los alimentadores del circuito, conmutando las celdas de entrada y/o la celda de acoplamiento de barras.
- Seccionalizar las líneas de salida con defecto, alimentando a los centros de consumo desde otra de las

salidas del Centro de reparto. La detección de cortocircuitos monofásicos en el cable se realiza mediante un relé de paso de falta que permite identificar de una forma rápida el tramo de cable con defecto.

- Realizar las acometidas de cable (entrada – salida) en las propias celdas mediante conectores dobles estancos y apantallados que dotan una enorme flexibilidad al sistema cara a futuras ampliaciones o derivaciones en los circuitos. Esta solución evita el empleo de empalmes de derivación rígidos en el circuito que reducen la fiabilidad de la línea y disminuyen la flexibilidad del sistema cara a las futuras ampliaciones de red.

- Finalmente, también se aprovechó para disponer en algunos Centros de una salida local (a través de una celda de rupto-fusible) para dar servicio a las cargas en BT cercanas al mismo.

3.4.- Centros de transformación

Todos los centros de transformación de cliente tienen garantizada una doble alimentación trifásica procedente del correspondiente Centro de reparto y que, como se ha dicho anteriormente, pueden trabajar en forma de doble radial o en bucle. En aquellos casos donde la alimentación sea radial, el Centro de transformación dispone de un sistema de transferencia (que puede ser manual o automática) que conmuta a la línea de reserva en caso de fallo en la línea preferente de alimentación y, que como también se ha indicado anteriormente, tiene una capacidad para el 100% de la carga.

La protección de cada transformador del cliente se realiza mediante la correspondiente celda de rupto-fusible con aislamiento integral, modular y extensible, de forma que la ins-

talación queda preparada para futuros aumentos de potencia en el centro sin necesidad de cambiar las celdas existentes.

3.5.- Cables aislados de MT

La mayoría de los circuitos del Cayo están constituidos por dos líneas trifásicas soterradas que pueden funcionar bajo un esquema de doble radial o en lazo.

Dadas las características geotécnicas del Cayo, donde en algunos casos los circuitos deberían discurrir por debajo del nivel freático, se seleccionó un cable de media tensión de aislamiento etileno-propileno (EPR) de mucho mejor comportamiento que el polietileno reticulado (XLPE) ante la presencia y contactos con el agua.

Así, las líneas están ejecutadas con cable EPR 12/20 kV (o 18/30 kV para el circuito de “Ensenachos”) con conductor de cobre o aluminio de la sección eléctrica adecuada a la carga de transporte. El tipo de cable seleccionado, EPR-Compact de Alto Módulo (MEPR), es capaz de trabajar a un alto gradiente dieléctrico (lo que significa menores espesores de aislamiento) a una temperatura de servicio de 105 °C. Esto implica que tienen la posibilidad de transmitir, a igualdad de sección, hasta un 11% de potencia más que los cables de aislamiento EPR tradicional en los que la temperatura de servicio es de 90 °C. Además, sus menores dimensiones hacen de él un cable más manejable, menos pesado y más fácil de transportar. Los cables de este tipo han sido suministrados por **Pirelli Cables y Sistemas** desde su fábrica de Vilanova en Barcelona.

Como se ha indicado, cabe destacar que en toda la distribución del Cayo se han evitado los empalmes rígidos en derivación gracias a la utilización de conectores atornillables situados en las entradas / salidas de las celdas o en pequeños registros accesibles. De esta forma se pueden ejecutar posteriores derivaciones radia-



Centro de Reparto “Dunas”

les del circuito en ese punto sin necesidad de realizar catas en el terreno ni manipular el cable de MT.

CONCLUSIONES

El sistema eléctrico de Cayo Santa María es un magnífico ejemplo del desarrollo de una red aislada que ofrece un servicio eléctrico de gran fiabilidad, prácticamente exento de mantenimiento y con una elevada continuidad de servicio a un conjunto de cargas que demandan una calidad de servicio de máximo nivel.

El proyecto ha desarrollado un esquema eléctrico novedoso en MT que, aprovechando la tecnología modular de las celdas íntegramente aisladas en SF₆, y basándose en una Ingeniería eléctrica innovadora e imaginativa, ha conseguido el objetivo de desarrollar una red donde la garantía de servicio, la flexibilidad de operación y ampliación del sistema han sido plenamente conseguidas.

El éxito del proyecto es un ejemplo de la coordinación entre los ingenieros que han participado a lo largo del proceso y está basado en el conocimiento eléctrico de la red aportado por la empresa **Geysel**, la experiencia de las instalaciones realizadas en las Islas Canarias por la empresa **Electrimet** y finalmente por el asesoramiento técnico y la aportación de equipos de alta tecnología de la empresa **Ormazábal**.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la dedicación y el apoyo de todos los integrantes de la Dirección Integrada del Proyecto (DIP) y especialmente la del ingeniero **Oscar Díaz Cuba** y la de los compañeros de la empresa cubana **Geysel** que han demostrado su profesionalidad en todas las fases de ejecución del proyecto. ■

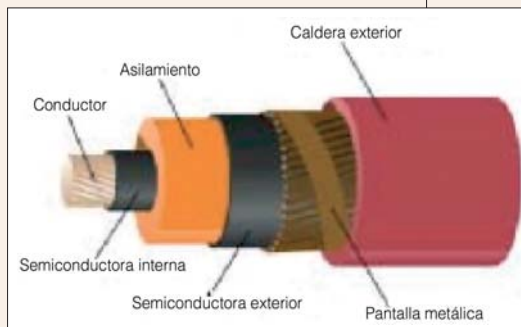


Foto 5: Sección de un cable de MT