

# Estudio sobre las interconexiones de los sistemas eléctricos de las Islas Canarias

Jacob David Rodríguez Bordón

Ingeniería Industrial (Plan 2001). Intensificación: Electricidad

Tutor: José Fernando Medina Padrón

Cotutor: José Manuel García Muñoz

25 noviembre de 2011

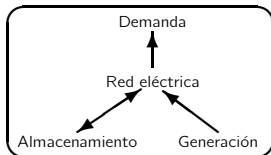


UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA  
Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles

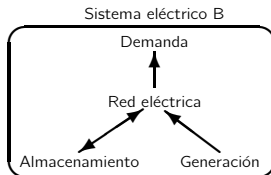
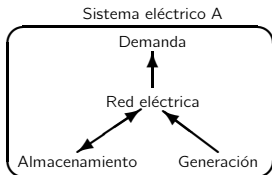
- 1 Presentación
- 2 Estado de la técnica
  - El sistema eléctrico
  - Papel de las interconexiones
  - Formas de transporte de potencia
  - Instalaciones de cables submarinos de energía eléctrica
- 3 Islas Canarias
  - Entorno
  - Zonas de interconexión
  - Zona de interconexión oriental
  - Zona de interconexión provincial
  - Zona de interconexión occidental
- 4 Conclusiones
  - Hoja de ruta de propuestas definitivas
  - Líneas futuras

- 1 Presentación
- 2 Estado de la técnica
  - El sistema eléctrico
  - Papel de las interconexiones
  - Formas de transporte de potencia
  - Instalaciones de cables submarinos de energía eléctrica
- 3 Islas Canarias
  - Entorno
  - Zonas de interconexión
  - Zona de interconexión oriental
  - Zona de interconexión provincial
  - Zona de interconexión occidental
- 4 Conclusiones
  - Hoja de ruta de propuestas definitivas
  - Líneas futuras

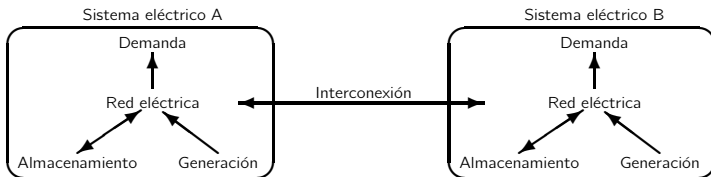
# Motivación



# Motivación



# Motivación



- Aumento de consumidores y generadores presentes.
- Sistemas eléctricos aislados y pequeños.
- Interconexión submarina en aguas profundas.

# Objetivos

- Examen de las posibilidades técnicas.
- Evaluación de la mejoría.
- Estudiar la posibilidad de proponer soluciones viables.

## 1 Presentación

## 2 Estado de la técnica

- El sistema eléctrico
- Papel de las interconexiones
- Formas de transporte de potencia
- Instalaciones de cables submarinos de energía eléctrica

## 3 Islas Canarias

- Entorno
- Zonas de interconexión
- Zona de interconexión oriental
- Zona de interconexión provincial
- Zona de interconexión occidental

## 4 Conclusiones

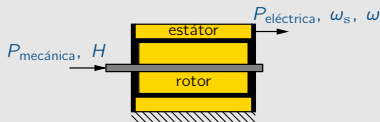
- Hoja de ruta de propuestas definitivas
- Líneas futuras



## Necesidad de equilibrio demanda - generación

### Ecuación dinámica de la máquina eléctrica síncrona (generador)

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_s}{2H} (P_{\text{mecánica}} - P_{\text{eléctrica}})$$



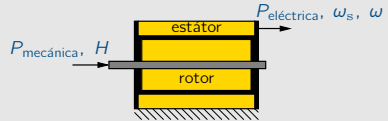
Donde:

- $\omega$ , velocidad angular eléctrica, y  $\omega_s$  síncrona, en  $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ .
- $t$ , tiempo, en  $\text{s}$ .
- $H$ , constante de inercia del grupo referida a la potencia aparente nominal de la máquina síncrona, en  $\text{s}$ .
- $P_{\text{mecánica}}$ , potencia mecánica generada por la máquina motriz en el eje, en  $\text{pu}$ .
- $P_{\text{eléctrica}}$ , potencia eléctrica demandada en bornes de la máquina síncrona más pérdidas, en  $\text{pu}$ .

## Necesidad de equilibrio demanda - generación

## Ecuación dinámica de la máquina eléctrica síncrona (generador)

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_s}{2H} (P_{\text{mecánica}} - P_{\text{eléctrica}})$$



Donde:

- $\omega$ , velocidad angular eléctrica, y  $\omega_s$  síncrona, en  $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ .
- $t$ , tiempo, en s.
- $H$ , constante de inercia del grupo referida a la potencia aparente nominal de la máquina síncrona, en s.
- $P_{\text{mecánica}}$ , potencia mecánica generada por la máquina motriz en el eje, en pu.
- $P_{\text{eléctrica}}$ , potencia eléctrica demandada en bornes de la máquina síncrona más pérdidas, en pu.

Para el sistema eléctrico:  $\omega \in \omega_s \pm \Delta\omega_{\text{tolerable}} \Rightarrow P_{\text{generación}} \approx P_{\text{demanda}}, \forall t$

## Necesidad de equilibrio demanda - generación

- $P_{\text{generación}}$  y  $P_{\text{demanda}}$  son predecibles, pero estocásticas.
- Deben existir medidas de gestión de la potencia activa en el lado generador y consumidor.
- En la actualidad, las medidas que se tienen son:
  - Lado generador: **reservas de potencia** a subir y bajar.
  - Lado consumidor: **deslastres de cargas** zonal.
- El ajuste de estas medidas atiende a criterios coste - riesgo.

# Incremento en el número de consumidores y generadores

## Efectos sobre la ecuación dinámica

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_s}{2H} (P_{\text{generación}} - P_{\text{demanda}})$$

- $(P_{\text{generación}} - P_{\text{demanda}})$  menores.
- Mayor inercia rotatoria.
- Pendientes de caída de la pulsación  $\frac{d\omega}{dt}$  menores.

# Incremento en el número de consumidores y generadores

## Efectos sobre la ecuación dinámica

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_s}{2H} (P_{\text{generación}} - P_{\text{demanda}})$$

- $(P_{\text{generación}} - P_{\text{demanda}})$  menores.
- Mayor inercia rotatoria.
- Pendientes de caída de la pulsación  $\frac{d\omega}{dt}$  menores.

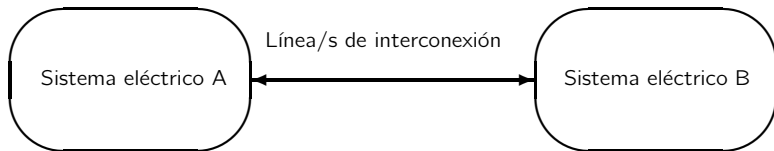
## Efectos sobre la gestión de la potencia activa

- Disminución de las necesidades de reserva de potencia.
- Disminución de los deslastres de carga.

## Beneficios

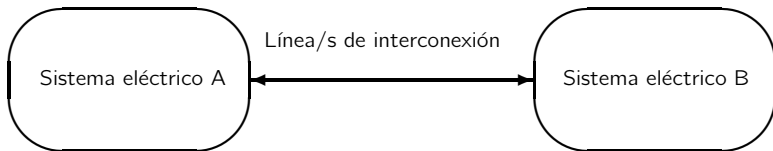
- Aumento en la seguridad del suministro.
- Economía y eficiencia.
- Diversificación del suministro.
- Mercado eléctrico competitivo.
- Explotación de regiones de potencial generador.
- Medioambientales.

# Tecnologías



- Corriente alterna (HVAC, High Voltage Altern Current)
- Corriente continua (HVDC, High Voltage Direct Current)

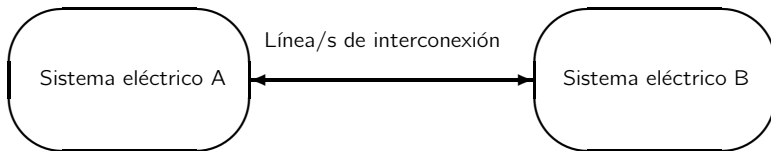
# Tecnologías



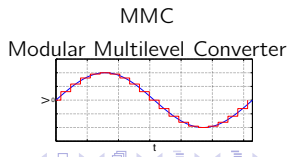
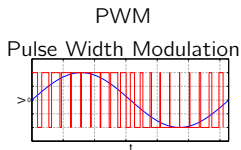
- Corriente alterna (HVAC, High Voltage Altern Current)
- Corriente continua (HVDC, High Voltage Direct Current)
  - Tecnología LCC (Line Commutated Conversion)
  - Tecnología VSC (Voltage Source Conversion)



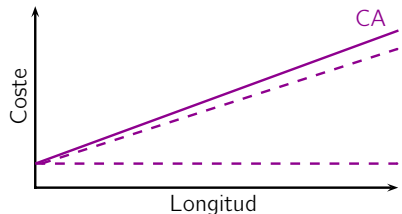
# Tecnologías



- Corriente alterna (HVAC, High Voltage Altern Current)
- Corriente continua (HVDC, High Voltage Direct Current)
  - Tecnología LCC (Line Commutated Conversion)
  - Tecnología VSC (Voltage Source Conversion):

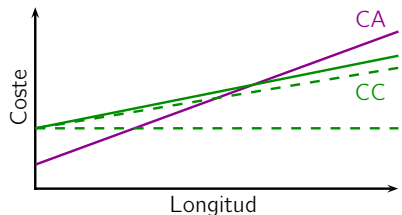


## Comparación entre líneas en CA y CC: costes



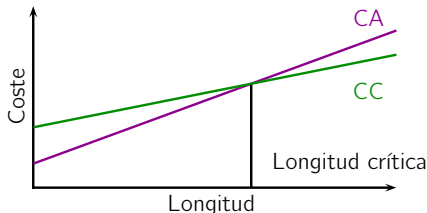
$$C_{\text{Terminales}} + C_{\text{Líneas eléctricas}} + C_{\text{Pérdidas}}$$

## Comparación entre líneas en CA y CC: costes



$$C_{\text{Terminales}} + C_{\text{Líneas eléctricas}} + C_{\text{Pérdidas}}$$

## Comparación entre líneas en CA y CC: costes

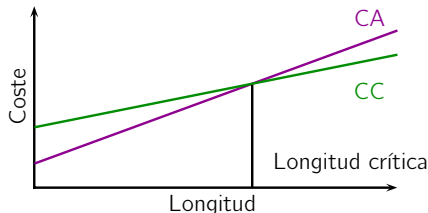


$$C_{\text{Terminales}} + C_{\text{Líneas eléctricas}} + C_{\text{Pérdidas}}$$

### Longitudes críticas

- Líneas aéreas, 600-800 kilómetros.
- Líneas subterráneas, 200-300 kilómetros.
- Líneas submarinas, 100-150 kilómetros.

## Comparación entre líneas en CA y CC: costes



### Longitudes críticas

- Líneas aéreas, 600-800 kilómetros.
- Líneas subterráneas, 200-300 kilómetros.
- **Líneas submarinas, 100-150 kilómetros.**

## Comparación entre tecnologías

Aspecto	HVAC	HVDC LCC	HVDC VSC-PWM	HVDC VSC-MMC
Estado tecnológico	Maduro	Maduro	Consolidación	Comienzo
Terminales	Poco espacio	Mucho espacio	Menor que LCC	Menor que LCC
Líneas	3(+1) conductores	$\leq 2$ conductores	2 conductores	2 conductores
P. reactiva	Depende	55-60 % <i>P</i>	Controlable	Controlable
Compensación	Depende	Sí	No	No
Armónicos	No	Sí	Sí, menor que LCC	Sí, menor que LCC
Pérdidas	Depende	Conversión 0.8 %	Conversión 1.6 %	Conversión 1.5 %

## Comparación entre tecnologías

### Consecuencias de interconexión mediante HVAC

- Aumento de las potencias de cortocircuito.
- Sincronismo entre sistemas, se comparten inercias de manera directa.
- El flujo de potencia resultante es consecuencia directa del balance en cada sistema.

## Comparación entre tecnologías

### Consecuencias de interconexión mediante HVDC LCC

- No hay incremento de las potencias de cortocircuito. Es más, se requiere una potencia de cortocircuito mínima:

$$ESCR = \frac{S_{\text{cortocircuito}} [\text{MVA}] - S_{\text{condensadores}} [\text{MVar}] - S_{\text{filtros}} [\text{MVar}]}{P_{\text{sistema HVDC}} [\text{MW}]} > 2$$

- Asincronía entre sistemas. Además, se requiere una inercia mínima en cada sistema:

$$H_{CC} = \frac{J_{\text{total sistema}} [\text{MW} \cdot \text{s}]}{P_{\text{sistema HVDC}} [\text{MW}]} > 2 [\text{s}]$$

- Normalmente operan consignándose una potencia  $P$  de intercambio entre sistemas. Sin embargo, ante desequilibrios en alguno de los sistemas, se puede modular  $P$  simulando un control primario  $f - P$ .



## Comparación entre tecnologías

### Consecuencias de interconexión mediante HVDC VSC

- No hay requerimientos de potencia de cortocircuito en los nudos de conexión.
- Asincronía entre sistemas.
- Dos modos de operación: consignando  $P$  de intercambio, o control de frecuencia.

# Evolución

## Hitos más importantes

- ~1900, primeros cables submarinos de energía eléctrica.
- ~1960, primeros cables submarinos de energía eléctrica HVDC,  $d \sim 500$  m.
- ~1980, programa de desarrollo HDWCP de cables submarinos de energía eléctrica para aguas muy profundas,  $d \sim 2000$  m.
- ~1990, primeros cables submarinos de energía eléctrica para aguas  $d \sim 800$  m.
- ~2000, cables submarinos de energía eléctrica para aguas  $d \sim 1000$  m.
- ~2010, estado actual,  $d \sim 1600$  m.
- ~2020, límite previsto por los principales fabricantes,  $d \sim 2000$  m.

# Evolución

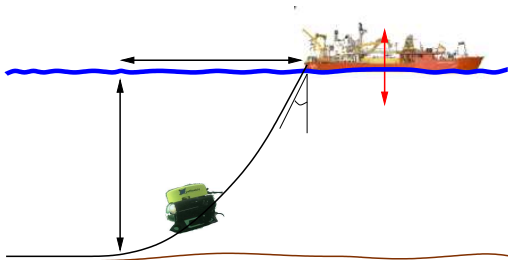
## Hitos más importantes

- ~1900, primeros cables submarinos de energía eléctrica.
- ~1960, primeros cables submarinos de energía eléctrica HVDC,  $d \sim 500$  m.
- ~1980, programa de desarrollo HDWCP de cables submarinos de energía eléctrica para aguas muy profundas,  $d \sim 2000$  m.
- ~1990, primeros cables submarinos de energía eléctrica para aguas  $d \sim 800$  m.
- ~2000, cables submarinos de energía eléctrica para aguas  $d \sim 1000$  m.
- ~2010, estado actual,  $d \sim 1600$  m.
- ~2020, límite previsto por los principales fabricantes,  $d \sim 2000$  m.

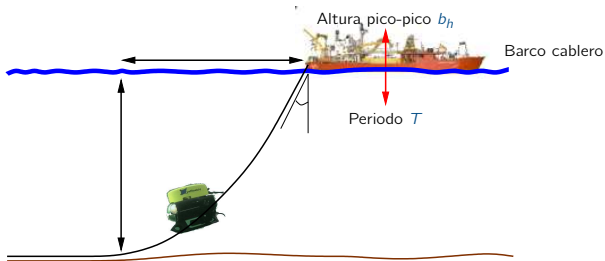
## Dificultades

- Fiabilidad y vida útil del aislamiento eléctrico.
- Equipo de instalación *versus* diseño mecánico del cable.

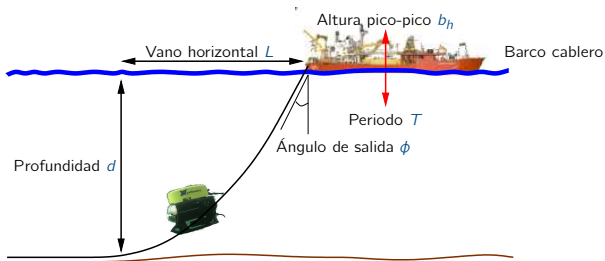
## Tendido de cables submarinos de energía eléctrica



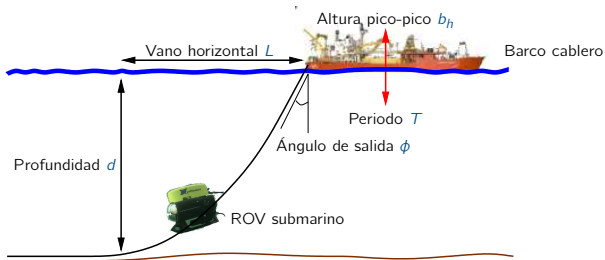
# Tendido de cables submarinos de energía eléctrica



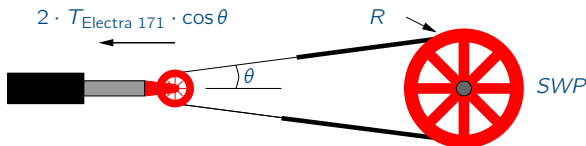
# Tendido de cables submarinos de energía eléctrica



# Tendido de cables submarinos de energía eléctrica



## Recomendación Cigré - Electra No. 171, 1997



### Fuerza a aplicar en el ensayo

$$T_{Electra 171} = 1,3 \cdot d \cdot P_{\text{cable en agua}} + 0,2 \cdot d_1 \cdot P_{\text{cable en agua}} + 1,2 \cdot m \cdot d \cdot \frac{b_h}{2} \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \text{ [N]}$$

Donde  $d_1 \geq 200$  [m]. Usando las ecuaciones analíticas se comprueba que en el ensayo se ha supuesto  $\phi \sim 18^\circ$ .



# Diseño de los cables submarinos de energía eléctrica

## Elementos

- Conductor principal
- Sistema de aislamiento
- Cubiertas de protección
- Armadura
- Cubiertas exteriores

## Aspectos de diseño

- Estructura del cable
- Mecánico
- Eléctrico
- Térmico

- 1 Presentación
- 2 Estado de la técnica
  - El sistema eléctrico
  - Papel de las interconexiones
  - Formas de transporte de potencia
  - Instalaciones de cables submarinos de energía eléctrica
- 3 Islas Canarias
  - Entorno
  - Zonas de interconexión
  - Zona de interconexión oriental
  - Zona de interconexión provincial
  - Zona de interconexión occidental
- 4 Conclusiones
  - Hoja de ruta de propuestas definitivas
  - Líneas futuras

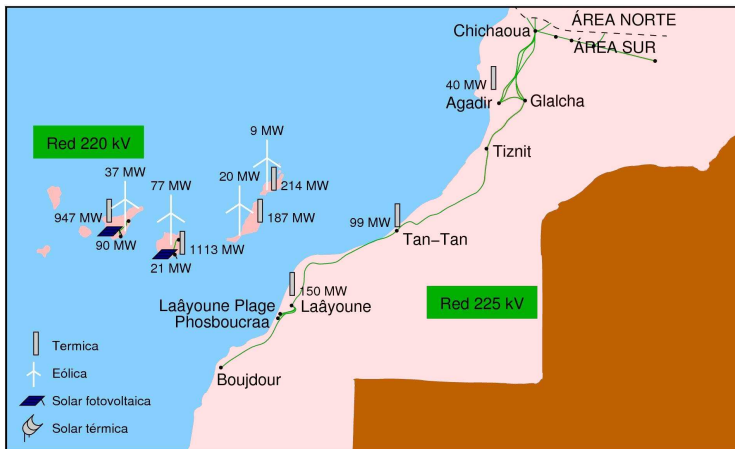
## La energía eléctrica en las Islas Canarias

- Sistemas eléctricos aislados y relativamente pequeños.
- Poca diversidad de tecnologías en el parque generador.
- Dependencia casi exclusiva del petróleo. En 2010, éste cubrió el 92.3 % de la demanda.
- Conlleva sobrecostos con respecto al sistema peninsular. En 2010, el precio medio de la generación en Canarias fue de 130-180 €/MWh frente a los 46 €/MWh del sistema peninsular.

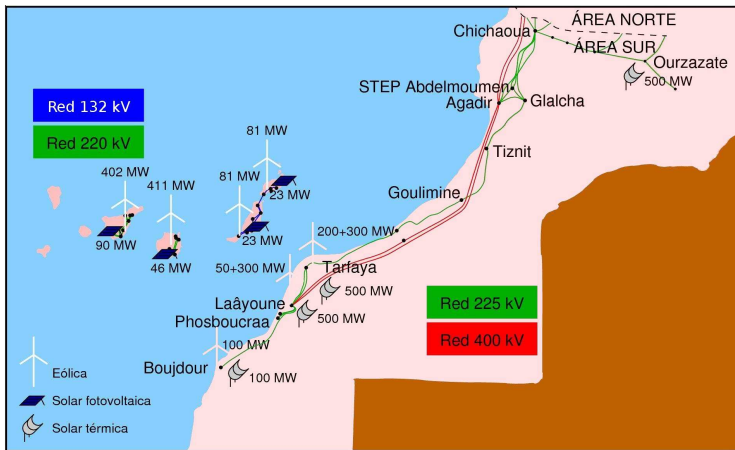
## Características del entorno

- Dificultades para establecer interconexiones.
- Actualmente, la zona continental más cercana, el sur de Marruecos, está subdesarrollada energéticamente.
- Sin embargo, se tiene un plan ambicioso de desarrollo:
  - Parques eólicos (950 MW).
  - Plantas solares termoeléctricas (1100 MW).
  - Sistemas de almacenamiento por bombeo hidráulico disponibles (Afourer 975 MW, Abdelmoumen 380 MW)
- No se puede ignorar una futura interconexión con Marruecos.

## Características de su entorno



## Características de su entorno



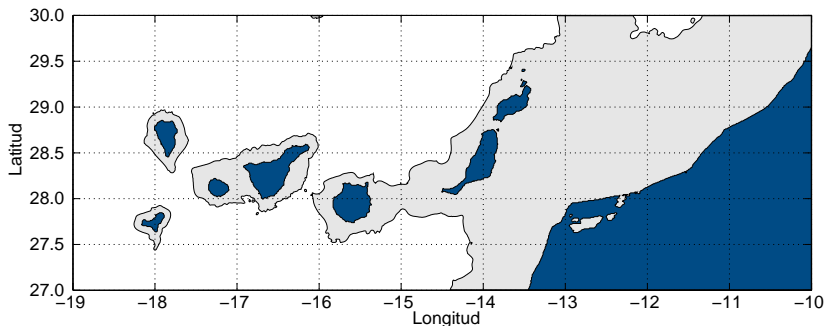
## Características de su entorno



# Batimetría general

## Establecimiento de las zonas

- Fuente de la batimetría digital: GEBCO. Herramienta de procesado: MATLAB.
- Según previsiones de los fabricantes, el límite técnico-económico en 2020 será  $d \sim 2000$  m.

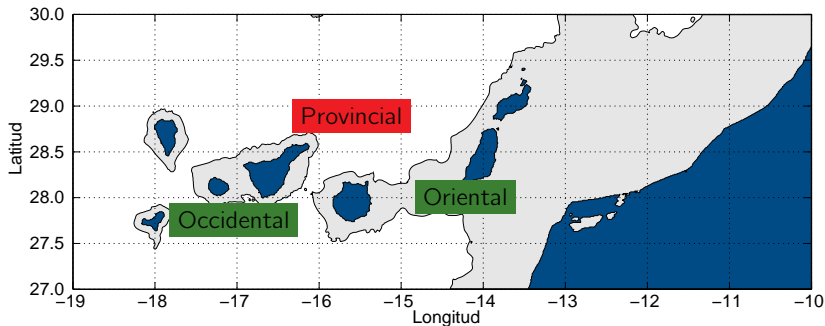




# Batimetría general

## Establecimiento de las zonas

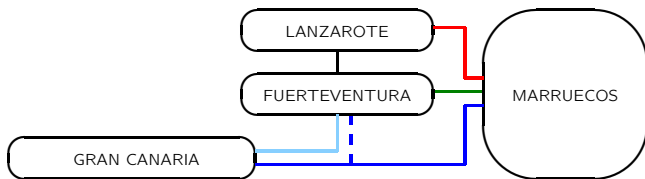
- Fuente de la batimetría digital: GEBCO. Herramienta de procesado: MATLAB.
- Según previsiones de los fabricantes, el límite técnico-económico en 2020 será  $d \sim 2000$  m.



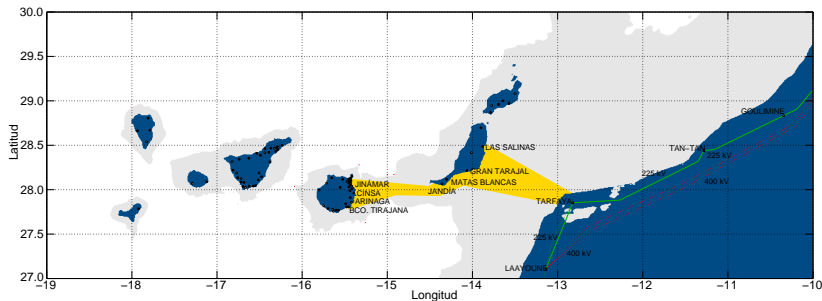
## Aspectos a estudiar en cada zona

- Puntos de interconexión y topologías.
- Trazados submarinos y sus perfiles longitudinales.
- Establecimiento de propuestas definiendo:
  - Potencias de transporte.
  - Formas de transporte.
  - Prediseño de los cables submarinos.
- Evaluación de las mejoras.

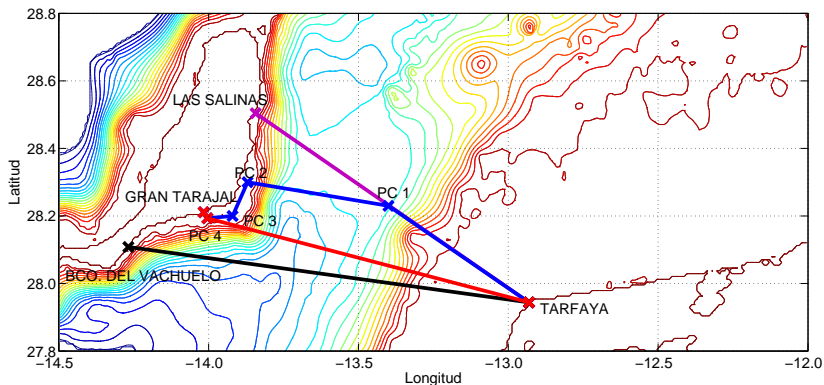
## Puntos de interconexión y topologías



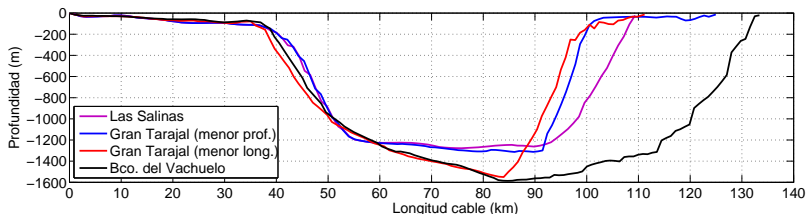
## Puntos de interconexión y topologías



## Trazados submarinos: Marruecos - Fuerteventura

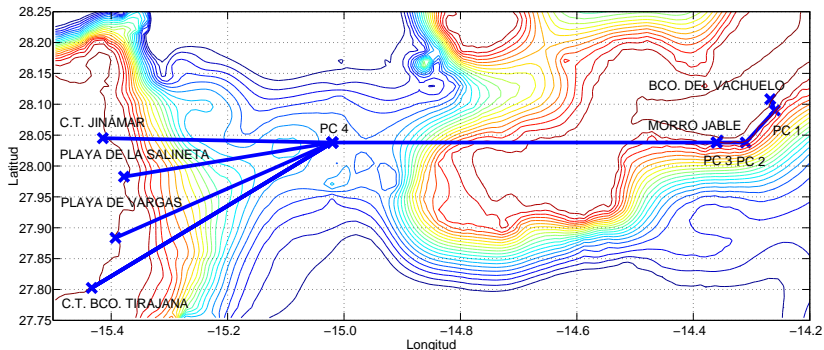


## Perfiles longitudinales: Marruecos - Fuerteventura



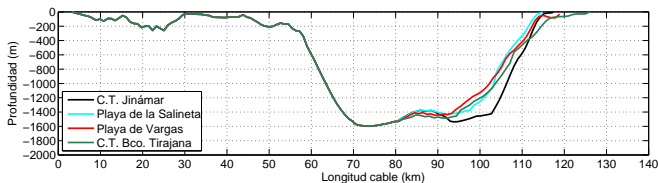
Trazado	Longitud (km)	Profundidad máx. (m)
Tarfaya - Las Salinas	110	1278
Tarfaya - Gran Tarajal (menor prof.)	129	1281
Tarfaya - Gran Tarajal (menor long.)	111	1550
Tarfaya - Bco. Vachuelo	133	1586

## Trazados submarinos: Fuerteventura - Gran Canaria

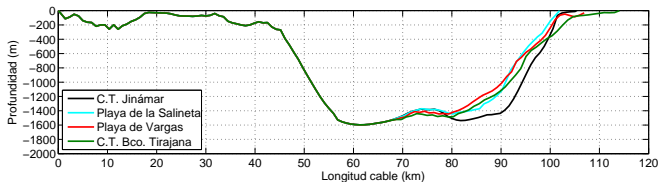


# Perfiles longitudinales: Fuerteventura - Gran Canaria

Desde Matas Blancas:



Desde Jandía:





## Perfiles longitudinales: Fuerteventura - Gran Canaria

Trazado	Longitud (km)	Profundidad máx. (m)
Bco. Vachuelo - C.T. Jinámar	118	1597
Bco. Vachuelo - P. Salinetas	115	1597
Bco. Vachuelo - P. Vargas	119	1597
Bco. Vachuelo - C.T. Bco. Tirajana	127	1597

Trazado	Longitud (km)	Profundidad máx. (m)
Morro Jable - C.T. Jinámar	106	1597
Morro Jable - P. Salinetas	103	1597
Morro Jable - P. Vargas	107	1597
Morro Jable - C.T. Bco. Tirajana	115	1597

## Propuestas: trazados óptimos

Para las interconexiones separadas Marruecos - Fuerteventura y Fuerteventura - Gran Canaria:

Trazado	Longitud (km)	Profundidad máx. (m)
Tarfaya - Las Salinas	110	1278
Morro Jable - C.T. Jinámar	106	1597

Para la interconexión Marruecos - (Fuerteventura) - Gran Canaria:

Trazado	Longitud (km)	Prof. máx. (m)
Tarfaya - C.T. Bco. Tirajana	260	1597
Tarfaya - Morro Jable - C.T. Bco. Tirajana	145+115	1597

## Propuestas: potencias y formas de transporte

Para las interconexiones separadas Marruecos - Fuerteventura y Fuerteventura - Gran Canaria:

Trazado	Potencia (MW)	Forma transporte
Tarfaya - Las Salinas	> 20	HVAC/HVDC
Morro Jable - C.T. Jinámar	> 20	HVAC/HVDC

Para la interconexión Marruecos - (Fuerteventura) - Gran Canaria:

Trazado	Potencia (MW)	Forma transporte
Tarfaya - C.T. Bco. Tirajana	> 80	HVDC LCC
Tarfaya - Morro Jable - C.T. Bco. Tirajana	> 20, > 80	HVDC LCC

## Propuestas: potencias y formas de transporte

Para las interconexiones separadas Marruecos - Fuerteventura y Fuerteventura - Gran Canaria:

Trazado	Potencia máxima HVDC LCC (MW)
Tarfaya - Las Salinas	$< 570 - < 90$
Morro Jable - C.T. Jinámar	$< 80 - < 300$

Para la interconexión Marruecos - (Fuerteventura) - Gran Canaria:

Trazado	Potencia máxima HVDC LCC (MW)
Tarfaya - C.T. Bco. Tirajana	$< 570 - < 300$
Tarfaya - Morro Jable - C.T. Bco. Tirajana	$< 570 - < 80 - < 300$

# Propuestas: potencias y formas de transporte

## Opciones en corriente alterna

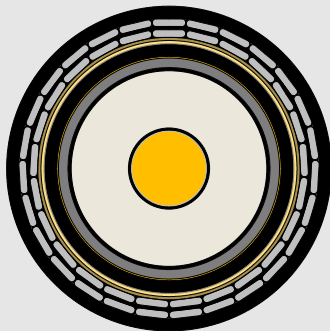
- Tarfaya - Las Salinas, 1 o 2 circuitos HVAC 132 kV - unipolares 100 MVA.
- Jandía - Jinámar, 1 o 2 circuitos HVAC 132 kV - unipolares 100 MVA.

## Opciones en corriente continua

- Jandía - Jinámar, HVDC LCC monopolar 80 kV - 40 MW.
- Jandía - Jinámar, HVDC VSC bipolar  $\pm 80$  kV - 40 MW.
- Jandía - Bco. Tirajana, HVDC LCC bipolar  $\pm 80$  kV - 40+40 MW.
- Jandía - Bco. Tirajana, HVDC LCC bipolar  $\pm 250$  kV - 40+40 MW.
- Tarfaya - Bco. Tirajana, HVDC LCC bipolar  $\pm 250$  kV - 150+150 MW.
- Tarfaya - Jandía - Bco. Tirajana, HVDC LCC bipolar multiterminal  $\pm 250$  kV - (190+190)(40+40)(150+150) MW.

## Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

Unipolar 132 kV CA, 400 mm<sup>2</sup>, XLPE



# Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

## Unipolar 132 kV CA, 400 mm<sup>2</sup>, XLPE

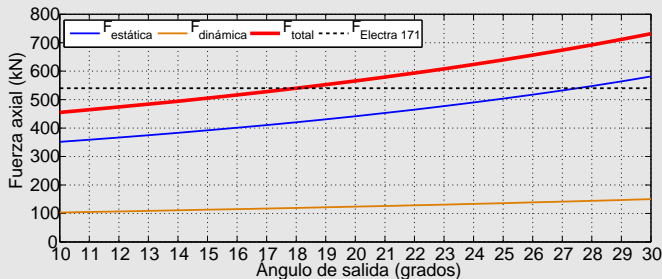
Capa	Material	Espesor	Radio ac.	Área	Área ac.
Conductor	Cobre	-	11.75	433.7	433.7
Semiconductora interna	HDPE+C	1	12.75	77.0	510.7
Aislante	XLPE	18	30.75	2460.0	2970.6
Semiconductora externa	HDPE+C	1	31.75	196.3	3166.9
Cubierta	Pb "E" o "1/2C"	3	34.75	626.7	3793.7
Refuerzo	Cobre	0.5	35.25	110.0	3903.6
Anticorrosión	HDPE	4	39.25	936.2	4839.8
Antiteredo	Tejido especial	1	40.25	249.8	5089.6
Asiento	Poliéster	1	41.25	256.0	5345.6
Armadura interna	Acero	2.4	43.65	640.1	5985.7
Asiento armadura	Polipropileno	1	44.65	277.4	6263.1
Armadura externa	Acero	2.4	47.05	691.4	6954.6
Protección exterior	Polipropileno	4	51.05	1232.8	8187.3

*Nota: Magnitudes en mm y mm<sup>2</sup>. Abreviatura "ac." es "acumulado".*

## Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

### Unipolar 132 kV CA, 400 mm<sup>2</sup>, XLPE

La masa del cable resulta de 26.9 kg/m y el peso en agua de 182 N/m. Las condiciones de instalación:  $d = 1600$  m,  $H_s = 5$  m,  $T_p = 7$  s.





## Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

### Unipolar 132 kV CA, 400 mm<sup>2</sup>, XLPE

Capa	Material	$\sigma$	Típico		Aleaciones	
			$\sigma_{\text{elástico}}$	$\sigma_{\text{rotura}}$	$\sigma_{\text{elástico}}$	$\sigma_{\text{rotura}}$
Conductor	Cobre	197	70	240	<960	<1000
Aislante	XLPE	2	-	5-15	-	-
Cubierta	Plomo	18	15	20	<55	<70
Armadura interior	Acero	362	260	500	<1090	<1880
Armadura exterior	Acero	367	260	500	<1090	<1880

*Nota: Magnitudes en MPa. Fuerza axial de 540 kN.*

# Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

Unipolar 132 kV CA, 400 mm<sup>2</sup>, XLPE

$$\underline{Z}_{\text{Cable}} \rightarrow \underline{Z}_{\text{Circuito}} \rightarrow \underline{Z}_{\text{Fases}} \rightarrow \underline{Z}_{\text{Secuencias}}$$

$$\underline{Y}_{\text{Cable}} \rightarrow \underline{Y}_{\text{Circuito}} \rightarrow \underline{Y}_{\text{Fases}} \rightarrow \underline{Y}_{\text{Secuencias}}$$

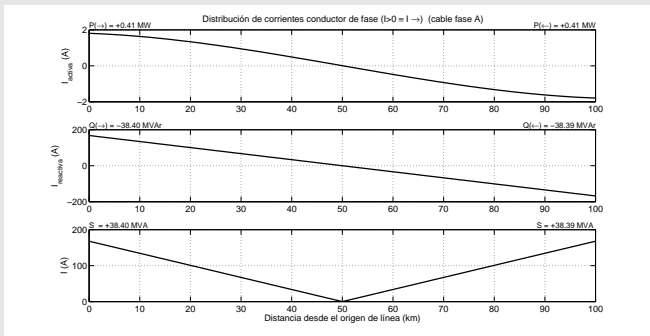
$$\underline{Z}_{\text{Secuencias}} = \begin{pmatrix} 0,1307 + j0,1049 & 0 & 0 \\ & 0,1307 + j0,1049 & 0 \\ & & 0,1307 + j0,1049 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{Homopolar} \\ \text{Directa} \\ \text{Inversa} \end{matrix} \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$\underline{Y}_{\text{Secuencias}} = \begin{pmatrix} 0,1319 + j43,95 & 0 & 0 \\ & 0,1319 + j43,95 & 0 \\ & & 0,1319 + j43,95 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{Homopolar} \\ \text{Directa} \\ \text{Inversa} \end{matrix} \left[ \frac{\mu\text{S}}{\text{km}} \right]$$

# Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

## Unipolar 132 kV CA, 400 mm<sup>2</sup>, XLPE

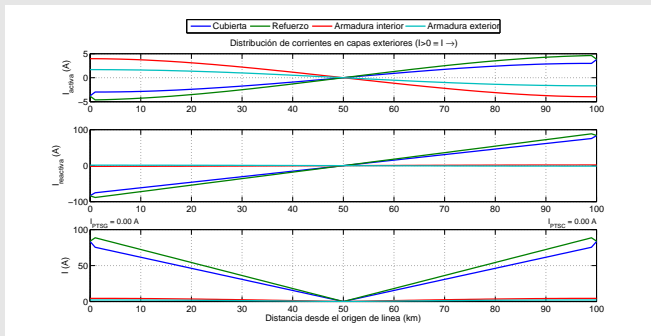
Distribución de corrientes en el conductor de fase en vacío.



# Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

Unipolar 132 kV CA, 400 mm<sup>2</sup>, XLPE

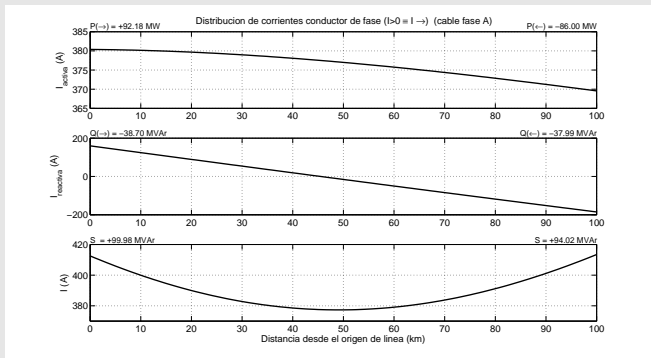
Distribución de corrientes en capas externas en vacío.



# Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

## Unipolar 132 kV CA, 400 mm<sup>2</sup>, XLPE

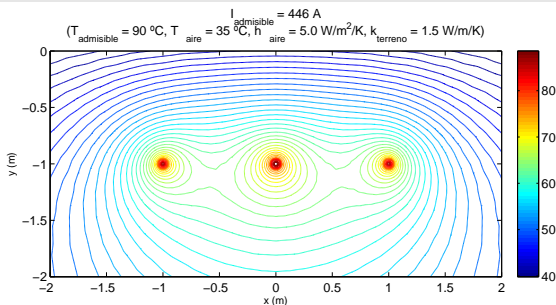
Distribución de corrientes en el conductor de fase en carga.



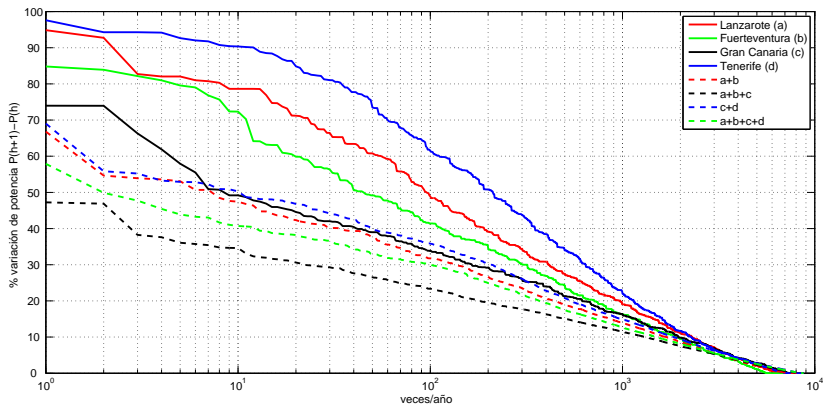
# Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

Unipolar 132 kV CA, 400 mm<sup>2</sup>, XLPE

Capacidad de transporte 100 MVA



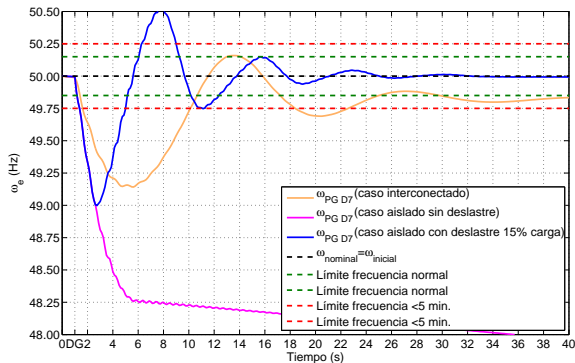
## Evaluación de mejoras



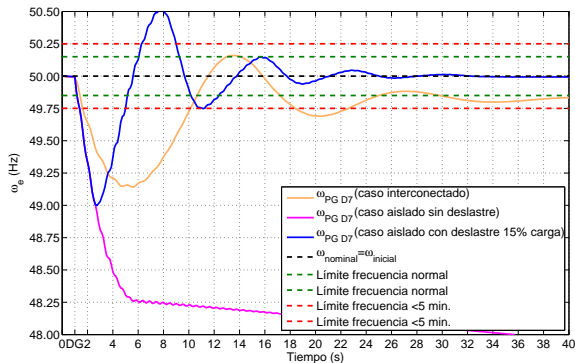




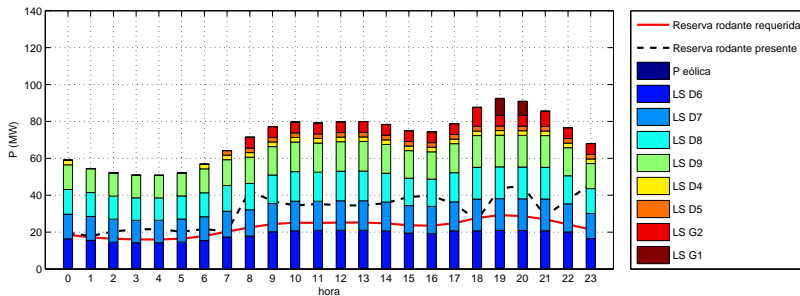
## Evaluación de mejoras



## Evaluación de mejoras



## Evaluación de mejoras



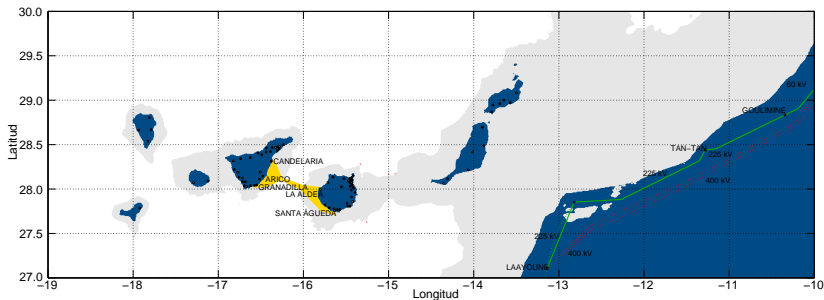
## Evaluación de mejoras

- Costes de generación S.E. aislados:
  - Lanzarote: 139 €/MWh. 121 M€, 869 GWh.
  - Fuerteventura: 153 €/MWh. 100 M€, 656 GWh.
  - Gran Canaria: 132 €/MWh. 480 M€, 3633 GWh.
- Costes de generación S.E. interconectados:
  - Lanzarote-Fuerteventura: 139 €/MWh. 212 M€, 1525 GWh.
  - Lanzarote-Fuerteventura (0 MW reserva): 133 €/MWh. 203 M€, 1525 GWh.

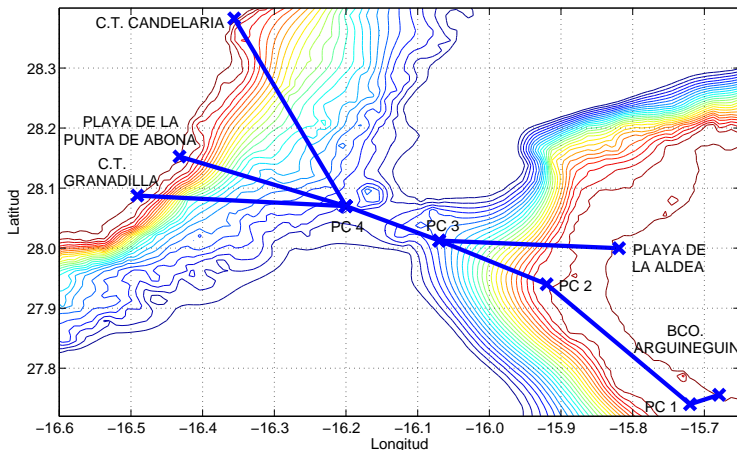
## Evaluación de mejoras

Propuesta	Tipo transporte	Tipología	Pot. (MW o MVA)	U (kV)	Coste inversión (M€)
FVGC1	HVAC	1er circuito	100	132	250
FVGC2	HVAC	2o circuito	100	132	190
MRFV1	HVAC	1er circuito	100	132	264
MRFV2	HVAC	2o circuito	100	132	200
FVGC3	HVDC-LCC	Monopolar	40	80	40
FVGC4	HVDC-VSC	Bipolar	40	80	73
FVGC5	HVDC-LCC	Bipolar	40+40	80	82
FVGC6	HVDC-LCC	Bipolar	40+40	250	117
MRGC	HVDC-LCC	Bipolar	150+150	250	282
MRFVGC	HVDC-LCC	Bipolar multit.	(190+190) (40+40) (150+150)	250	295

## Puntos de interconexión y topologías

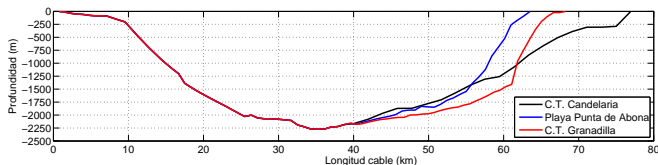


## Trazados submarinos: Gran Canaria - Tenerife

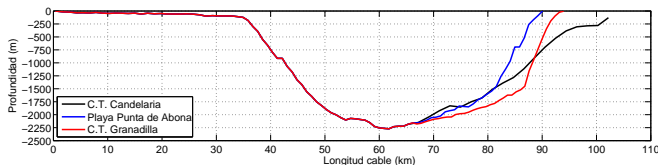


## Perfiles longitudinales: Gran Canaria - Tenerife

Desde La Aldea:



Desde Santa Águeda:



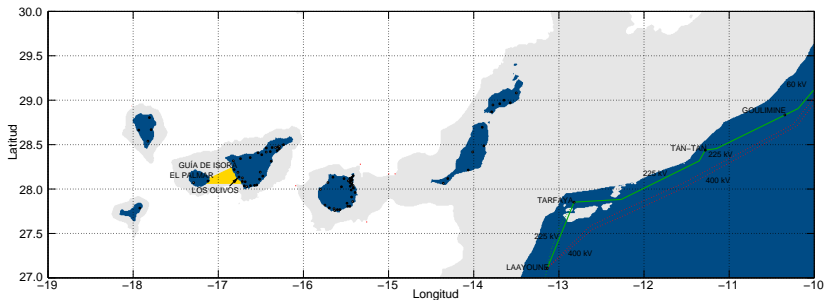


## Perfiles longitudinales: Gran Canaria - Tenerife

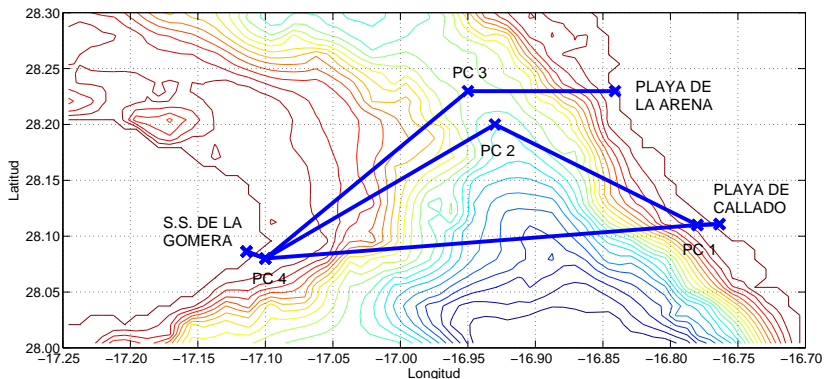
Trazado	Longitud (km)	Profundidad máx. (m)
Playa de La Aldea - C.T. Candelaria	77	2230
Playa de La Aldea - Pl. Punta de Abona	64	2230
Playa de La Aldea - C.T. Granadilla	68	2230

Trazado	Longitud (km)	Profundidad máx. (m)
Bco. Arguineguín - C.T. Candelaria	103	2230
Bco. Arguineguín - Pl. Punta de Abona	90	2230
Bco. Arguineguín - C.T. Granadilla	94	2230

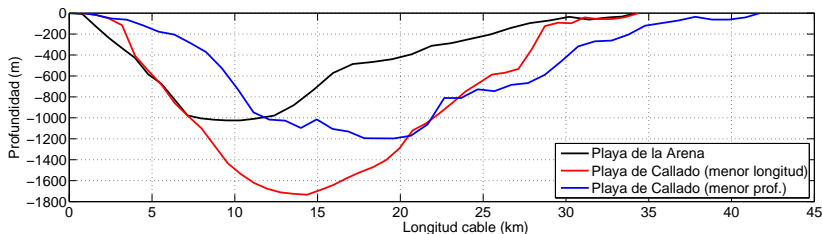
## Puntos de interconexión y topologías



## Trazados submarinos: Tenerife - La Gomera



## Perfiles longitudinales: Tenerife - La Gomera



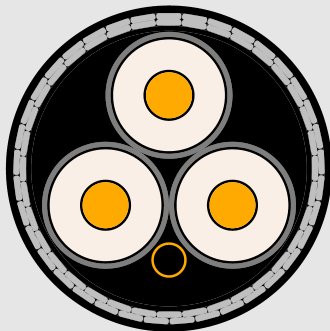
Trazado	Longitud (km)	Profundidad máx. (m)
Pl. la Arena - El Palmar	34	1025
Pl. de Callado - El Palmar (menor prof.)	42	1200
Pl. de Callado - El Palmar (menor long.)	34	1735

## Propuestas: potencias y formas de transporte

- Trazados óptimos de 34 y 42 kilómetros.
- Profundidades máximas 1000 y 1200 metros.
- Transporte en corriente alterna.
- Potencia por circuito similar a líneas insulares, 40-50 MVA.

## Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

Tripolar 66 kV CA, 240 mm<sup>2</sup>, XLPE



## Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

### Tripolar 66 kV CA, 240 mm<sup>2</sup>, XLPE

Capa	Material	$\sigma$	Típico		Aleaciones	
			$\sigma_{\text{elástico}}$	$\sigma_{\text{rotura}}$	$\sigma_{\text{elástico}}$	$\sigma_{\text{rotura}}$
Conductor	Cobre	133	70	240	<960	<1000
Aislante	XLPE	1	-	5-15	-	-
Cubierta	Plomo	12	15	20	<55	<70
Armadura interior	Acero	238	260	500	<1090	<1880
Armadura exterior	Acero	241	260	500	<1090	<1880

*Nota: Magnitudes en MPa. Fuerza axial de 481 kN: 1200 metros, peso en agua 241.5 N/m,  $H_s = 5$  m,  $T_p = 10$  s.*

# Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

Tripolar 66 kV CA, 240 mm<sup>2</sup>, XLPE

$$\underline{Z}_{\text{Circuito}} \rightarrow \underline{Z}_{\text{Fases}} \rightarrow \underline{Z}_{\text{Secuencias}}$$

$$\underline{Y}_{\text{Circuito}} \rightarrow \underline{Y}_{\text{Fases}} \rightarrow \underline{Y}_{\text{Secuencias}}$$

$$\underline{Z}_{\text{Secuencias}} = \begin{pmatrix} 0,2937 + j0,3193 & 0 & 0 \\ & 0,0797 + j0,0928 & 0 \\ & & 0,0797 + j0,0928 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{Homopolar} \\ \text{Directa} \\ \text{Inversa} \end{matrix} \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$\underline{Y}_{\text{Secuencias}} = \begin{pmatrix} 0,14 + j46,9 & 0,00 & 0,00 \\ & 0,14 + j46,9 & 0,00 \\ & & 0,14 + j46,9 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{Homopolar} \\ \text{Directa} \\ \text{Inversa} \end{matrix} \left[ \frac{\mu\text{S}}{\text{km}} \right]$$

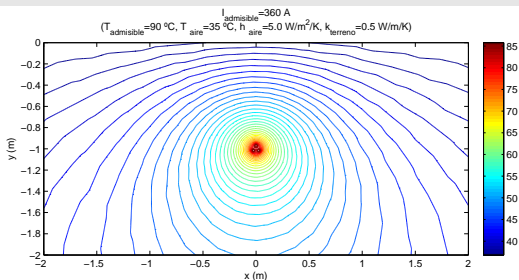
(1)



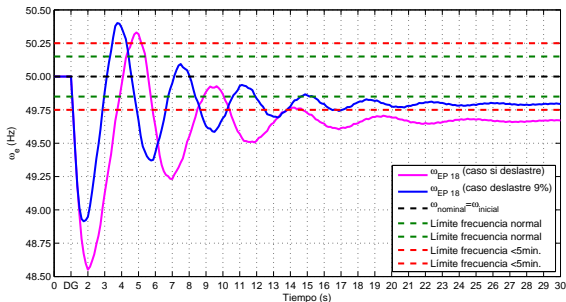
# Propuestas: Prediseño de los cables submarinos

Tripolar 66 kV CA, 240 mm<sup>2</sup>, XLPE

Capacidad de transporte 50 MVA



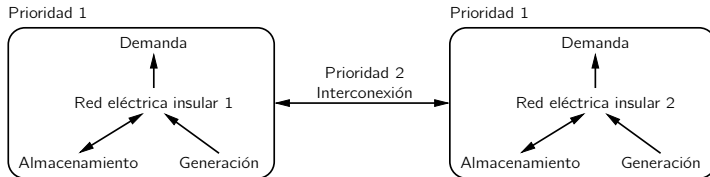
## Evaluación de mejoras



## Evaluación de mejoras

- Costes de generación total S.E. aislados:
  - Tenerife: 130 €/MWh. 475 M€, 3657 GWh.
  - La Gomera: 209 €/MWh. 15 M€, 72 GWh.
- Costes de generación evitados:
  - La Gomera: 209-130 €/MWh. 5.7 M€, 72 GWh.
- Costes inversión primer circuito: 34 M€.
- Costes inversión segundo circuito: 42 M€.

- 1 Presentación
- 2 Estado de la técnica
  - El sistema eléctrico
  - Papel de las interconexiones
  - Formas de transporte de potencia
  - Instalaciones de cables submarinos de energía eléctrica
- 3 Islas Canarias
  - Entorno
  - Zonas de interconexión
  - Zona de interconexión oriental
  - Zona de interconexión provincial
  - Zona de interconexión occidental
- 4 Conclusiones
  - Hoja de ruta de propuestas definitivas
  - Líneas futuras





- Análisis detallados de las soluciones más viables utilizando los cables prediseñados.
  - FVGC6 → MRFVGC
  - FVGC1 y FVGC2 → MRFV1 y MRFV2
  - TFLG1 y TFLG2
- Investigar otras opciones para el tendido de cables submarinos.

