



Subsea Optical Cables

La columna vertebral invisible de Internet

Alex Ramoneda
ESNOG, Nov 2025

La era del cable de cobre telegráfico 1850-1955



The Goliath and the Widgeon laying the first submarine cable between Dover and Calais

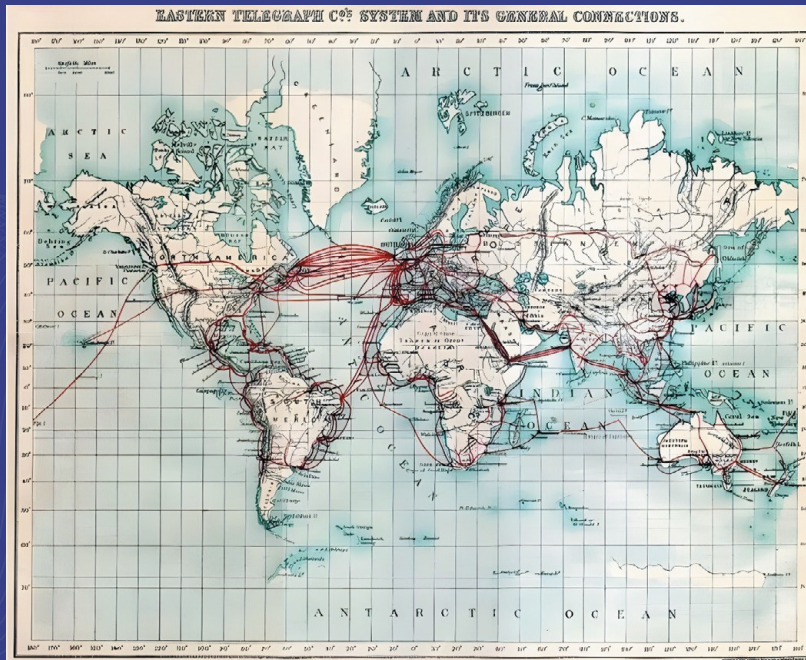
25 miles, weighting 7 Tones/mile



First transatlantic cable in 1858 First message August 1858
sent by Queen Victoria to US President James Buchanan
98 words and took 17 hours to transmit

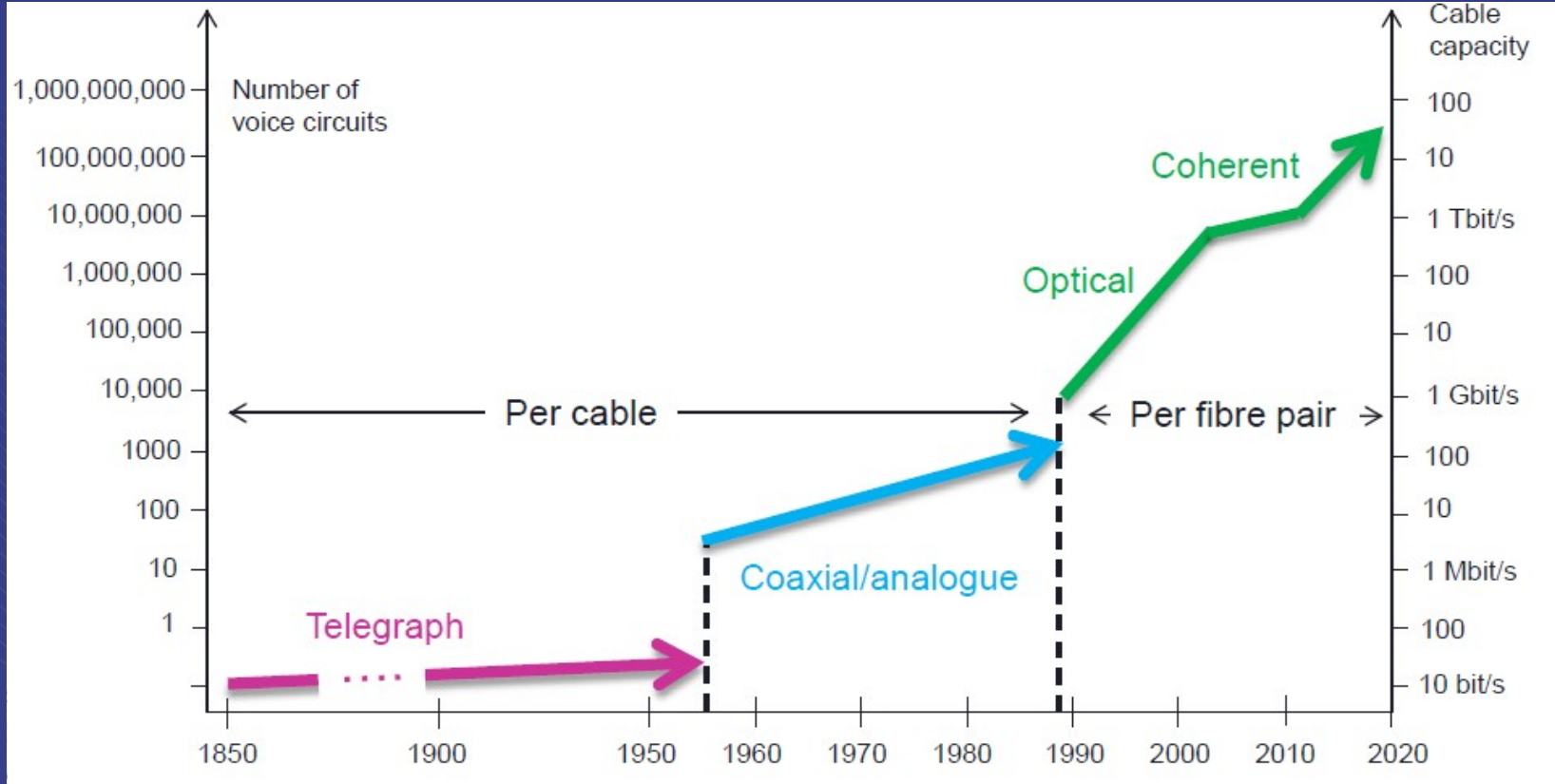
Declared the 8th wonder of the world

En 1860 se tendieron cables a Baleares desde Barcelona
y Mahón (107 km) y desde Valencia a Ibiza (333 km),

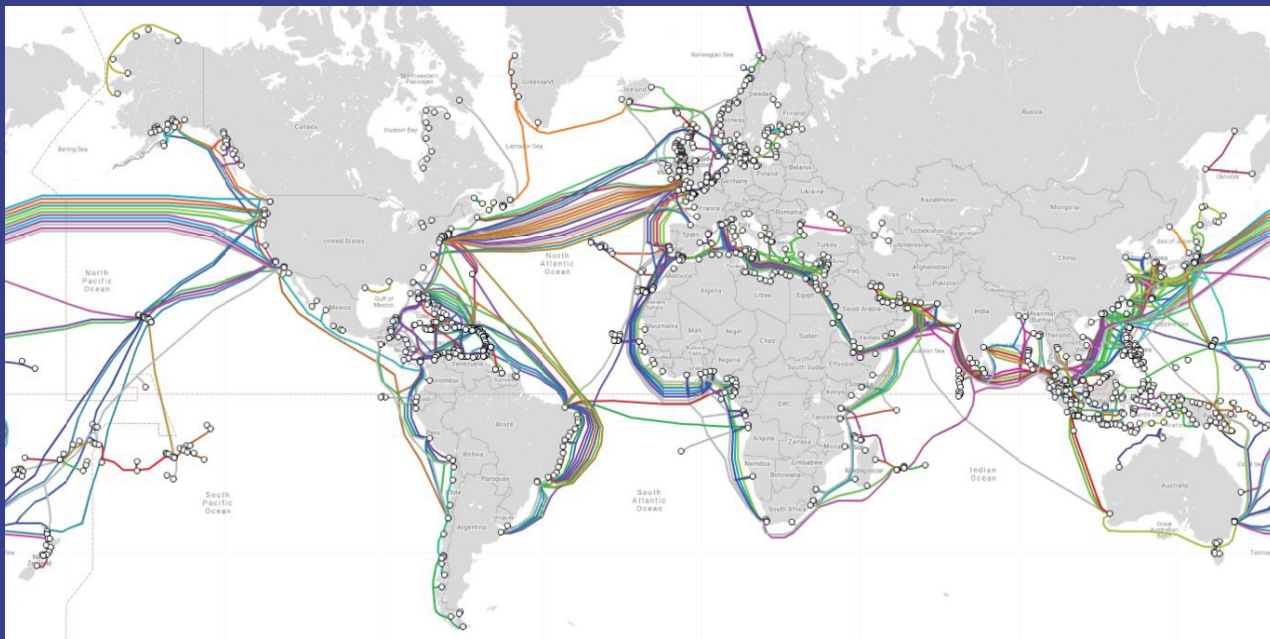


Map of connections in 1901

Evolución tecnológica de los cables submarinos



Cables submarinos hoy



[https://
www.submarinecablemap.com/](https://www.submarinecablemap.com/)

>450 in-service cables

1.4 million kms of cable

1,400 landing points

High reliability, 25-year
lifetime

Deployed to 9000m water
depth

Up to 20,000kms in length

**Los cables submarinos transportan el 99% del
trafico de Internet intercontinental**

Cables submarinos: Topología



 **2Africa**

DISTANCIA

- Enlaces cortos sin repetición (hasta 350 km), conexión de islas, cruce de estrechos
- Enlaces intercontinentales (hasta 20,000 Km)

ENTORNO

- Cables en el fondo marino. Complejidad de acceso y manipulación
- Rutas ya congestionadas
- Directivas medioambientales

COSTES

- Planificación muy anticipada
- Coste de inversión por Km tendido
- Coste de Operación y Mantenimiento
- Financiación

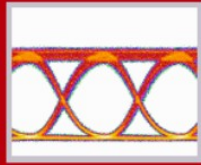
SEGURIDAD

- Critical Asset Designation
- Geopolitics
- Mayor Maritime Domain Awareness – Límites Cabotaje
- Guerra digital

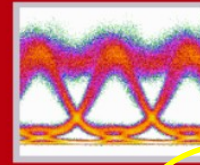
EFICIENCIA ECONOMICA

- El valor de mercado es el precio de **bit/s** entre extremos
- Productos a distintos niveles: fibra oscura, espectro, bitstream
- Arquitecturas abiertas: Desagregar wet plant de dry plant

Optical Communications: It May Be a **Digital** Signal, but It's **Analog** Transmission



Transmitted Data Waveform



Waveform After 1000 Km

La distancia siempre es un handicap en comunicacion analogica

Modulación

Relación
señal-ruido

Dispersión

No
linealidades

Interferencia
Intersimbólica

Ancho de
banda

Frequency grid

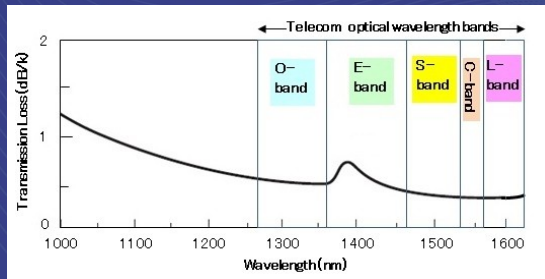
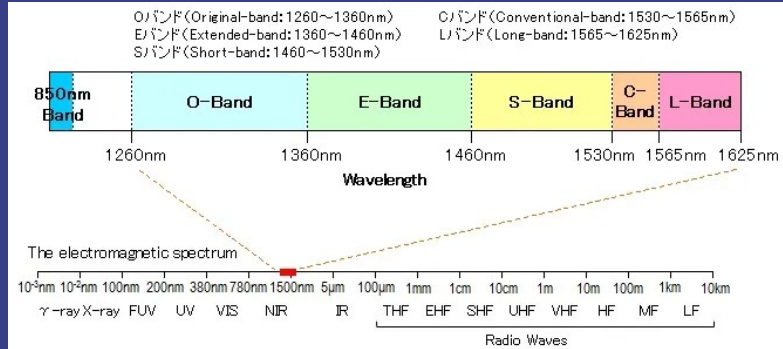
Figura de
Ruido

Baud rate

Coherencia

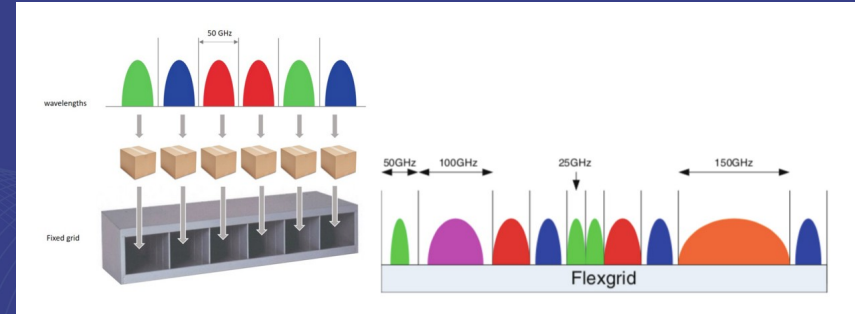
Coherencia

Transmisión: Espectro y Flex Grid



Banda C
35 nm - 4 THz

Repetead submarine systems usan solo la banda C.
Banda L es también posible (pero existen restricciones)
Solo existen amplificadores EDFA en bandas C y L



El flexible grid define la rejilla en unidades mínimas de 6.25 GHz (según ITU-T G.694.1 revisada en 2012).

El equipo SLTE

- Ajusta la frecuencia central de cada portadora digital de forma dinámica.
- Cambia el ancho de banda ocupado según la modulación y baud rate, elección que depende del G-OSNR evaluado
- Inserta o retira canales sin afectar a los adyacentes

Desde 2010 se desarrolla la detección coherente.

- Disponer de tres dimensiones independientes de modulación: Nivel, Fase y Polarización
- Mejora progresiva de Digital Signal Processing (DSP), para compensar dispersiones, spectral shaping, y mecanismos más complejos de Forward Error Correction (FEC)

Los resultados:

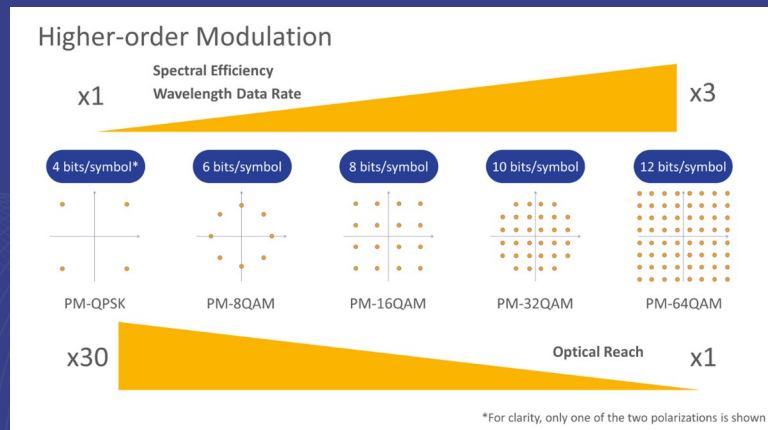
- Aumenta la EFICIENCIA ESPECTRAL (b/s/Hz) vía el aumento de portadoras ópticas, baud rate y bits/símbolo
- Nos aproximamos al límite de Shannon de capacidad del canal. El crecimiento ha de venir por añadir canales (mas fibras, banda L)

20 Tbps per fibre pair
480 Tbps per cable
En 3,500 km

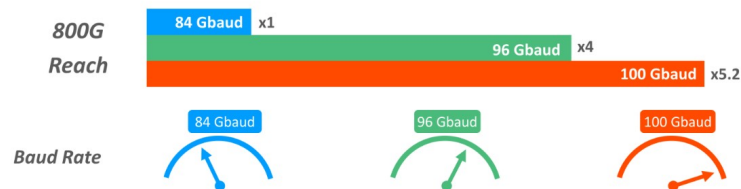
La distancia siempre es un handicap en comunicacion analogica

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Figure 1: The Famous Shannon Limit/Capacity Equation



800 Gb/s Transmission: Baud Rate and PCS



Transmisión: Fibra G.654 and future multicore fiber

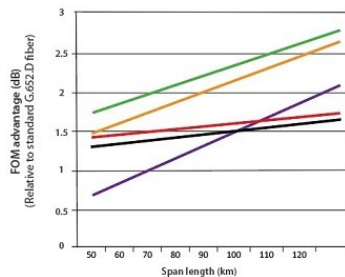
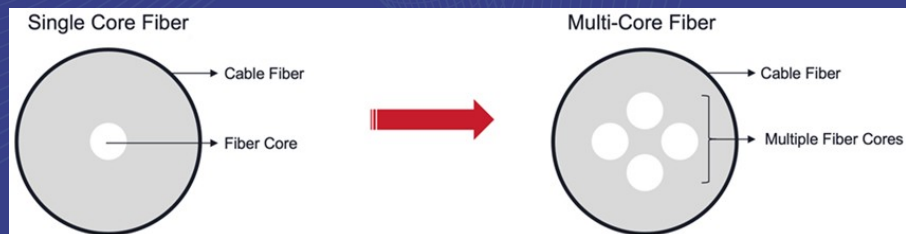


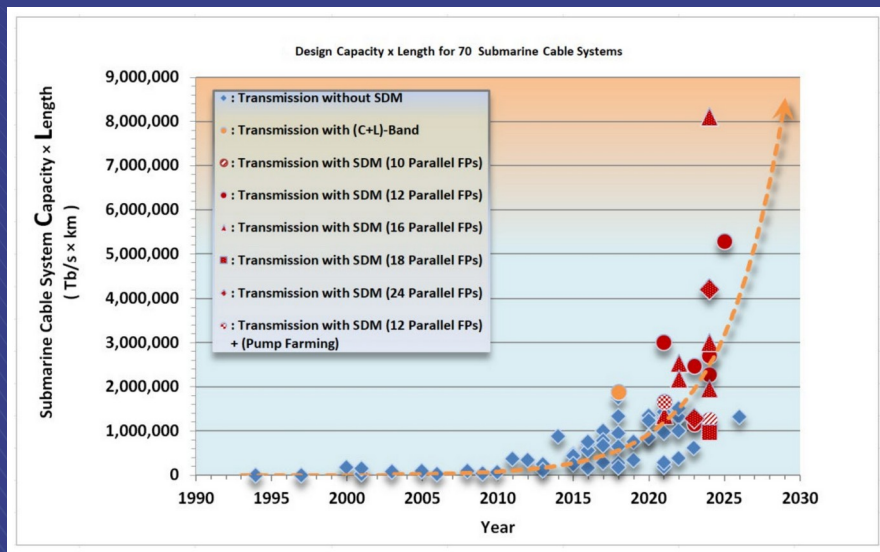
Fig. 3. Performance comparison of G.654.E fiber.

Fiber A effective area 125 μm^2 , attenuation 0.184 dB/km
Fiber B effective area 110 μm^2 , attenuation 0.165 dB/km
Fiber C effective area 130 μm^2 , attenuation 0.185 dB/km
Fiber D effective area 85 μm^2 , attenuation 0.161 dB/km
G.654.E fiber effective area 125 μm^2 , attenuation 0.168 dB/km

Product Name	PureBand™ Submarine	Z Fiber™ LL	PureAdvance™-110 Submarine	Z-PLUS Fiber™ ULL
ITU-T Compliance	G.652.D	G.654.C	G.654.B, G.654.D	G.654.B, G.654.D
Effective area (Typical) at 1550 nm	83 μm^2	85 μm^2	110 μm^2	112 μm^2
Attenuation (Typical) at 1550 nm	0.174 dB/km	0.156 dB/km	0.154 dB/km	0.148 dB/km
Proposed application	- Regional - Unrepeated	- Regional ~ Middle reach - Unrepeated	- Regional ~ Middle reach - Long-reach unrepeated	- Middle reach ~ Transoceanic - Long-reach unrepeated

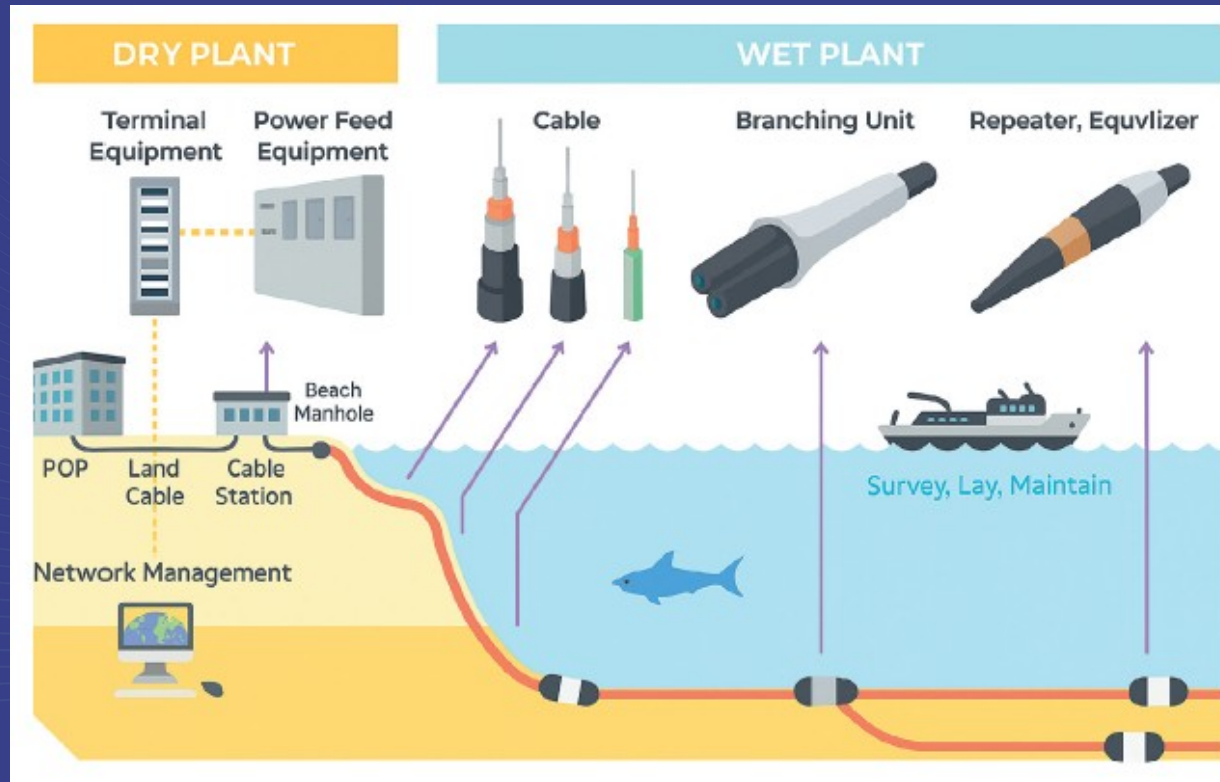


Transmisión: Evolucion de capacidades

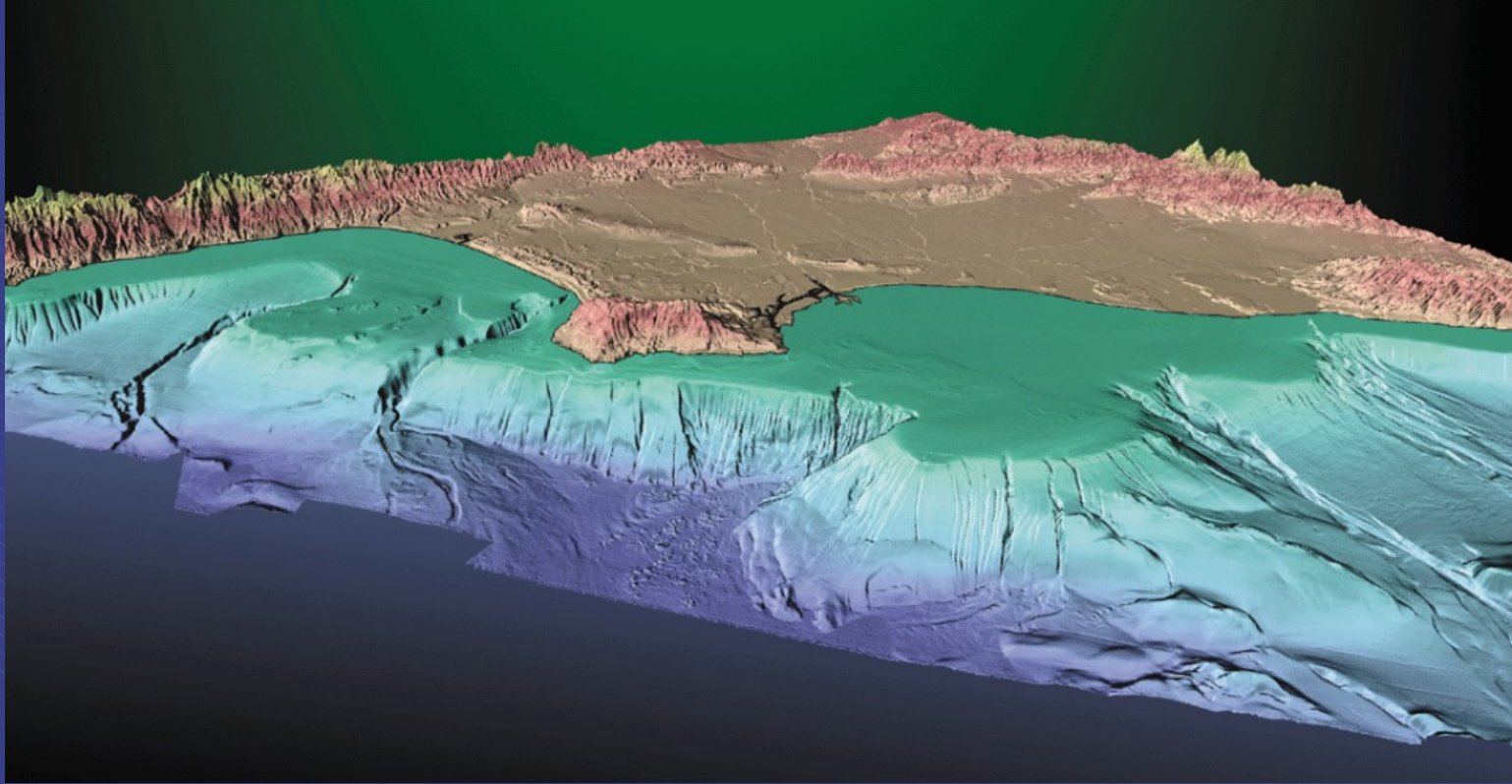


	Dispersion Managed	Uncompensated	SDM-1	SDM-2
	Apollo	MAREA	Dunant	Meta Cable
RFS Date:	2003	2018	2021	Contract in Force
Fibre pairs:	4	8	12	24
FP Capacity:	10Tb/s	26.2Tb/p	25.2Tb/s	21Tb/s
Cable Capacity	40Tb/s	210Tb/s	312Tb/s	504Tb/s

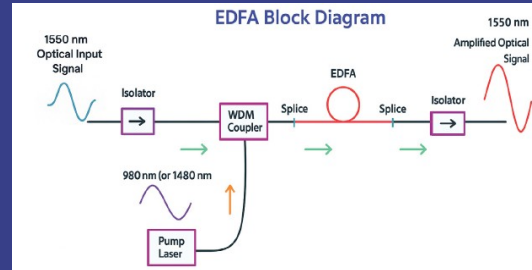
Cables submarinos: Arquitectura



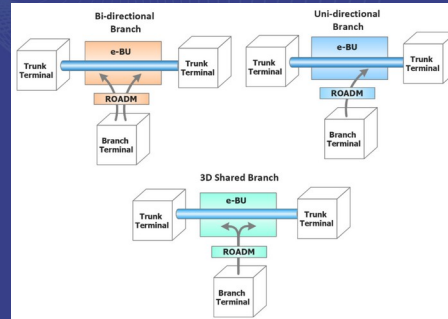
La Tierra no es tampoco plana en el fondo del mar



Repetidores y Branching Units

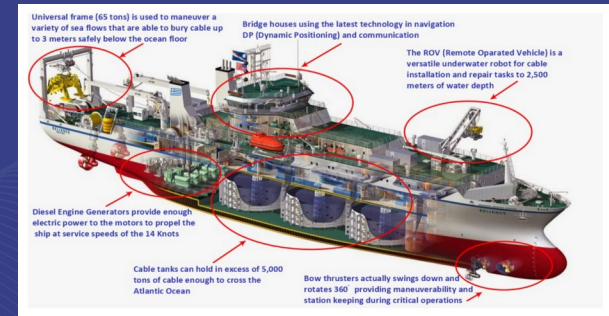
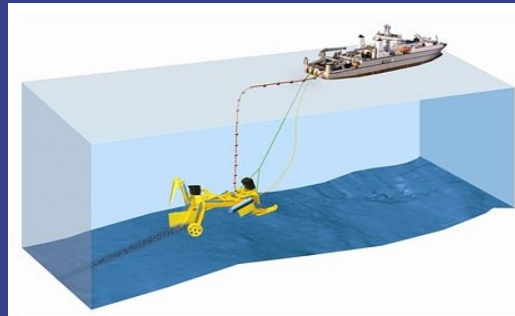


- Los repetidores alojan un EDFA para cada fibra
- Aumentar el numero de repetidores aumenta el consumo de potencia y empeora el SNR
- Aumentar la potencia de los repetidores aumenta el consumo de potencia y crea riesgo de no linealidades en la fibra
- La estrategia SDM prefiere ahorrar potencia y capacidad por canal y compensar la capacidad total del sistema con mas canales

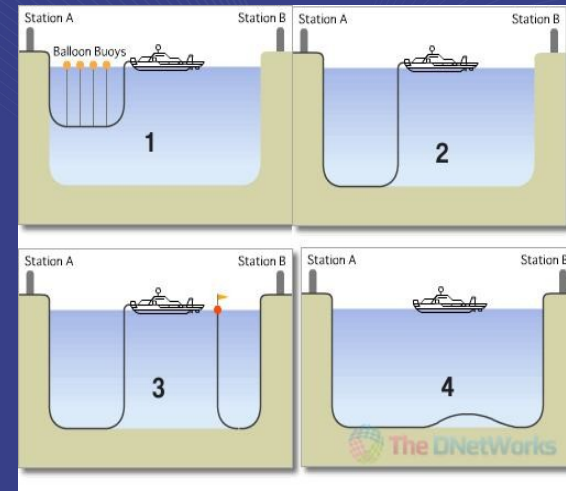


- Las Branching Units (BU) ahora alojan WSS ROADM para flexibilidad y eficiencia

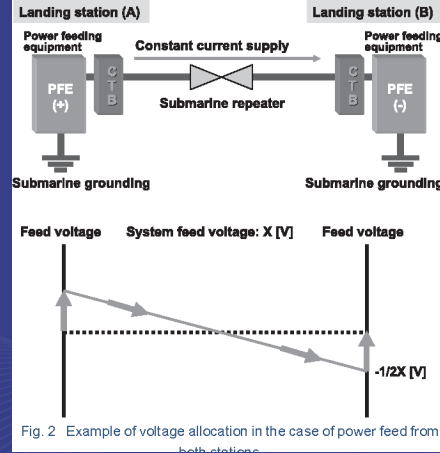
Cables submarinos y su Instalación



- La armadura de los cables se establece según el nivel de protección requerido
- Los cables se fabrican a medida del proyecto, previamente diseñado
- Hasta 1000 metros de profundidad, los cables van enterrados. Profundidades mayores, el cable va al fondo marino



Power Feeding Equipment



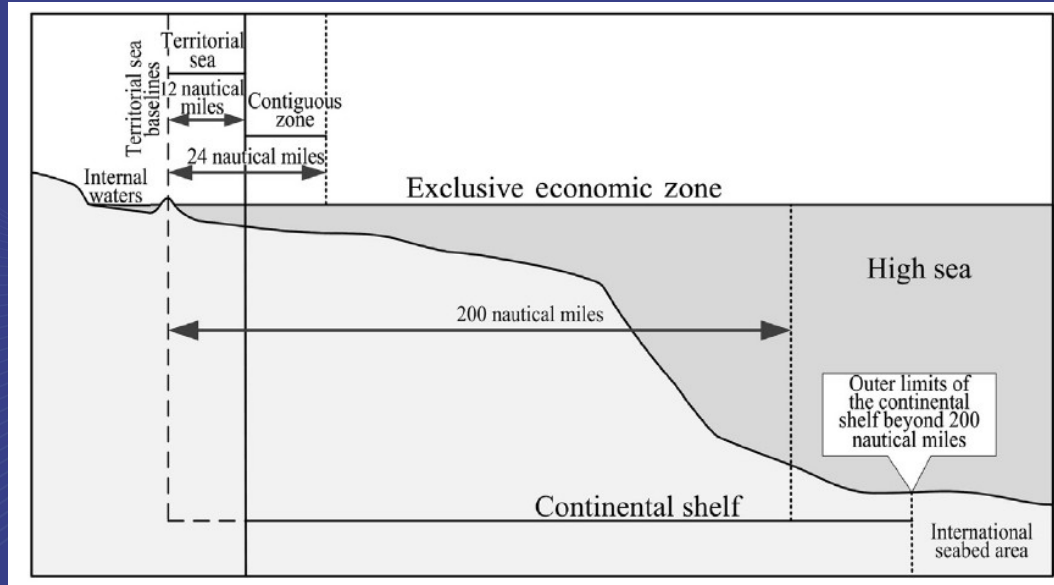
- PFE proporciona potencia a la planta activa sumergida
- La energía se suministra a través de un conductor eléctrico dentro del cable submarino. El retorno es por el propio mar
- El sistema tiene alta redundancia. Los módulos están duplicados y se establece alimentación dual, desde ambos extremos
- El total de potencia es limitado, approx 18kV (1 A) lo que limita el numero de repetidores de la cadena
- Tiene una prestación para detectar la posición de rotura de cables

Submarine Line Terminal Equipment (SLTE)

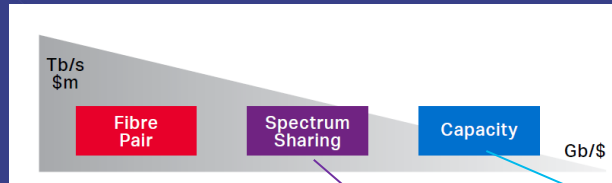


- Extreme capacity, >10,000kms transmission, flexibility and connectivity
- Single channel transponders transforming client interfaces at 10G, 100G or 400G into ultra high-performance transmission signals up to 800G
- Softwareconfigurable with different constellation shaping (QPSK, 16QAM, 64QAM)
- Support different pulse shapes (Nyquist, Frequency Division Multiplexing (FDM))
- Encoding/decoding techniques including Soft Decision Forward Error Correction (SD FEC)
- Manage chromatic dispersion compensation through digital signal processing for both pre and post compensation
- Optical multiplexing/demultiplexing

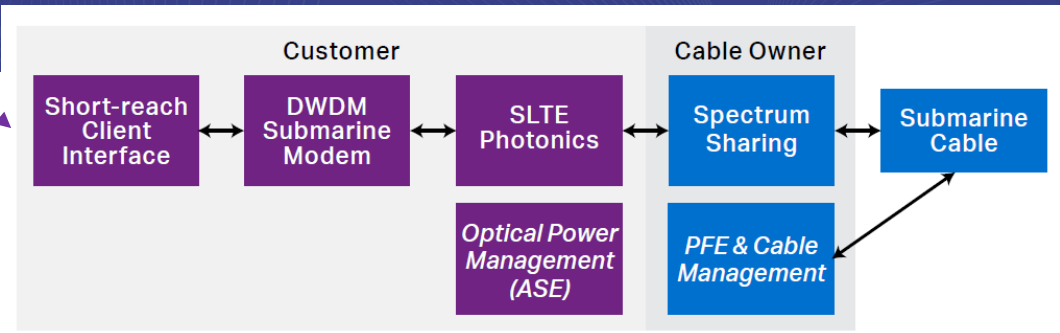
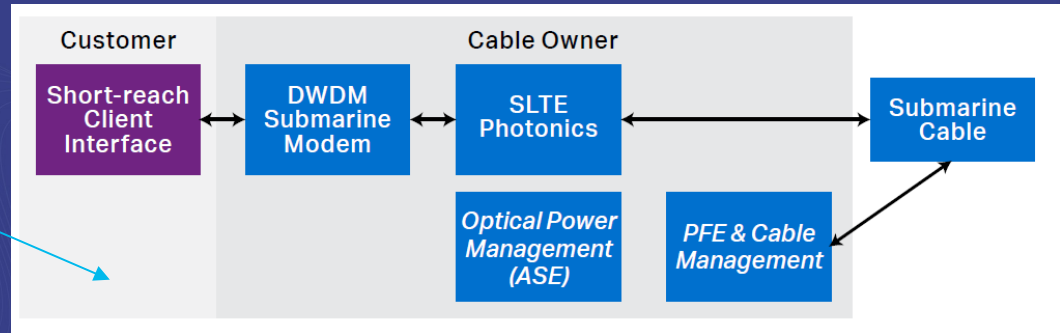
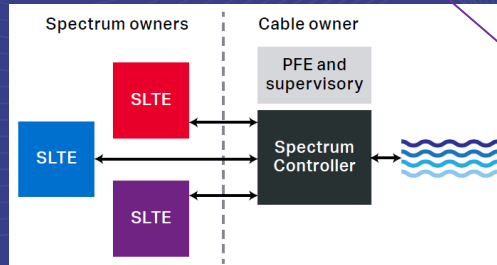
Cables submarinos: la gestion administrative de la costa



Cables submarinos: Open Cable Architecture



- Desacoplar wet plant de dry plant
- Nuevos modelos de negocio
- La Wet Plant queda modelizada para que el SLTE elija la modulación más eficiente
- Es necesario ecualizar potencias en el spectrum controller



Quien posee cables submarinos?

- Tradicionalmente los cables de telecomunicaciones submarinos han sido contruidos por las grandes operadoras (Telefonica, NEC, etc), normalmente en consorcio
- Recientemente los proveedores de contenido e hiperescalares (Google, Amazon, Meta, Amazon) son los mayores inversores, proporcionando un ancho de banda masivo entre data centers
- Los nuevos modelos de negocio han propulsado los operadores de Infraestructura submarina en la cadena de valor (Medusa, IslaLink, etc)

Can Europe protect its underwater cables from sabotage?



UK military chief warns of Russian threat to vital undersea cables

Adm Tony Radakin says any attempt by submarines at damage would be treated as 'act of war'



France tightens subsea cable security amid growing fear of sabotage

September's Nord Stream gas leaks have increased concerns in the EU's most connected country.



| Gracias | Shukran | Thank you | Merci | Obrigado | 谢谢 |
Gràcies



[contact@medusascs.c](mailto:contact@medusascs.com)



[om
www.medusascs.c](http://www.medusascs.com)



om
+34 93 394 1901