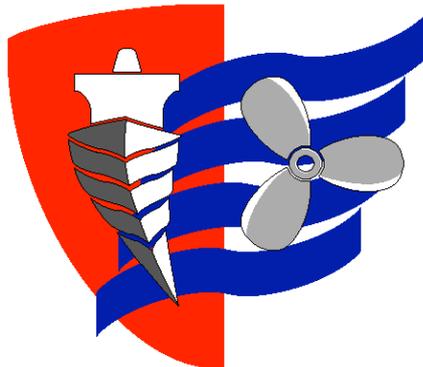


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Resumen Trabajo Fin de Grado

**EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO
DINÁMICO EN OPERACIONES DE
REPARACIÓN DE CABLES
SUBMARINOS.**

**THE DYNAMIC POSITIONING SYSTEM
IN SUBMARINE CABLE REPAIR
OPERATIONS.**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y
TRANSPORTE MARÍTIMO**

Autora: María del Carmen Gil Bugarín

Director: Jose Iván Martínez García

Octubre - 2014

ÍNDICE

Capítulo 1. Introducción.....	10
Capítulo 2. Sistema mundial de red de cables submarinos.....	11
Capítulo 3. Descripción general de un buque cablero.....	17
Capítulo 4. Sistema de Posicionamiento Dinámico.....	25
4.1 Descripción del sistema.....	25
4.2 Elementos fundamentales en un sistema DP.....	33
4.2.1 Sistemas de Posición de Referencia.....	38
4.2.1.1 HPR.....	41
4.2.1.2 Taut Wire.....	45
4.2.1.3 DGPS.....	49
4.2.2 Sensores.....	53
4.2.2.1 Girocompás.....	53
4.2.2.2 MRU.....	54
4.2.2.3 Sensores de viento.....	55
4.2.2.4 Dinamómetros.....	57
4.2.3 Propulsión y elementos de gobierno.....	58
Capítulo 5. Sistema Integrado de Navegación y Tendido.....	60
5.1 Sistema WinFrog.....	60
5.2 Sistema MakaiLay.....	65
Capítulo 6. Vehículos sumergibles.....	68
6.1 Arado.....	68
6.2 ROV.....	83
Capítulo 7. Elementos de sistemas de cables submarinos.....	91
7.1 Cable submarino de fibra óptica.....	93
7.1.1 Tipos de cables y sus aplicaciones.....	100

7.2 Branching Units.....	107
7.3 Repetidores.....	110
Capítulo 8. Laboratorios de medidas de transmisión y Sala de Empalmes.....	115
8.1 Sala de transmisiones y equipo de medida.....	115
8.2 Sala de realización de empalmes y equipo.....	118
Capítulo 9. Maniobras de cables.....	122
9.1 Carga y descarga de cable.....	122
9.2 Tendido de cables submarinos.....	127
9.3 Draga de corte y draga de recuperación de cables.....	129
9.4 Arriado y recuperación de boyas.....	146
9.5 Tendido del empalme final.....	160
9.6 Tendido en playas (Shore Ends).....	163
9.7 Limpieza de ruta.....	168
Capítulo 10. Estudios Batimétricos.....	171
Capítulo 11. Relación con el Medio Ambiente.....	178
Capítulo 12. Cálculos.....	185

Capítulo 1. Introducción

El siguiente trabajo recoge los distintos aspectos de los buques cableros y la red mundial de sistemas de cables submarinos, junto con el uso del Sistema de Posicionamiento Dinámico en las distintas operaciones que desarrollan.

Capítulo 2. Sistema Mundial de cables submarinos

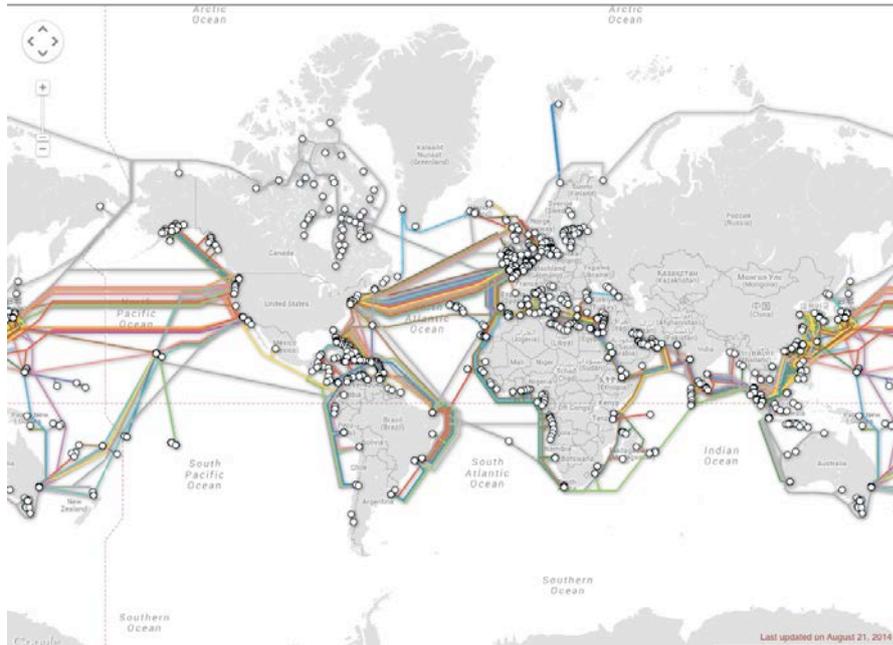


Fig. Red mundial de cables submarinos. Fuente: Telegeography.

Desde mediados del siglo XIX, una red de cables, en gran parte submarina, comenzó a tenderse para facilitar las comunicaciones a nivel mundial. A través de esos cables, transita hoy la mayor parte de la información que se transmite por la red. Hoy alcanza una extensión estimada de 900.000 kilómetros. A pesar del desarrollo de los satélites espaciales, los cables siguen siendo los que transmiten la mayor parte de la información.

Acuerdos de mantenimiento

La solución más sencilla, es la introducción del cable en un Acuerdo de Mantenimiento Internacional como son ACMA, NAZ, MECMA y PIOCMA.

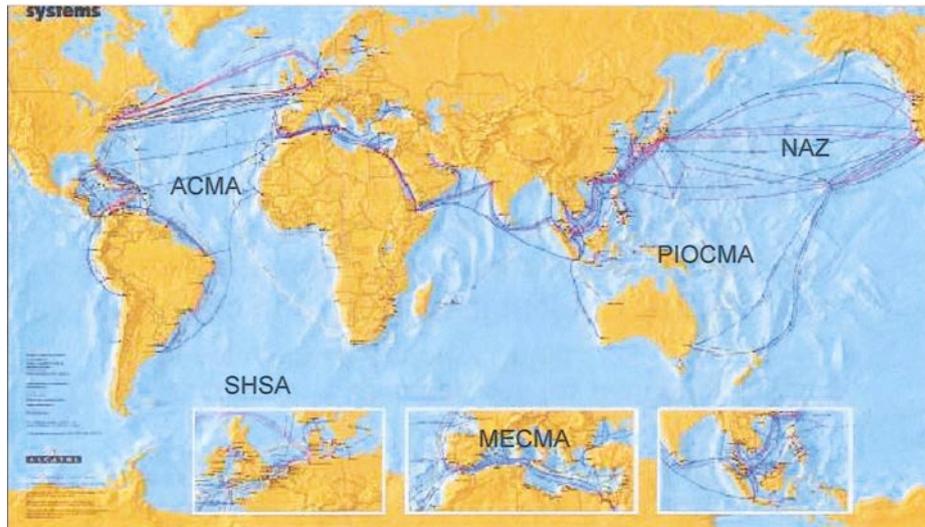


Fig. Mapa de acuerdos de mantenimiento.

Los cables están incluidos en diversos acuerdos, según la zona de influencia en la que estén tendidos.

El Almacenamiento de repuestos y el coste del mismo es otro de los aspectos a tener en cuenta.



Fig. Depósitos de cables submarinos y tanques portátiles.

Capítulo 3. Descripción General de un buque cablero

Un Buque Cablero, es un buque cuya misión fundamental es la de tender cables submarinos de telecomunicaciones y realizar posteriores reparaciones de estos cables, que sufren averías principalmente debidas a las anclas y a la pesca de arrastre.

El tendido de un cable submarino es un proceso complejo, altamente preciso y delicado, por lo que requiere una maquinaria específica y unos equipos especiales.

Composición de un buque cablero



Fig. B/C Tyco Resolute.

Partes principales:

Tanques de cable: Para almacenar los diferentes tipos de cable, los buques van equipados en su interior con unos grandes tanques circulares, de gran capacidad de carga.



Fig. Tanques Cable.

Maquinaria para el manejo de cables: máquinas lineales provistas de un gran número de pares de ruedas o cadenas, y tambores entre los cuales pasa el cable.



Fig. Máquina lineal de Popa.

Laboratorios de medidas de transmisión óptica y sala de empalmes: Para ir comprobando en todo momento el perfecto funcionamiento del sistema y la

realización de los empalmes de los diferentes tipos de cable.

Estibas de repetidores y Branching Units: estibas especiales provistas de sistemas de refrigeración y monitorización de temperaturas.

Sistemas de posicionamiento, control del buque y control de tendido

Propulsión



Fig. Puente de mando.

Capítulo 4. Sistema de Posicionamiento Dinámico

4.1 Descripción del sistema

El sistema de posicionamiento dinámico (DP) es un sistema computerizado que permite el posicionamiento automático del buque y el control de su rumbo.

La implantación de fibra óptica en los cables de comunicación ha requerido una gran precisión en la instalación de los mismos, algo para lo que el DP ha contribuido de una manera sustancial.

Fuerzas básicas y movimientos: El buque se ve sometido a diferentes fuerzas: viento, oleaje, corrientes y fuerzas resultantes del sistema de propulsión.

El DP analiza el movimiento tridimensional del buque atendiendo a las siguientes variables: Plano horizontal: proa - popa (Surge), babor – estribor (Sway), rumbo; (Yaw). Plano vertical: arriba - abajo (Heave), balance (Roll) y cabeceo (Pitch). Definiendo así los 6 grados de libertad en los movimientos del buque.

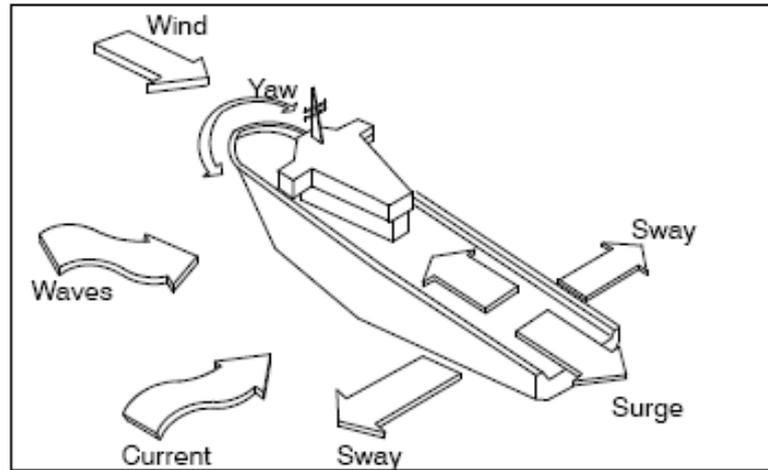


Fig. Movimientos horizontales controlables en DP.

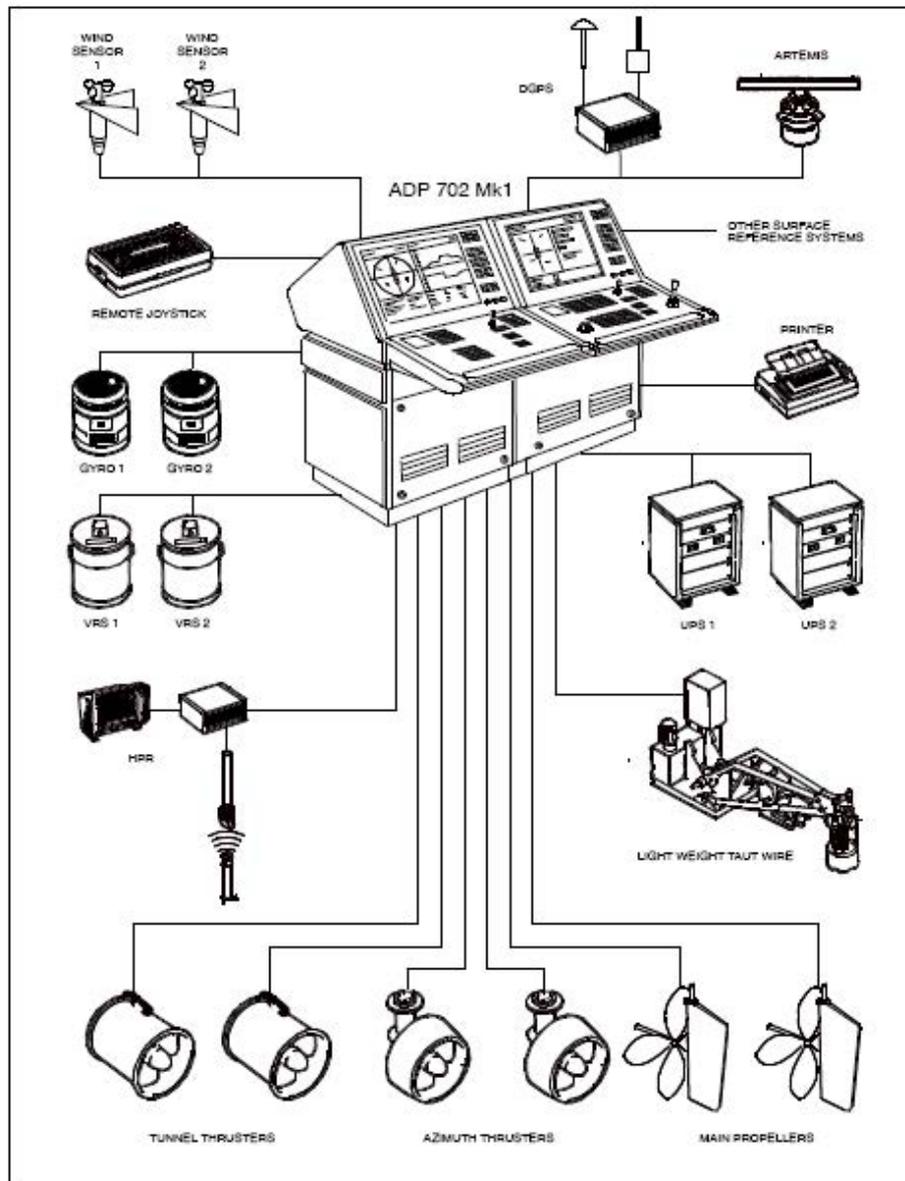


Fig. Configuración típica de un sistema DP.

Principios del sistema DP: El funcionamiento del sistema se basa en un “modelado” que contiene la descripción hidrodinámica del buque.

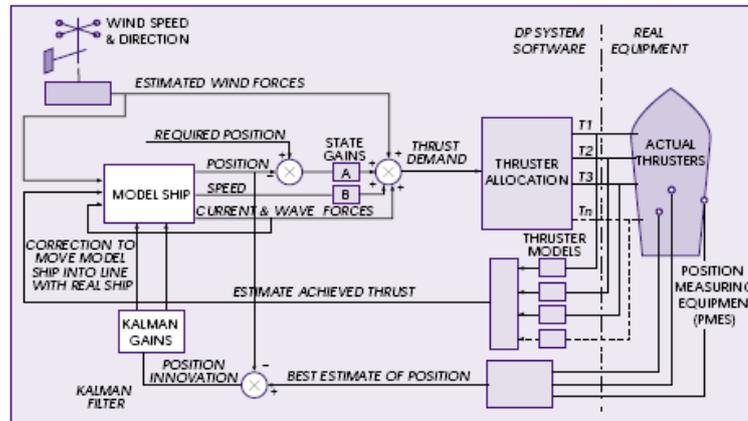


Fig. Esquema del Buque modelo y la ganancia Kalman.

Funciones de un sistema de posicionamiento dinámico:

- Medir los desvíos del buque.
- Calcular los desvíos según los ejes X, Y y respecto al N en el rumbo.
- Calcular las fuerzas y momentos necesarios.
- Transformar esas fuerzas y momentos en órdenes a cada hélice.

La redundancia y clasificación de los equipos: la redundancia asegura que el sistema funciona correctamente a pesar de perder un elemento individual o subsistema. Según esto los buques se clasifican en DP1 y DP3.

4.2. Elementos fundamentales en un sistema DP

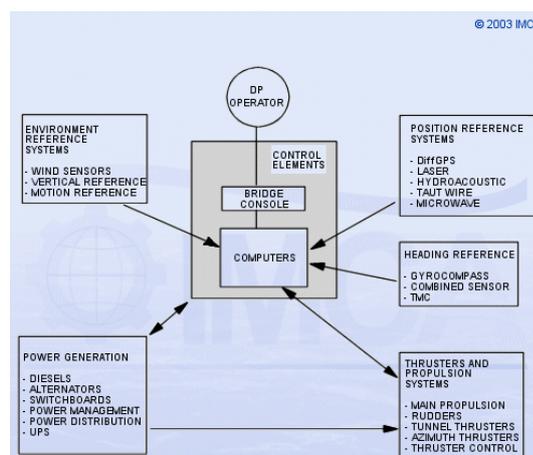


Fig. Elementos de un sistema DP.

4.2.1 Sistemas de Posición de Referencia.

Los sistemas utilizados por un sistema DP más comunes son: DGPS, Tautwire, HPR, sistemas radio UHF, sistemas láser o de microondas y Artemis.

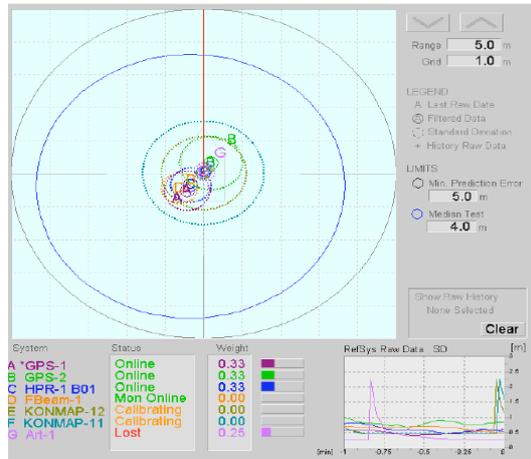


Fig. Pantalla de sistemas de referencia.

4.2.1.1 Hydro-acoustic Position Reference (HPR).

Uno de los muchos usos de la acústica subacuática es la disposición de la referencia de la posición para los propósitos del DP. También se utiliza para seguir vehículos subacuáticos y control de equipo submarino por medio de telemetría acústica.

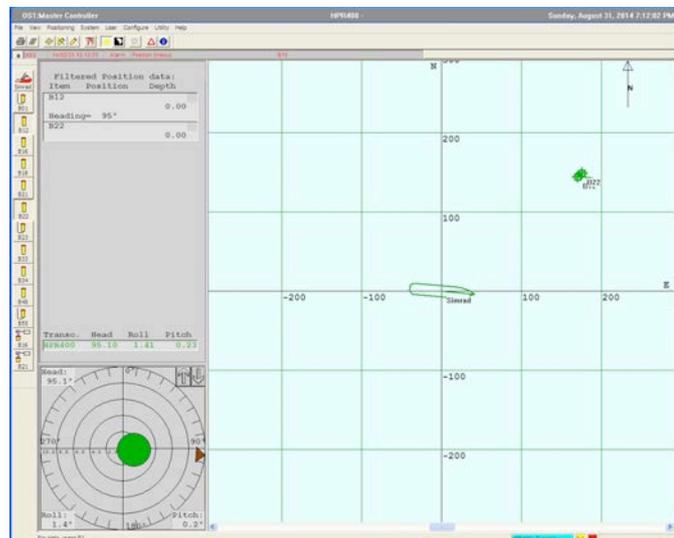


Fig. Sistema de control de HPR.

4.2.1.2 Taut Wire

Sistema que consiste en una estructura tipo grúa en cubierta, montada generalmente en una banda del buque y con un peso suspendido de un alambre que es bajado por un torno que mantiene la tensión constante.

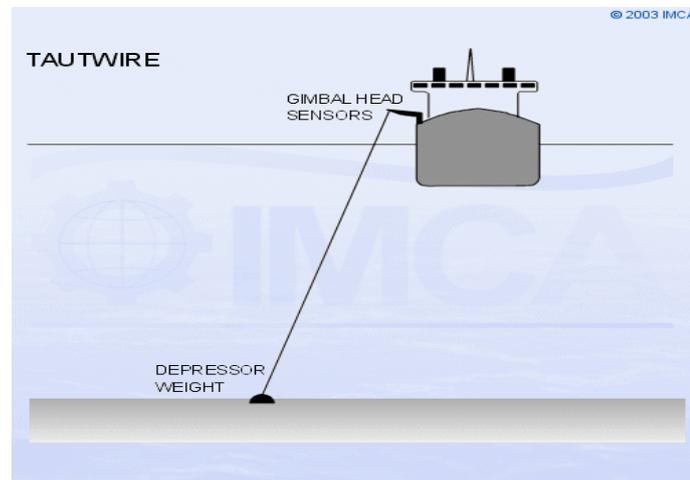


Fig. Diagrama del sistema Tautwire.

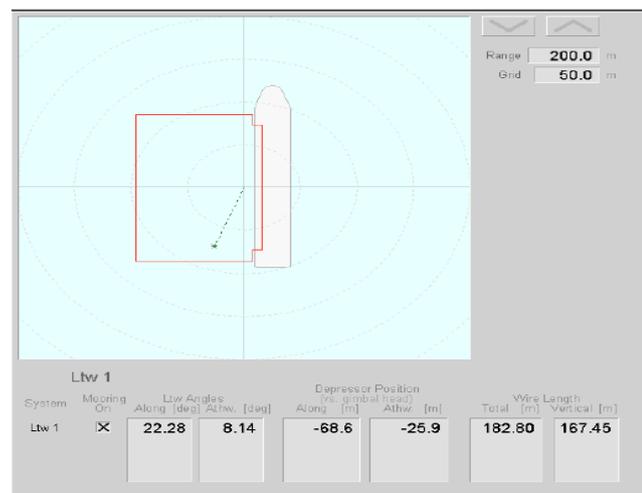


Fig. Visualización del TautWire en el DP.

4.2.1.3 Differential Global Positioning System (DGPS)

En general una red DGPS proporciona gran estabilidad y exactitud y elimina el error ionosférico que se obtendría por medio de una sola estación. La exactitud del GPS no es adecuada para los propósitos del DP. Para mejorar la exactitud del GPS a niveles útiles para el DP se aplican correcciones diferenciales a los datos del GPS.

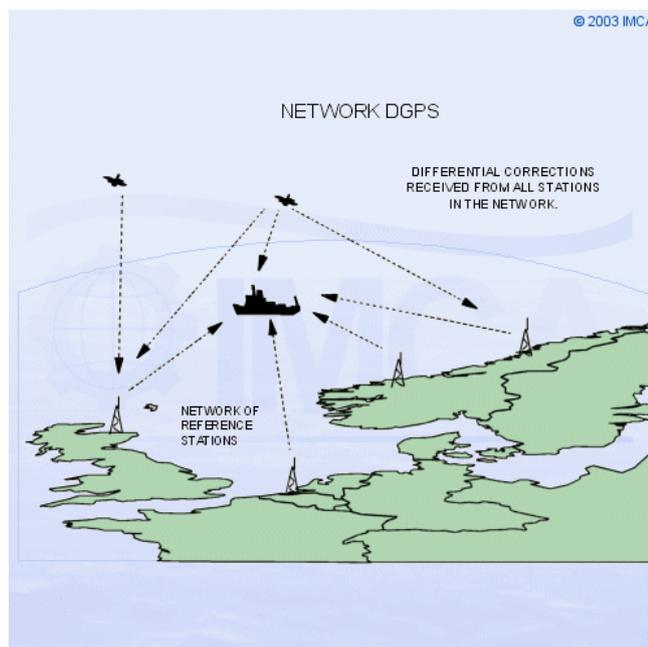


Fig. Configuración de una red DGPS.

Algunas operaciones de DP requieren la posición con respecto a una estructura móvil. Los sistemas Artemis y DARPS (Differential, Absolute and Relative Positioning System) están pensados para solucionar este problema.

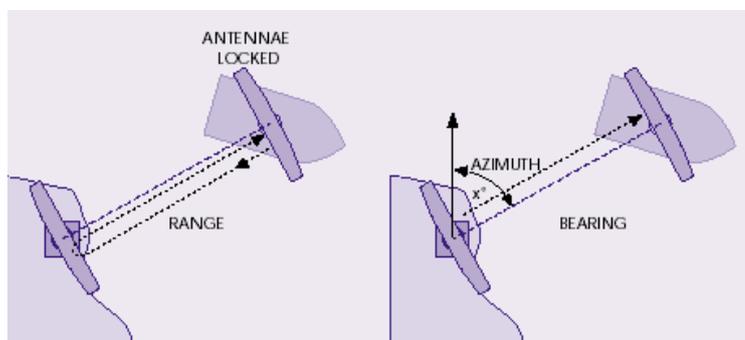


Fig. Sistema Artemis.

El sistema Artemis consiste en un sistema de microondas que opera entre una estación fija y otra móvil, la cual proporciona datos de demora y distancia relativos a la estación fija.

4.2.2 Sensores

4.2.2.1 Girocompás

La función básica del girocompás en un sistema de posicionamiento dinámico es su utilización como sistema de referencia de rumbo. Combinan la acción de dos

dispositivos, que son un péndulo y un giróscopo, para poder producir su alineación con el eje de giro de la Tierra.

4.2.2.2 Motion Reference Unit (MRU)

La Unidad de Referencia de Movimiento (MRU) se utiliza para medir los movimientos en el plano vertical arriba – abajo (Heave), así como de calados, balance (Roll) y cabeceo (Pitch), así como el Rumbo (Heading).



Fig. MRUs Kongsberg.

4.2.2.3 Sensores de viento

El sensor de viento combina la medida de la velocidad del viento y de la dirección con un mismo aparato, mediante un sensor remoto, el cual proporciona continuidad monitorizada de los factores medioambientales más hostiles.



Fig. Sensor de viento ultrasónico.

4.2.2.4 Dinamómetros

Comúnmente se denomina tensiómetro o dinamómetro a aquel equipo actuado mediante fuerza mecánica para ejercer tracción o compresión. Dependiendo de la dirección ejercida sus celdas de carga envían una señal eléctrica que es convertida en valores numéricos.



Fig Dinamómetros.

4.2.3 Propulsión y elementos de gobierno

Considerando el DP como un sistema completamente integrado en el buque, es necesario incluir los sistemas de propulsión como parte del mismo, los cuales incluyen las hélices, timones principales del barco, así como todos los propulsores auxiliares instalados a bordo. Generalmente los 3 tipos de propulsores a bordo de buques DP son la hélice ó timón convencional, los propulsores de túnel y los propulsores azimutales.

Capítulo 5. Sistema Integrado de Navegación y Tendido

Este sistema recibe y procesa todas las variables que intervienen en el tendido de cable, compara los datos recibidos y calculados con el plan de tendido previamente diseñado y ofrece información al operador sobre las desviaciones y acciones correctoras.

5.1. Sistema WinFrog

Se trata de un Software de navegación y control de datos de tendido y un completo sistema de navegación integrado (INS) diseñado por Fugro Pelagos.

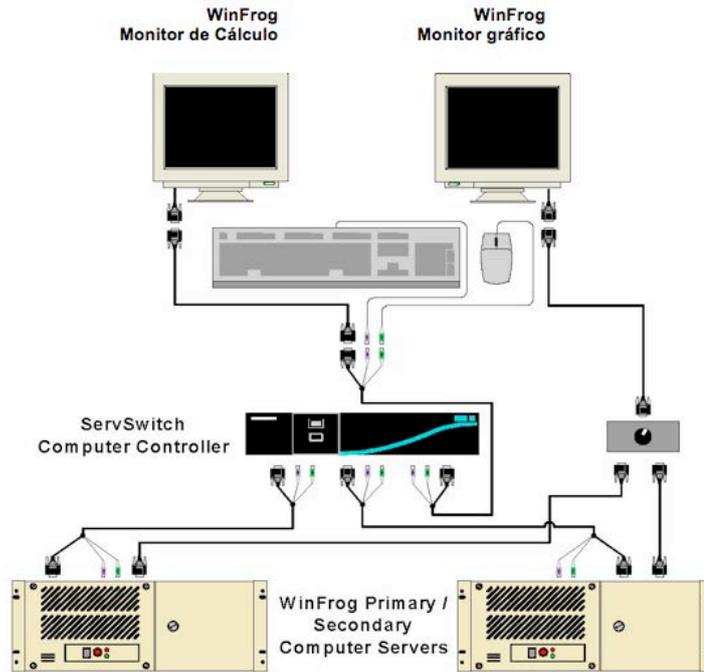


Fig. Disposición de equipos del sistema WinFrog.

Utiliza conexiones en serie y de red para las comunicaciones entre WinFrog y varios aparatos periféricos usados para la navegación, control del manejo del cable y grabación de datos.

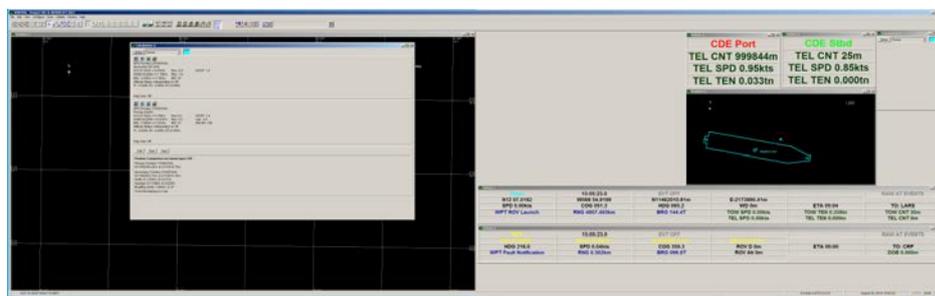


Fig. Pantalla principal del sistema.

5.2. Sistema MakaiLay

Al igual que el sistema Winfrog, MakaiLay es un programa de software basado en PC diseñada específicamente para instalar cables submarinos siguiendo el plan de ruta del cable. Calcula cada minuto la forma del cable y su movimiento a través de la columna de agua mediante un cálculo detallado en 3-D.

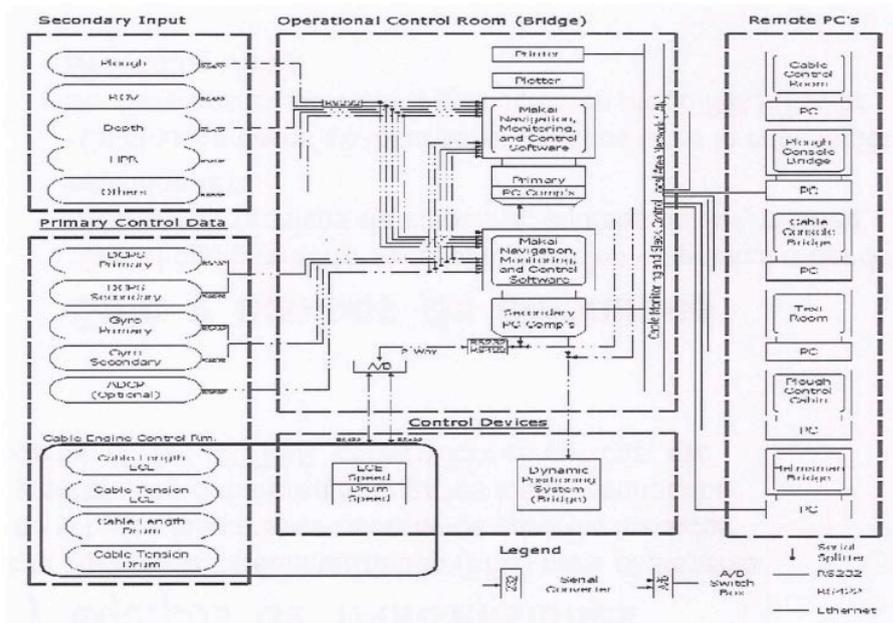


Fig. Esquema de configuración del sistema MakaiLay.

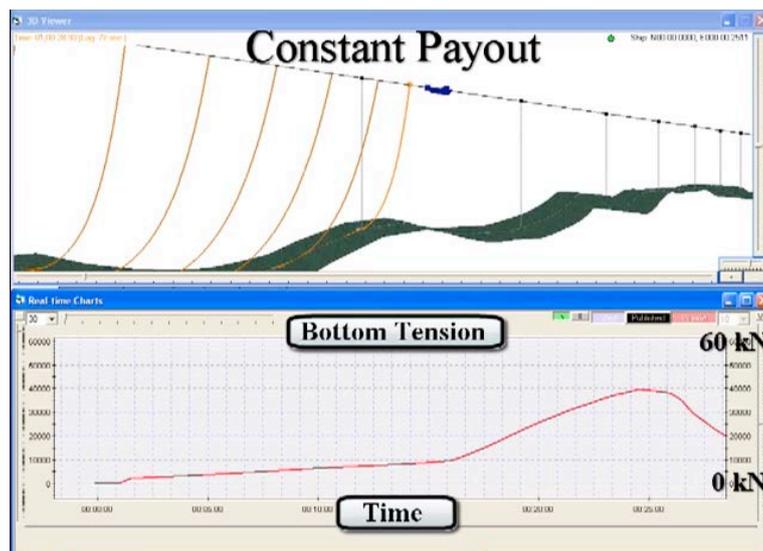


Fig. Simulación de tendido con el sistema MakaiLay.

Ambos sistemas tienen funciones similares en el proceso de instalación de cables submarinos como son: planificación, simulación, registro de datos, monitoreo, navegación, control de tendido y generación de informes.

Capítulo 6. Vehículos sumergibles

6.1 Arado

Los Arados de cable submarino son vehículos sumergibles remolcados por el propio buque que entierran el cable, regeneradores y cajas de empalme abriendo una zanja en el fondo marino. El enterramiento se realiza de forma simultánea al tendido.

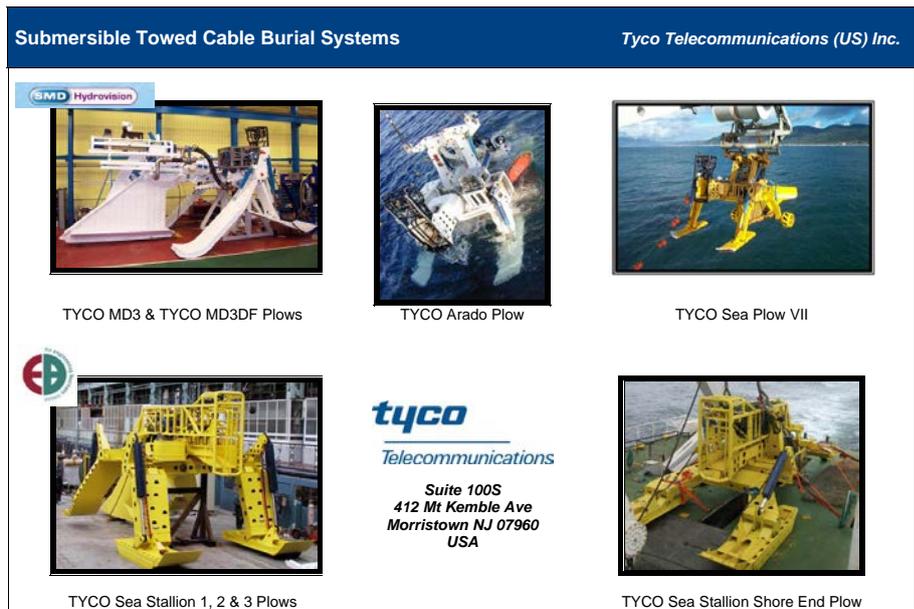


Fig. Diferentes tipos de Arados.

Características principales

- Profundidad máxima de trabajo: 1500m.
- Profundidad de zanja: 2m. Nominal 3m. Máximo.
- Peso del arado: 28T. en el aire, 24T. en el agua.
- Fuerza de tiro máxima: 100T.

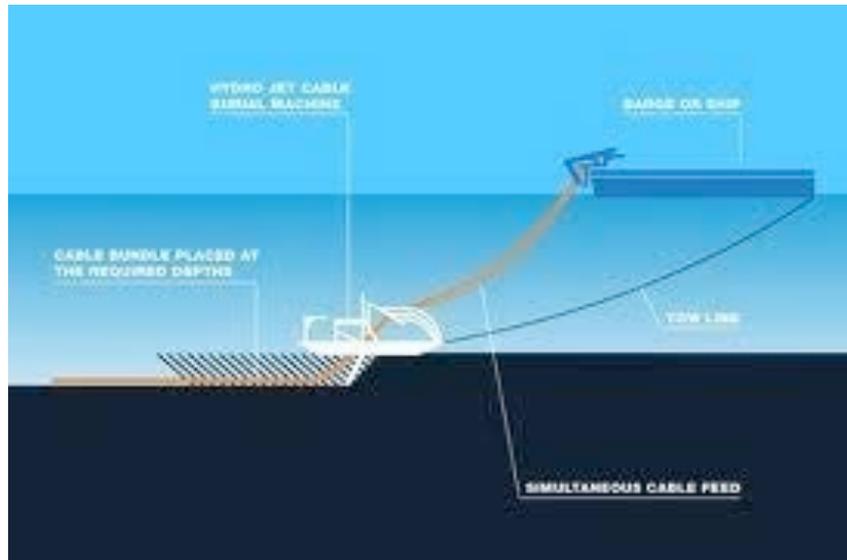


Fig. Diagrama de operación con Arado.

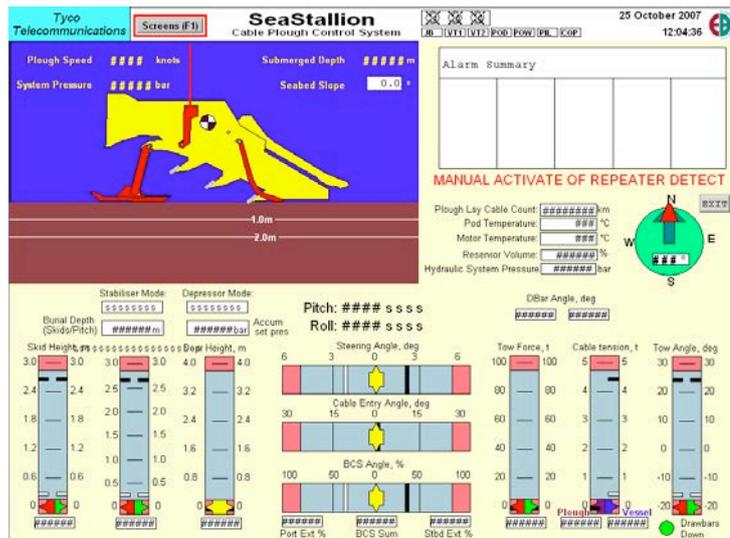


Fig. Pantalla principal del programa de control.

6.2 ROV

El ROV (Remote Operated Vehicle) es un vehículo sumergible de control remoto con capacidad de operación hasta 2500m de profundidad. En operaciones de tendido y reparación el ROV se suele utilizar para llevar a cabo inspecciones, enterramiento del cable, localizar una avería, cortar el cable en el punto deseado, etc.



Fig. Maniobra de arriado del ROV.

Características principales

- Peso con orugas: 8.500 Kg.
- Profundidad maxima: 2500 m.
- Profundidad de enterramiento: hasta 1.5 m.
- Potencia total: 300 KW.
- Presión maxima: 8.5 bar.

- Propulsión por hélices: 4 Horizontales - 4 Verticales
 - Avante / Atrás: 3 nudos / 8 nudos.
 - Lateral / Vertical: 1,5 nudos / 1,100 Kg de empuje.



Fig. Control del ROV.



Fig. Imagen de operaciones PLIB.

Capítulo 7. Elementos de sistemas de cables submarinos

Esencialmente un sistema submarino está compuesto por unos equipos de transmisión-recepción y un enlace físico que actúa como medio de transmisión.

La estructura de un sistema de cable submarino convencional, viene totalmente determinado por el medio físico donde se instala el sistema: el mar.

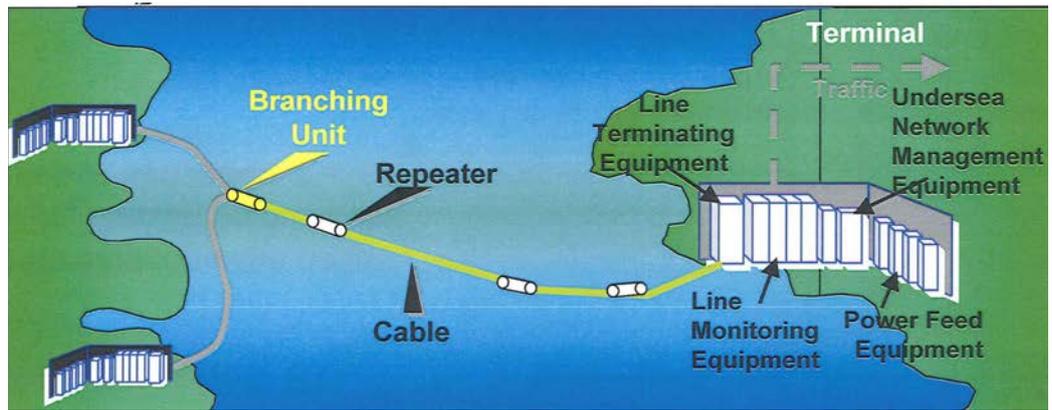


Fig. Diagrama de un sistema de cable submarino.

7.1 Cable submarino de fibra óptica

En los cables modernos el elemento portador es de fibra óptica, que utiliza la propiedad de la diferente propagación de las ondas de luz en una fibra para emplear diferentes lambdas y aumentar la capacidad de transporte.

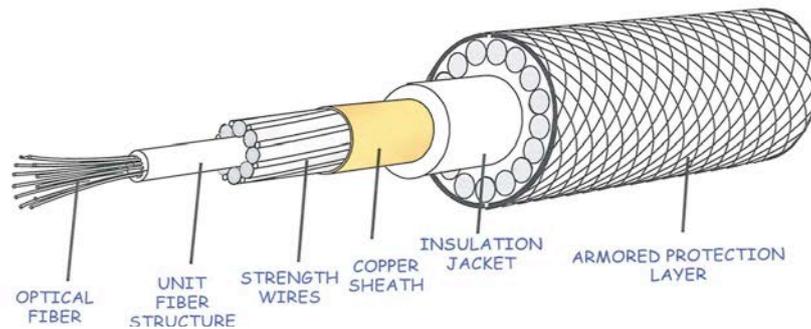


Fig. Estructura de un cable de fibra óptica submarino.

La fibra óptica es una hebra muy fina que puede tener solamente 125 micras de diámetro. Esta hebra de vidrio tiene aproximadamente el mismo grosor que un cabello humano.

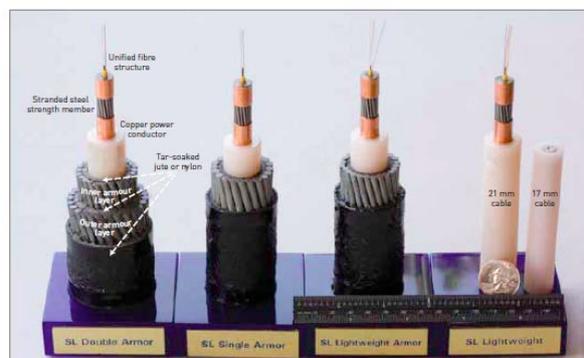


Fig. Diferentes tipos de cable.

El cable ligero es la base de los demás tipos de cables. La fabricación del mismo se realiza en tres fases, que son: conductor interior, núcleo y cable.

Características de un buen cable.

- Alta resistencia a la compresión debido a la profundidad.
- Facilidad de manejo.
- Alta resistencia a la abrasión.
- Alta resistencia al ingreso de agua.
- Alta resistencia a la tracción.

7.1.1 Tipos de cables submarinos y sus aplicaciones

Existen diversos tipos de cables de fibra óptica, la elección del tipo de cable a utilizar en la instalación depende en gran medida de la naturaleza del fondo marino.

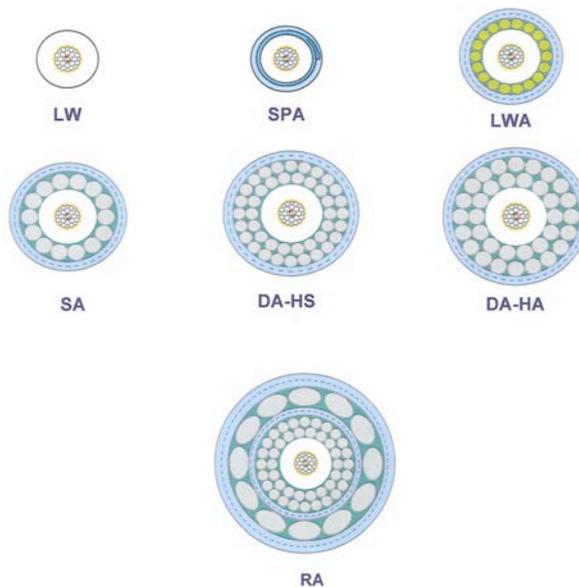


Fig. Tipos de cable submarino.

Diferentes tipos de cables:

- Light weight (LW)
- Special Applications (SPA)
- Lightwire Armored (LWA)
- Single Armored (SA)
- Double Armored (DA)
- Rock Armored (RA)

7.2 Branching Units

Son equipos utilizados en los sistemas de cables submarinos que funcionan como puntos de desdoblamiento y bifurcación, permitiendo que el cable se divida para poder dar servicio a más de un destino.

Características de una BU:

- Permite conexiones independientes.
- Reduce el número de amarres y por tanto los costes de instalación.
- Se ajusta a cables con diferente número de pares de fibras.
- Temperatura de almacenamiento: -20 °C a +60 °C.
- Radio máximo de curvatura: 3 metros.

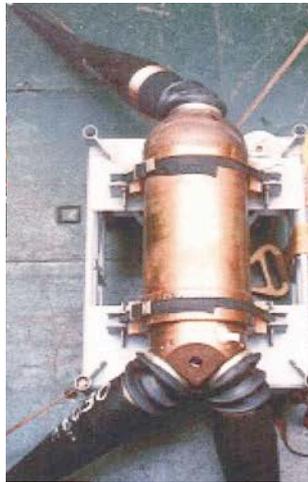


Fig. Branching Unit.

Condiciones ideales de instalación de una BU:

- 1000-3000 metros de profundidad.
- Inexistencia de corrientes oceánicas.
- Inexistencia de riesgos de navegación (artes de pesca, anclas de fondeo, etc.).
- Inexistencia de obstrucciones.
- Morfología del fondo marino propicio.

7.3 Repetidores

Para compensar las pérdidas introducidas por el cable es necesario colocar una serie de amplificadores insertados a intervalos regulares sobre la línea. Al igual que el cable, estos amplificadores estarán posados en el mar y deberán funcionar

libres de averías, y por supuesto sin necesidad de ajustes periódicos, durante la vida del sistema. Por ello estos equipos están simplificados al máximo con materiales muy robustos y estables.

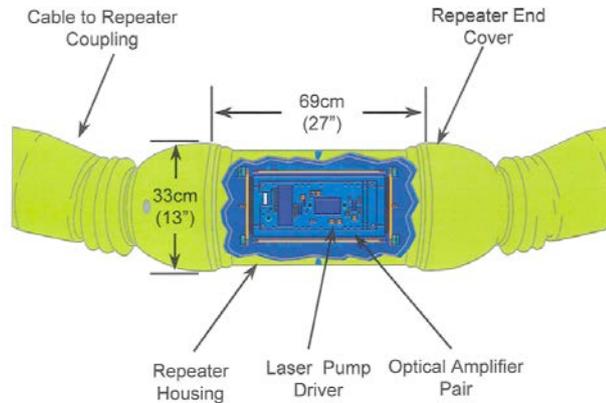


Fig Partes de un repetidor.

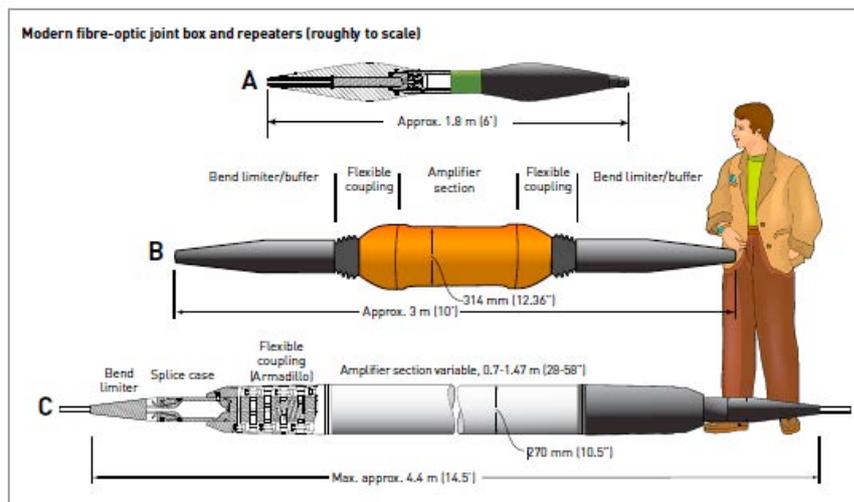


Fig. Empalme y Repetidores modernos de fibra óptica.

Capítulo 8. Laboratorios de medidas de transmisión óptica y Sala de Empalmes.

8.1 Sala de transmisiones y equipo de medida.

En esta sala se comprueba en todo momento el correcto funcionamiento del sistema que esta siendo tendido, así como la integridad del mismo mediante equipos de medida de fibra óptica. La alimentación del sistema también es monitorizada desde esta sala y puede ser realizada desde el buque o desde una estación terrestre.



Fig. Sala de transmisiones (TTR).

8.2 Sala de realización de empalmes y equipos.

En esta sala se realizan los empalmes de los diferentes tipos de cable. Esta sala está equipada con todos los equipos necesarios para la realización de estos empalmes, como equipos de rayos-x, fusionadores de fibras, etc. y para llevar a cabo las diferentes técnicas a aplicar en cada fase como fusionado, moldeo, revelado, etc.



Fig. Realización de un empalme.



Fig. Sala de empalmes.

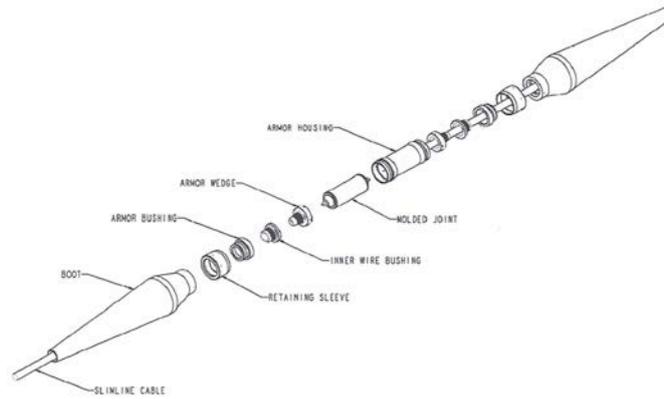


Fig. Partes de un empalme de cable submarino.

Capítulo 9. Maniobras de cables

9.1 Carga y descarga de cable

Una vez determinada la ruta por la que el cable será tendido o enterrado, podemos determinar su diagrama de línea, tipo de cable y el número de repetidores.

Plan de carga

Unos días antes del comienzo del tendido, el responsable nombrado elabora y edita un "Plan de carga". Este plan de carga comprenderá los siguientes puntos:

- Longitudes de cable a cargar, del sistema y de repuesto.
- Situación de las secciones en los tanques.
- Orden de carga de las secciones.
- Lista de otros elementos a cargar: Regeneradores, kits, colas, etc.
- Horarios de trabajo y turnos del personal.
- Medidas a realizar sobre todo el material embarcado, tipo de medidas y periodicidad.

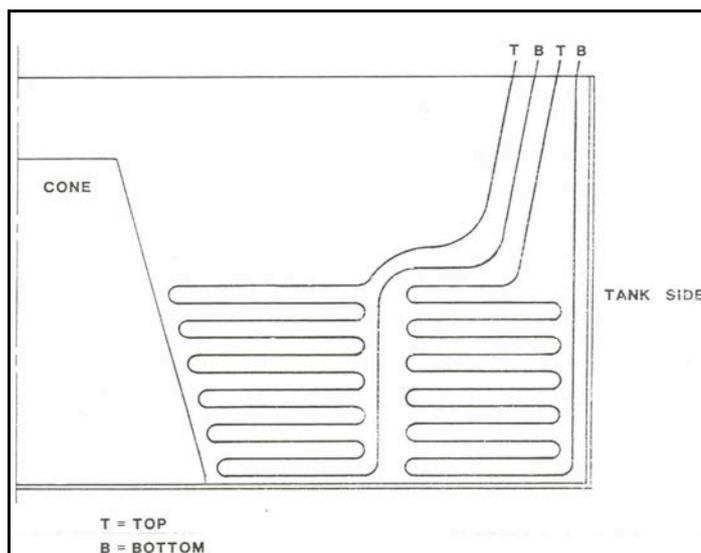


Fig. Disposición y separaciones de estiba en un tanque de cable.

9.2 Tendido de cables submarinos

Viene definido por los trabajos de instalación de un cable submarino, junto con sus elementos asociados, entre dos puntos situados en ambas playas o entre dos puntos cualesquiera en la mar. El cable puede ser tendido en el fondo o en ocasiones enterrado. Es muy importante el conocimiento preciso de los fondos submarinos, en especial el perfil de la ruta. En función de la ruta elegida se determinará la holgura con la que el cable va a ser tendido.

La Holgura: debe ser la que ha sido calculada para realizar el tendido y permitir que el cable se adapte al fondo.

9.3 Dragas de corte y recuperación de cables.

Las dragas de corte se realizan arrastrando diversos materiales de dragado por el fondo hasta enganchar el cable y cortarlo mediante un dispositivo situado al final de la draga llamado Raya de corte. Las dragas de recuperación se efectúan cuando simplemente se requiere la recuperación a bordo de un cable concreto son proceder a su corte.

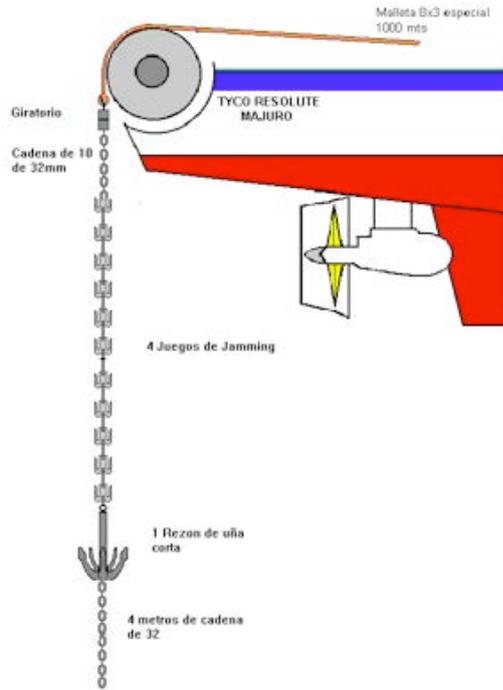


Fig. Diagrama de una draga de recuperación.

Material de dragado

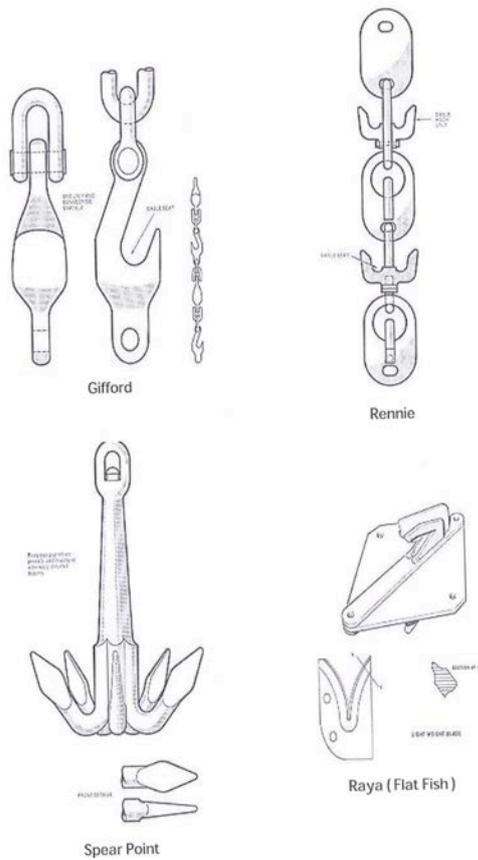


Fig. Material para realización de dragado de recuperación y corte de cables.

Composición de una draga:

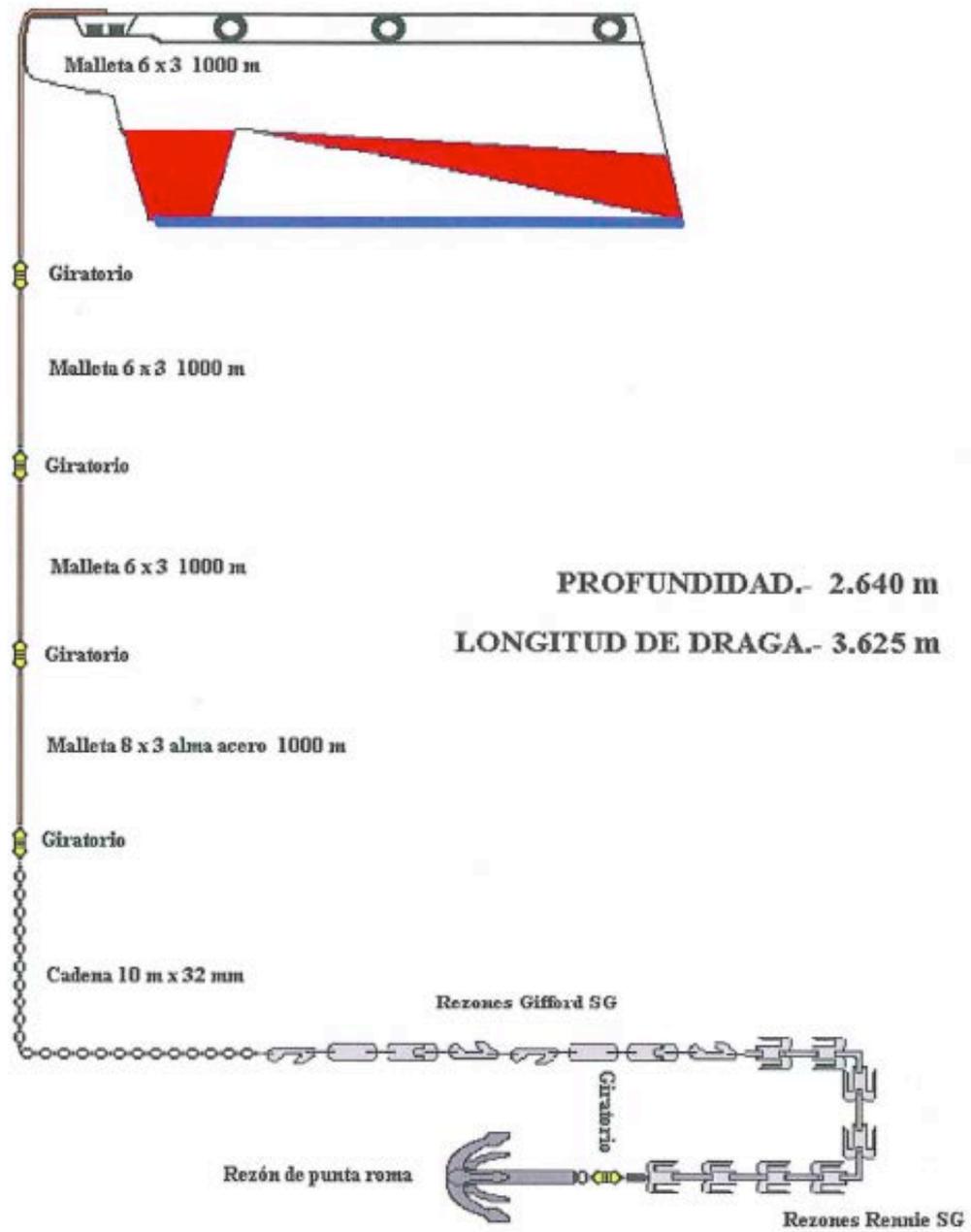


Fig. Draga de recuperación.

9.4 Arriado y recuperación de boyas para operaciones de cables.

En muchas situaciones de reparación y tendido de cables submarinos son necesarias las boyas. Éstas sirven para fondear el extremo del cable y posteriormente recuperarlo de la forma mas sencilla posible.

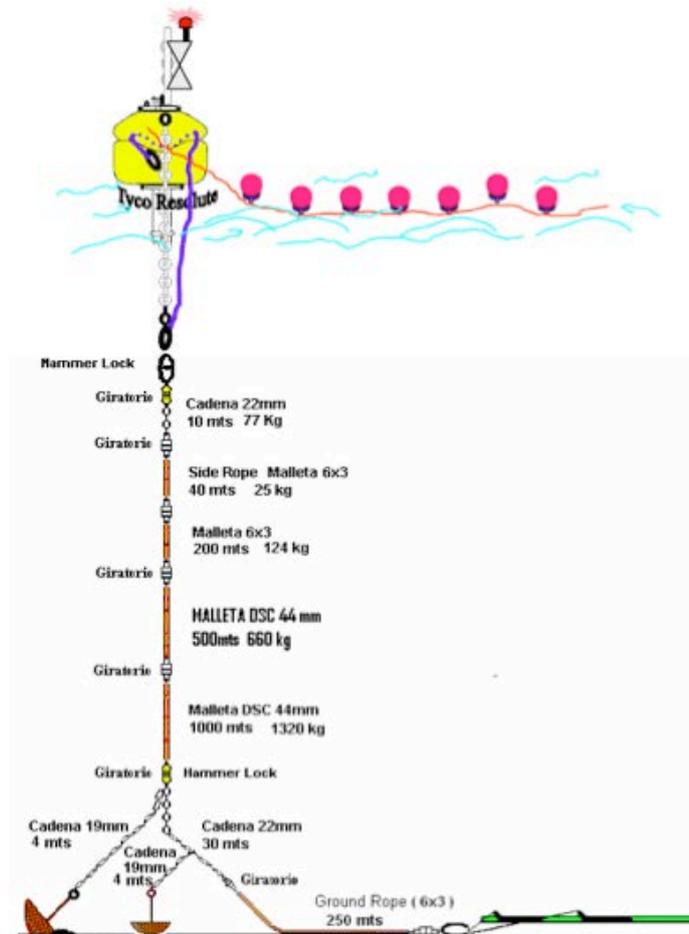


Fig. Diagrama completo de una boya tipo C.

9.5 Tendido del empalme final

El empalme final es el momento final y crítico de cualquier operación de reparación de un tramo de cable submarino.

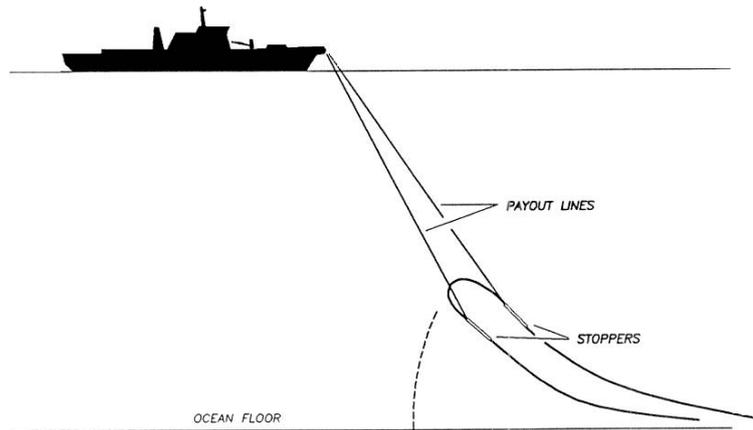


Fig. Tendido del empalme final en aguas poco profundas.

9.6 Tendido en playas (Shore ends)

Generalmente el inicio de un tendido de cable submarino comienza en una instalación terrestre y a escasos metros de la costa. Los cables submarinos tienen sus puntos de amarre en las playas próximas a las Estaciones Terminales. Se escogen lugares donde el fondo marino y la parte terrestre tienen una dureza aceptable para el enterramiento del cable y con una pendiente no muy pronunciada.

9.7 Limpieza de ruta

La operación de limpieza de ruta consiste en arrastrar un rezón o conjunto de rezones a lo largo de la ruta prevista para la instalación de un cable submarino. Normalmente las profundidades afectadas por la limpieza de ruta abarcan desde 10 hasta 1000 metros de profundidad. El objetivo de la limpieza de ruta, es asegurarse de que la ruta seleccionada está limpia y libre de obstáculos.

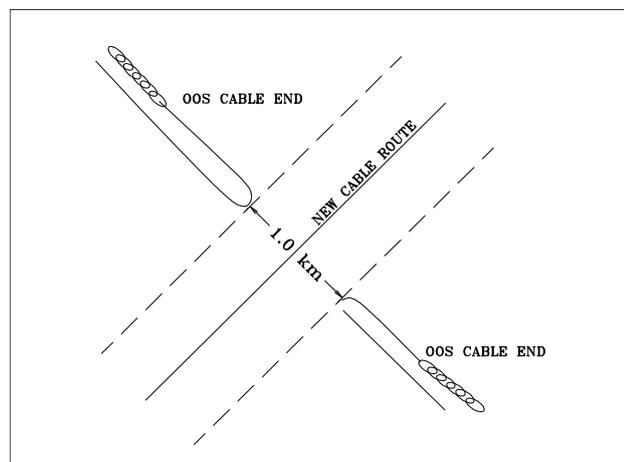


Fig. Diagrama de limpieza de ruta.

Capítulo 10. Estudios Batimétricos

La elección de una buena ruta, determinada tras un estudio detallado de los sondeos realizados es fundamental para que el cable esté lo más seguro en el fondo del mar. Esta elección se hace especialmente teniendo en cuenta todos los posibles obstáculos que pueden presentarse en el fondo.

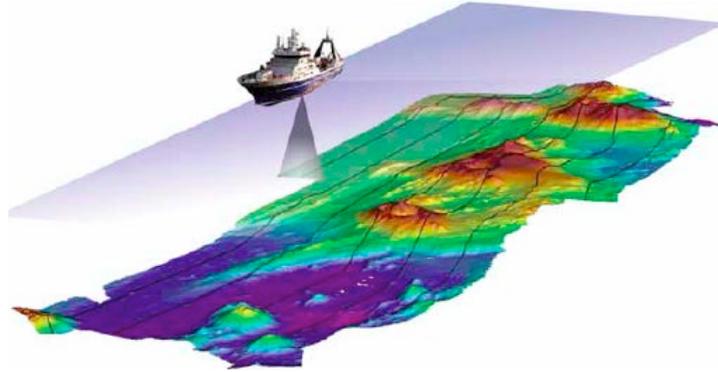


Fig. Buque realizando trabajos batimétricos.

Capítulo 11. Relación con el Medio Ambiente

En términos de tamaño se puede decir que el cable es pequeño en diámetro dependiendo de la zona en la cual está tendido. A pesar de esta pequeña huella en el océano, el cable de fibra óptica puede interactuar con el medioambiente bentónico.

Cuanto afectan al medio ambiente los cables submarinos.

Las alteraciones e impactos causados por el tendido de cables y sus reparaciones deben considerarse en el contexto de la frecuencia y alcance de estas actividades. La retirada de los escombros de un trazado para el enterramiento de cable es generalmente seguida de días o semanas para el enterramiento real. A menos que ocurra una falta en el cable, los fondos marinos no se verán alterados nuevamente dentro de la vida del cable.

Capítulo 12. Cálculos

En este capítulo se resumen de cálculos referidos a los tendidos en superficie de cable de fibra óptica.