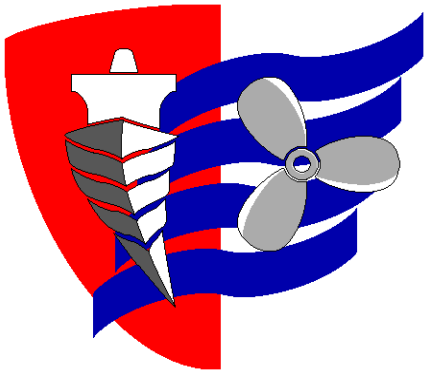
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*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 Titulo de Grado en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO**

Autora: María del Carmen Gil Bugarín
Director: Jose Iván Martínez García
Octubre - 2014

ÍNDICE

Tabla de abreviaturas……3

Capítulo 0. Descripción de capítulos……8

Capítulo 1. Introducción……10

Capítulo 2. Red mundial de sistemas 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 13. Conclusiones……187

Capítulo 14. Glosario……188

Capítulo 15. Bibliografía……..207

Capítulo 16. Anexos…….211

## Tabla de Abreviaturas

| | |
|---|---|
| AC | Alter Course |
| FT | Stern |
| AOO | Area Of Operation |
| ASL | Assembly Ship Load |
| AUV | Autonomous Underwater Vehicle |
| BAS | Burial Assessment Survey |
| BEC | Brass End Cap |
| BFS | Burial Feasibility Study |
| BMH | Beach Manhole |
| BMH | Beach Manhole |
| BRG | Bearing |
| BRH | Bight Release Hook |
| BU | Branching Unit |
| CC | Cable Counter |
| Cd | Drag Coefficient |
| CDE | Cable Drum Engine |
| CLS | Cable Landing Station |
| COB | Close Of Business |
| COTDR | Coherent Optical Time Domain Reflectometer |
| CR | Conductor Resistance |
| CS | Cable Ship |
| CSt | Cable Station |
| CTE | Cable Termination Equipment |
| CTU | Cable Termination Unit |
| CX | Cable Crossing |
| DA | Double Armor |
| DA (DA-HS) | Double Armored High Strength Cable |
| DA-AR | Double layer Armored - AR (Aramid/kevlar) |
| DA-HA | Double Armored - High Abrasion Cable |
| DC | Direct Current |
| DEMOB | Demobilization |
| DGPS | Differential Global Positioning System |

| | |
|---|---|
| DL | Direct Landing |
| DOB | Depth Of Burial |
| DP | Dynamic Positioning |
| DP | Differential Positioning |
| DPO | Dynamic Positioning Officer |
| DTS | Desktop Study |
| EIA | Environmental Impact Assessment |
| EIC | Engineer in Charge |
| EOB | End Of Burial |
| EOC | End Of Cable |
| FP | Fiber Pairs |
| FS | Final Splice |
| FSAD | Functional System Architecture Document |
| FWD | Bow |
| GB | Optical Termination Box |
| GPS | Global Positioning System |
| H | Hydrodinamic constant |
| HDD | Horizontal Directional Drill |
| HDPE | High Density Polyethylene |
| HH | Hand Hole |
| HPR | Hydroacoustic Position Reference |
| HSE | Health Safety and Environment |
| HV | High Voltage |
| HVAC | Heating Ventilation Air Conditioning |
| ICPC | International Cable Protection Committee |
| IMO | International Maritime Organization |
| IR | Incident Report |
| IR | Insulation Resistance |
| IS | Initial Splice |
| JB | Joint Box |
| KP | Kilometer Post |
| KV | Kilo Volt |
| Lat. | Navigational Latitude position |
| LCE | Linear Cable Engine |

| | |
|---|---|
| LJ | Land Joint |
| Long. | Navigational Longitude Position |
| LP | Landing Point |
| LW | Lightweight Cable |
| LWor DW: | Lightweight or Deepwater Cable |
| LWA | Light Wire Armored Cable |
| LWP | Lightweight Protected Cable |
| mA | Milli Ampere |
| MH | Man Hole |
| MJ | Millennia Joint |
| MOB | Mobilization |
| MOP | Method Of Procedure |
| MV-90 | Power & Ground Cable |
| NA | Not Applicable |
| na | Not Available |
| NLLI | Network Load & Lay Instructions |
| NOTS | Nominal Operating Tensile Strength |
| NPTS | Nominal Permanent Tensile Strength |
| NTTS | Nominal Transient Tensile Strength |
| OGB | Ocean Ground Bed |
| OOS | Out Of Service |
| OSA | Optical Spectrum Analyzer |
| OSP | Outside Plant |
| OTDR | Optical Time Domain Reflectometer |
| P | Port |
| PBD | Physical Build Diagram |
| PFE | Power Feed Equipment |
| PLB | Post Lay Burial |
| PLDN | Plow Down |
| PLGR | Pre Lay Grapnel Run |

| | |
|---|---|
| PLI | Post Lay Inspection |
| PLIB | Post Lay Inspection & Burial |
| PLSE | Pre Lay Shore End |
| PLUP | Plow UP |
| POL | Point On Line |
| POW | Plan Of Work |
| PSD | Partial Section Detail |
| PTU | Power Termination Unit |
| PVC | Polyvinyl Chloride |
| PX | Pipeline Crossing |
| R | Repeater |
| RA (RA-SA): | Rock Armor over SA Cable |
| RC | Route Clearance |
| RL-LXE | Rodent Lightening Land Fiber Cable |
| ROV | Remotely Operated Vehicle |
| ROW | Right of Way |
| RPL | Route Position List |
| RTL | Ready To Load |
| RWG | Route Working Group |
| S | Starboard |
| SA | Single Armored Cable |
| SA-AR | Single layer Armored - AR (Aramid/kevlar) |
| SAG | Section Assembly Guidelines |
| SB | Splice Box |
| SC | Ship Company |
| SEQ | Shape Equalizer |
| SL | Slim Line |
| SLD | Straight Line Diagram |
| SLLI | System Load and Lay Instruction |
| SMS | Safety Management System |
| SOW | Scope Of Work |

| | |
|---|---|
| SPA | Special Purpose Application Cable |
| SPO | Start Pay Out |
| STBD | Starboard |
| TEQ | Tilt Equalizer |
| TICS | Tyco Integrated Cable Systems |
| TT | Tyco Telecommunications |
| USBL | Ultra Short Baseline |
| UTC | Universal Time Coordinated |
| UTM | Universal Transverse Mercator |
| UTS | Ultimate Tensile Strength |
| VOO | Vessel Of Opportunity |
| Vs | Vessel |
| WD | Water Depth |
| WGS | World Geodetic System |
| WP | Way Point |
| WX | Weather |

## Capítulo 0. Descripción de capítulos

### CAPÍTULO 1. Introducción

### CAPITULO 2. Red mundial de sistemas de cables submarinos

Reseña histórica y descripción de la red mundial de cables submarinos y los acuerdos de mantenimiento.

### CAPITULO 3. Descripción general de un buque cablero

Breve descripción de los distintos equipos característicos que componen un buque cablero, la planta de propulsión eléctrica y el equipo de gobierno en conjunto con el sistema DP.

### CAPITULO 4. Sistema de Posicionamiento Dinámico

Descripción del Sistema DP y de sus elementos principales, como son los Sistemas de Posición de Referencia, los sensores fundamentales y los medios de propulsión.

### CAPITULO 5. Sistema Integrado de Navegación y Tendido

En este capítulo se hace referencia a los sistemas de navegación y tendido más utilizados a día de hoy a bordo de los buques cableros, como son el sistema WinFrog y el sistema MakayLay al igual que se describen sus funciones principales.

### CAPITULO 6. Vehículos sumergibles

Este capítulo trata sobre los vehículos sumergibles que se utilizan a bordo de un buque cablero, como son el Arado y el ROV (remote Operated Vehicle). Se describen sus características principales y las operaciones que realizan a bordo de este tipo de buques.

### CAPITULO 7. Elementos de sistemas de cables submarinos

Descripción detallada de los principales sistemas que componen un sistema de telecomunicaciones de cable submarino de fibra óptica. Estos sistemas son el cable de fibra óptica propiamente dicho, Los equipos de bifurcación o BUs (Branching Units) y los equipos Repetidores que amplifican la señal.

### CAPITULO 8. Laboratorios de medidas de transmisión y Sala de Empalmes

En este capítulo se describen la sala de transmisiones y la sala de empalmes,

dependencias específicas de los buques cableros, además de las operaciones que se llevan a cabo en las mismas durante una operación, como son la alimentación o comprobación del sistema y la realización de empalmes de cables submarinos.

**CAPITULO 9. Maniobras de cables**

Descripción detallada de las diferentes operaciones que se realizan a bordo de un buque cablero así como de las distintas fases que comprenden. Desde la carga a bordo de un cable submarino hasta el largado de un empalme final al finalizar una operación.

**CAPITULO 10. Estudios Batimétricos**

Cómo se realiza un estudio batimétrico detallado y elementos utilizados en el survey. Importancia de la elección de una buena ruta, aspecto fundamental para asegurar la integridad del cable en el fondo marino. Desarrollo de la elección de una ruta de cable en función de los posibles obstáculos que pueden presentarse en el fondo.

**CAPITULO 11. Relación con el Medio Ambiente**

Impacto medio Ambiental e influencia sobre la flora y fauna local de las distintas operaciones realizadas durante una operación de tendido o reparación de cable submarino.

**CAPITULO 12. Cálculos**

Relación de cálculos referidos a los tendidos en superficie de cable de fibra óptica.

**CAPÍTULO 13. Conclusiones**

Conclusiones e impresiones personales del autor.

**CAPÍTULO 14. Glosario**

Glosario de términos relacionados específicamente con la industria del cable submarino y el sistema de posicionamiento dinámico.

**CAPÍTULO 15. Bibliografía**

**CAPÍTULO 16. Anexos**

## Capítulo 1. Introducción

Si bien los satélites han permitido mejorar las comunicaciones, la base del intercambio mundial de datos, tanto por telefonía como por Internet, siguen siendo los cables submarinos. Bajo el mar se oculta una maraña de cables de fibra óptica que cruzan los océanos con el fin de mantenernos comunicados.

En la actualidad existen centenares de cables submarinos de fibra óptica que unen los continentes. No obstante, cuando uno de estos cables se ve afectado, millones de personas pueden quedar sin comunicaciones durante varios días, lo que provoca graves perjuicios a la economía.

De aquí la necesidad de disponer de una flota de buques cableros de reparación y tendido los cuales cuentan con aparatos de alta precisión como el sistema de posicionamiento DP, que proporciona la precisión adecuada a la hora de manipular el cable en el fondo marino.

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. Red mundial de sistemas de cables submarinos

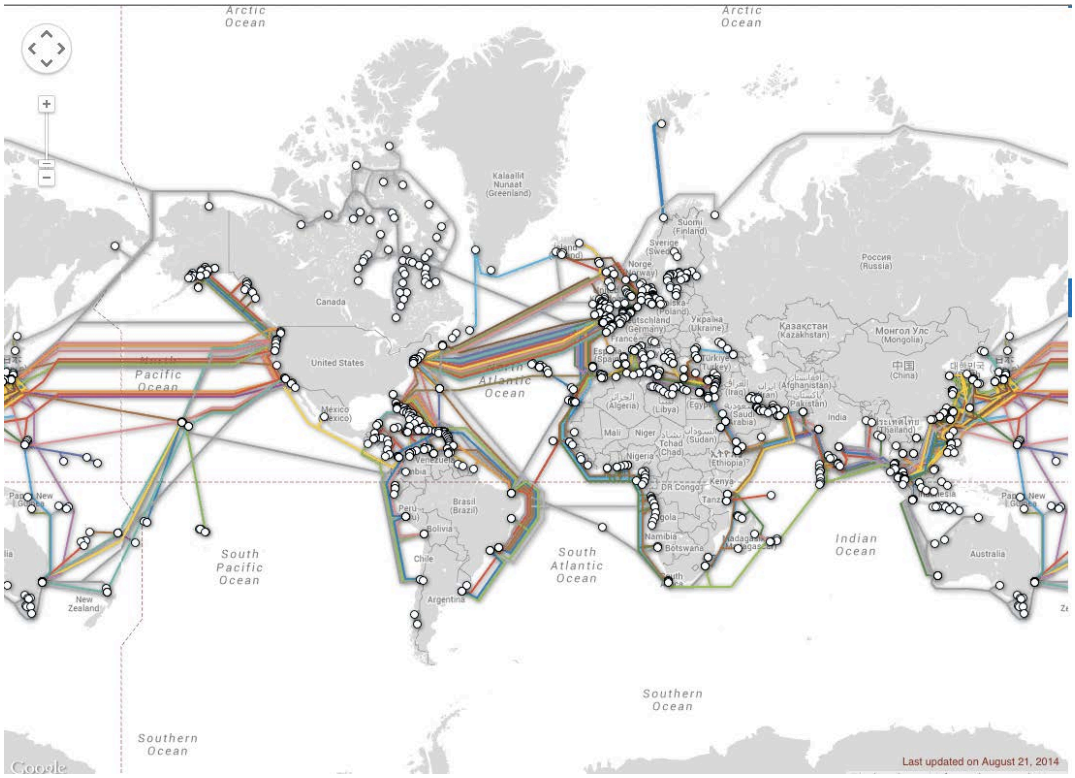



*Fig. Red mundial de cables submarinos. Fuente: Telegeography.*

Desde mediados del siglo XIX, una red de cables, en gran parte submarina, comenzó a tenderse para facilitar las comunicaciones a nivel mundial. Entonces se trataba de dar servicio al telégrafo, pero después llegaron el teléfono y finalmente la era de Internet. En sus inicios, se trataba de cables de cobre diseñados por el ingeniero alemán Werner von Siemens. A través de esos cables, transita hoy la mayor parte de la información que se transfiere por la red, un elemento fundamental de nuestra civilización.

Desde que en 1852 se tendiera el primer cable que conectaba el Reino Unido y Francia bajo las aguas del Canal de La Mancha, esta red fundamental para las comunicaciones globales no ha parado de crecer. Hoy alcanza una extensión estimada de 900.000 kilómetros. A pesar del desarrollo de los satélites espaciales, otro de los pilares de las comunicaciones humanas en estos tiempos, los cables siguen siendo los que transmiten la mayor parte de la información. La preeminencia del cable se debe a que, mientras que una llamada por satélite tiene que recorrer casi 36.000 kilómetros desde la Tierra y regresar, mediante el tendido alámbrico esa distancia se reduce hasta un máximo de 8.000 kilómetros.

Dada su importancia política y económica, el mantenimiento y la defensa de la red de cables es una tarea primordial. Discurren enterrados en el lecho marino y sufren daños con frecuencia. Factores naturales, como las migraciones de los peces, o la actividad humana, pueden deteriorarlos. Por ello, las convenciones de la ONU imponen a los estados la obligación de proteger los cables y facilitar su preparación, aunque muchos no son en absoluto celosos al respecto o incluso imponen toda clase de trabas burocráticas para dificultar los trabajos de reparación. Los cables son propiedad de distintas operadoras de comunicación, que muchas veces comparten la titularidad.

El Atlántico Norte y la zona del Mar de China y el sudeste asiático, son las áreas donde hay una mayor densidad, lo que refleja su mayor actividad telemática y comercial.

En la actualidad, Telegeography tiene contabilizados 285 sistemas de cable submarino activos o que se prevé que empiecen a funcionar en 2015 y 2016.

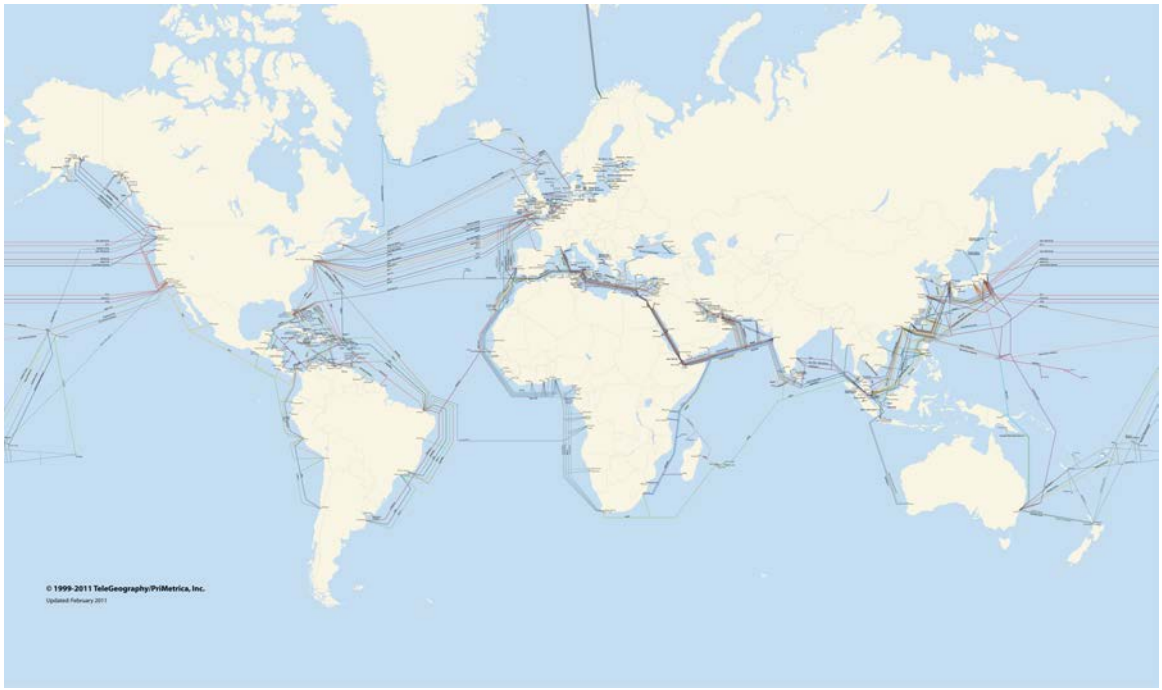



*Fig. Red mundial de cables submarinos.*

Se trata de cables submarinos transoceánicos, en su mayoría dedicados a las telecomunicaciones, aunque también existen los cables transmisores de energía.

Además, desde principios de los 90, muchos cables en desuso se han reactivado para ofrecer datos científicos -en los listados oficiales figuran como fuera

de servicio-, según explica el Comité Internacional de Protección del Cable (ICPC).

Los cables submarinos, que en la actualidad suelen tener decenas de miles de kilómetros de largo y se ubican en las profundidades de los océanos, surgieron hacia 1820, en la era del telégrafo, aunque tenían menor longitud. Estas infraestructuras pasaron a hacer posible más un siglo después -en 1938, tras el descubrimiento del polietileno-, la telefonía transoceánica.

En las siguientes décadas la demanda de este tipo de comunicación y la necesidad de reducir los costes de la instalación del cableado condujeron a la explotación de la tecnología de la fibra óptica, a mediados de los 70.

Supuso una revolución en las comunicaciones submarinas, ya que se pasó de la capacidad de las cerca de 5.500 líneas que soportaban los cables coaxiales a unas 12.000 y con una mayor calidad. El primer cable transoceánico de fibra óptica conectó Reino Unido y Bélgica en 1988.

*Acuerdos de mantenimiento*

La solución mas sencilla, que no la mas económica, es la introducción del cable en un Acuerdo de Mantenimiento Internacional.

- ACMA: Atlantic Cable Maintenance Agreement: Cubre todo el Atlántico y el Mar del Norte.
- NAZ: North America Zone: Cubre todo el Pacífico Norte.
- MECMA: Mediterranean Cable Maintenance Agreement: Cubre el Mediterráneo y parte del Mar Rojo.
- PIOCMA: Pacific, Indian Ocean Cable Maintenance Agreement: Cubre el Pacífico Sur e Índico.

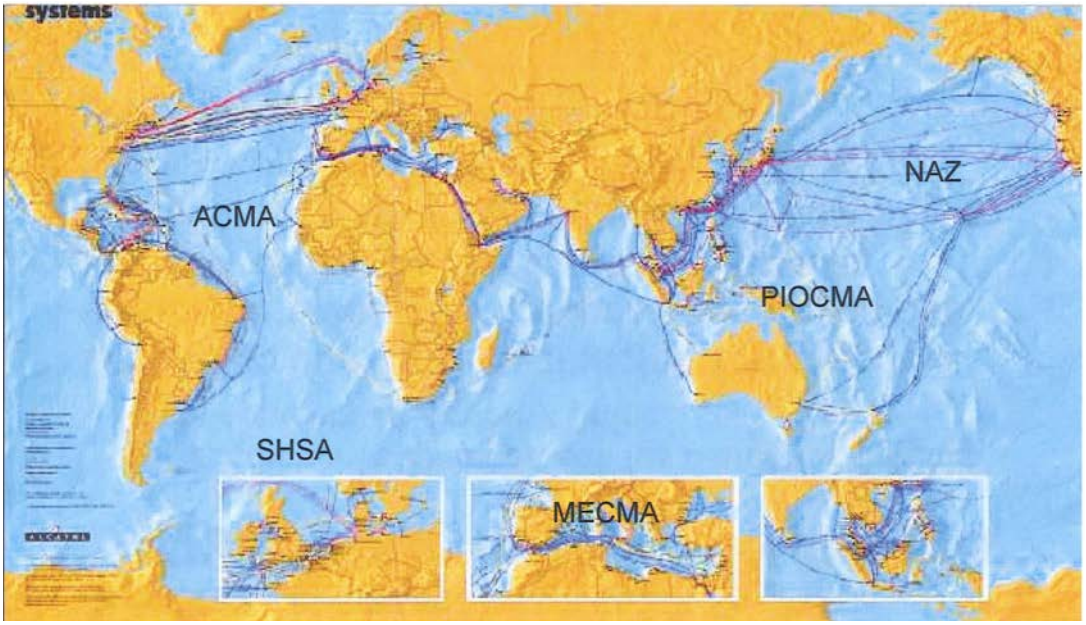



*Fig. Mapa de acuerdos de mantenimiento.*

Existen convenios de colaboración entre diversos acuerdos:

- ACMA y SHSA: Comparten buques en el Atlántico Sur.
- NAZ: Comparte clientes con los acuerdos locales para reparar en Japón y China.

Los Acuerdos Internacionales tienen como contrapartida acuerdos privados en los que una AM contrata con una determinada compañía los servicios de mantenimiento, por ejemplo Global Marine ofrece servicios globales de Mantenimiento.

*Servicios de acuerdo de mantenimiento internacional tipo ACMA, MECMA:*

Proporcionan medios de reparación disponibles todo el año, mediante varios buques cableros dedicados a su servicio:

El tiempo de respuesta será de 24 horas. Y deberán cumplirse unos parámetros de tiempos de operación, que si no son cumplidos implican penalizaciones para el suministrador, por ejemplo:

- Velocidad de tránsito 12 Kn.
- Tiempo de empalme menor de 18 horas.
- Tiempo de reparación en profundidades mayores de 1000m.
- Informes diarios desde el buque, sumario de la reparación en 48H, informe de la reparación en 30 días.

Los Acuerdos Internacionales se basan en consorcios de Autoridades de Mantenimiento que contratan Operadores de buques de reparación. El coste fijo anual por el cable esta habitualmente basado en la longitud del cable. El coste variable por día de reparación del buque aumenta si se utiliza un ROV para la reparación.

Los repuestos utilizados son suministrados por la Autoridad de Mantenimiento, que los tiene almacenados en un depósito (cable, repetidores de repuesto, kits de empalme).

Los Acuerdos Internacionales suelen ofrecer una amplia gama de servicios a sus Clientes, que pueden ser contratados o no por los diferentes miembros tales como:

- Mantenimiento de la información del sistema, sistemas GIS.
- Gestión de permisos de reparación, cruces con otros cables, etc.
- Mantenimiento de la red comprendida entre la cámara de amarre y la Estación terminal.
- Servicios de información a pescadores.
- Asistencia para la localización de averías en la planta sumergida.

Los Acuerdos Privados de Mantenimiento se gestionan directamente entre la Autoridad de Mantenimiento y el Operador del buque. El coste depende del alcance de los servicios solicitados. Hay acuerdos en los que no se cobra una tarifa anual de mantenimiento, pero:

- No se garantiza un tiempo de respuesta o reparación mínimo.
- No hay servicios de Mantenimiento Preventivo o de otro tipo.
- Los gastos de operación del buque por día son mucho mas elevados.

Existen áreas donde no hay una oferta de acuerdos de mantenimiento, ya que debido a las regulaciones locales solo es factible que operen buques con determinada bandera y tripulaciones:

- Japón. Operadores de buques KDD/DOKAI.
- China.
- Emiratos Árabes. Operador de buque. EMarine.

En estos casos los cables están incluídos 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:

- Los depósitos de cables están ubicados habitualmente en el mismo lugar donde está el buque de mantenimiento.
- Los depósitos son zonas francas para evitar el pago de impuestos, ya que los repuestos no se importan en el país donde está ubicado el deposito.
- Se habilitan contenedores especiales para el cable (tanques) y zonas de temperatura controlada para almacenar la electrónica (repetidores, equipos, etc.)
- Almacenamiento del cable, kits y equipos se factura habitualmente por volumen.
- Almacenamiento de repetidores por unidades.

*Fig. Depósitos de cables submarinos. Tanques portátiles (máx. 150 Tn).*

[1]Referencias Bibliográficas: [12][13]

*[12]* ***G.V. Castro.*** *"Tendido y reparación de cables submarinos".*
*[13]* ***Curso de O&M*** *"Gestión y Comercialización del cable submarino".*

## 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.

Es un buque de gran sofisticación y alta tecnología. Debe ser fácilmente maniobrable a muy bajas velocidades, mantener una posición fija bajo duras condiciones de corrientes marinas y atmosféricas, seguir una ruta predeterminada con gran precisión y estar equipado con los equipos específicos necesarios para realizar la batimetría, el tendido y la reparación de cables submarinos.

El tendido de un cable submarino es un proceso complejo, altamente preciso y delicado, por lo que requiere una maquinaria especifica y unos equipos especiales para controlar los parámetros del tendido del cable en todo momento.

El cable submarino debe adaptarse perfectamente al perfil del fondo del mar, ya que la superficie terrestre tiene numerosas irregularidades. El cable debe ser tendido por el buque a una velocidad y tensión adecuada, variable a lo largo de su ruta, largando una cantidad de cable adicional (holgura) con el fin de que el cable se adapte al fondo.

### *Composición de un buque cablero*

Un buque cablero es reconocido externamente por la forma de su proa y su popa. Estas equipan unas grandes roldanas o rampas para el tendido y recuperación de los cables.

No es un barco excesivamente rápido, pero sí de gran potencia, ya que está pensado mayormente para el transporte de algunos cientos de toneladas de cable.

*Fig. B/C Tyco Resolute.*

*Sus partes principales son:*

**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. Estos tanques ocupan la mayor parte del interior del buque. Además de disponer de tanques independientes para repuestos.

*Fig. Tanques Cable.*

*Requisitos de los tanques de cable*

Los tanques de Cable tendrán un fondo plano, libres de cualquier protuberancia o restos de soldadura, guiones, etc. La colocación de la madera en la parte inferior del

tanque no es aceptable, además las paredes serán de superficie continua, libres de cualquier protuberancia que pueda dañar el cable y en caso de que las paredes no sean de chapa de acero continua, los elementos de bastidor verticales tendrán paramentos al menos 300 mm de ancho, libres de rebabas y bordes afilados. Si tienen revestimientos de madera, deberán estar libres de astillas y la separación del bastidor vertical no deberá ser mayor de 1500 mm.

El cono interior del tanque debe tener un radio de, al menos, el radio de curvatura mínimo del cable.

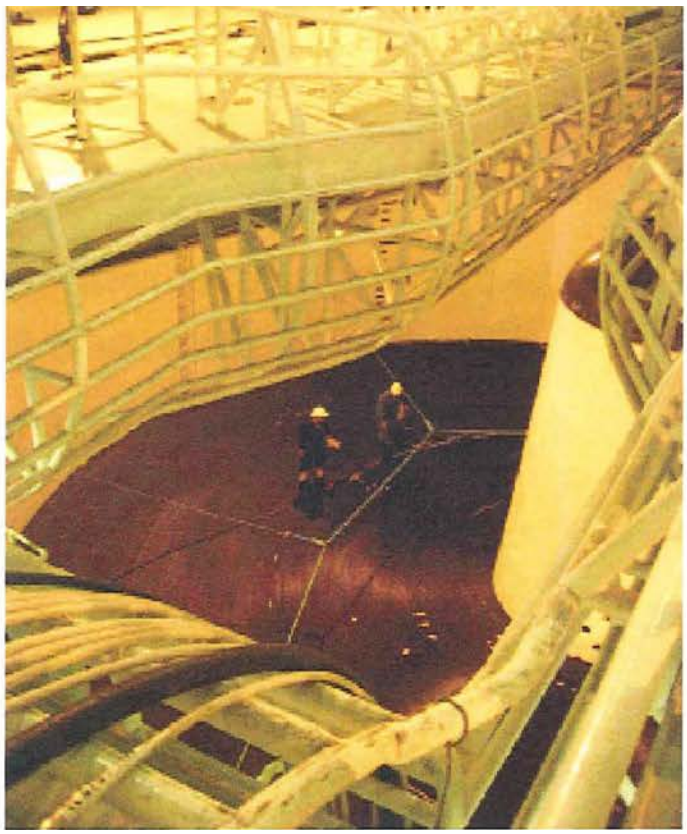


*Fig. Tanques de cable.*

**Maquinaria para el manejo de cables**

Estas máquinas lineales (LCE) van provistas de un gran número de pares de ruedas (hasta 21 pares de ruedas), o cadenas tipo Caterpillar, entre las cuales pasa el cable y unos tambores circulares de 3 a 4 metros de diámetro con los que se controlan la tensión, velocidad y longitud de cable que es izado o tendido. Existen unas salas donde se controlan las distintas lineales.

*Fig. Máquina lineal de Popa.*

*Fig. Controles de las lineales de Proa y Popa.*

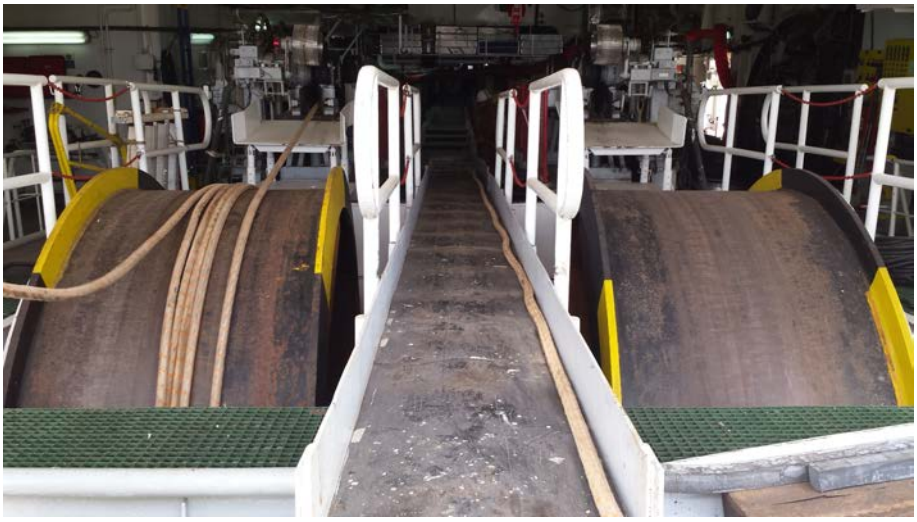


*Fig. Tambores.*

**Laboratorios de medidas de transmisión óptica**

Durante el tendido del cable es necesario ir comprobando en todo momento el perfecto funcionamiento del sistema, así como la integridad del mismo para lo cual existen todo tipo de equipos de medida de fibra óptica. Desde esta sala se realiza la monitorización de la alimentación del sistema.

**Sala de empalmes**

Para la realización de los empalmes de los diferentes tipos de cable. La realización de un empalme en un cable de fibra óptica submarino es un proceso que requiere unas técnicas especiales y una gran especialización en todas sus fases. Esta sala está equipada con todos los equipos necesarios duplicados o triplicados para la realización de estos empalmes como equipos de rayos-x, fusionadores de fibras, etc.

*Fig. Sala de empalmes.*

**Estibas de repetidores y Branching Units**

Los equipos especiales como Repetidores y Branching Units necesitan ir estibados en lugares especiales provistos de sistemas de refrigeración y monitorización de temperaturas.

*Fig. Estibas de Repetidores y BUs.*

**Sistemas de posicionamiento, control del buque y control de tendido**

El puente de mando está completamente computerizado y dispone normalmente de equipos duplicados de posicionamiento dinámico, los cuales son de vital ayuda cuando se realiza una operación ya sea de reparación o tendido, para mantener la posición o aportar maniobrabilidad y precisión. Esto se consigue gracias a los sistemas de referencia de los que disponen normalmente los buques cableros como son el GPS Diferencial (DGPS), el Taut Wire (Hilo tenso) y el HPR (Sistema de posicionamiento hidroacústico), además de sensores como la giroscópica, la unidad de referencia de movimiento (MRU), los anemómetros, y de manera específica en este tipo de buques, los tensiómetros. El sistema integrado de Control de tendido ofrece información al operador sobre las desviaciones producidas y acciones correctoras a aplicar en cada operación, los sistemas más utilizados son los sistemas Winfrog y MakaiLay.

*Fig. Puente de mando.*

**Propulsión**

La sala de máquinas está completamente automatizada, de tal forma que puede ir en régimen desatendido. Los buques cableros incorporan hélices principales y laterales de considerable potencia, permitiendo la operación en condiciones meteorológicas adversas. A su vez disponen de gran maniobrabilidad, todos los propulsores son gestionados por un sistema de posicionamiento dinámico que permite el movimiento del buque con una asombrosa precisión.

*Fig. Generadores.*

*Fig. Control de máquinas.*

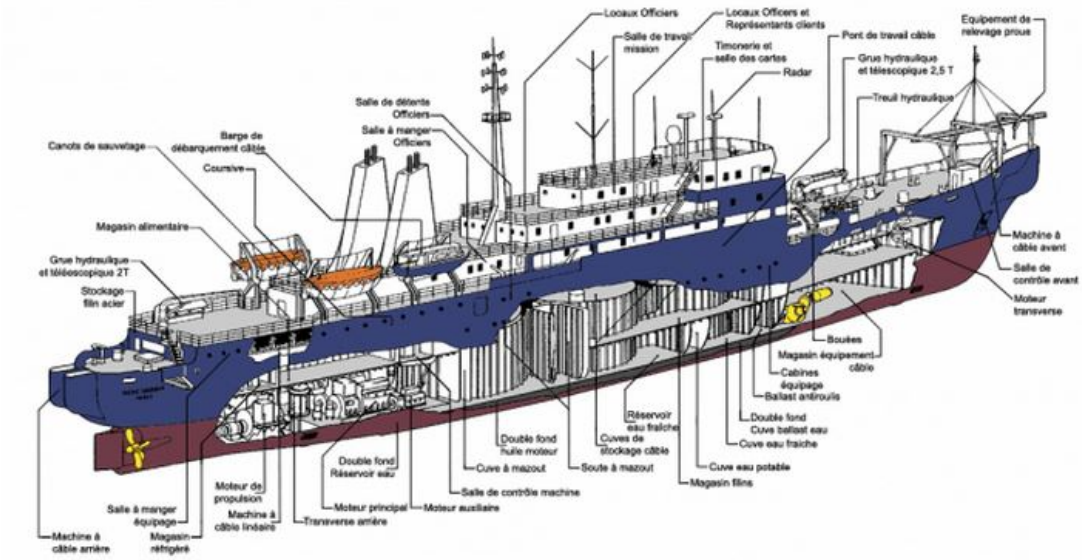



*Fig. Buque cablero.*

[2] Ref. B: [2][7][12]

*[2]* ***TSSL TEMASA.*** *"Carga y transporte de cables submarinos".*

*[7]* ***TyCOM.*** *"Vessel Loading Work Instructions".*

*[12]* ***C. Orozco.*** *"Submarine cable operations and cable ships operations".*

# Capítulo 4. Sistema de Posicionamiento Dinámico

## 4.1 Descripción del sistema

Los sistemas de posicionamiento dinámico se están imponiendo a bordo, en cada vez más tipos de buques desde hace años, como modo de automatizar ciertas maniobras que requieren de gran precisión y control de movimiento.

Por otro lado existen en el mundo marítimo gran diversidad de trabajos que requieren a su vez de un alto grado de exactitud en la posición absoluta del buque, según sus coordenadas geográficas ó UTM, así como su posición relativa respecto a otros buques, vehiculos submarinos , instalaciones o estructuras offshore.

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

El sistema controla la propulsión del buque, como por ejemplo las revoluciones por minuto de las hélices transversales o azimutales. El usuario establece unos valores de posicionamiento y rumbo y el procesador del sistema manda unas señales de control a las hélices propulsoras para trabajar en un régimen óptimo a cada situación. De esta manera el buque mantendrá la posición y rumbo establecida por el usuario.

Para controlar el rumbo y/o posición el DP utiliza los datos recibidos de un girocompás o un sistema diferencial de GPS. Los desvíos que se ocasionan con referencia a los valores establecidos son detectados automáticamente y el sistema los corrige accionando las hélices propulsoras de forma adecuada.

El sistema también cuenta con un control manual (un joystic para el ajuste de la posición y una control circular para ajustar la proa del barco).

La implantación de fibra óptica en los cables de comunicación internacionales ha requerido una gran precisión en la instalación de dichos cables, algo para lo que el DP ha contribuido de una manera sustancial. Los cables de fibra óptica tienen unas especificaciones muy precisas de flexión así como de tracción.

Si estas especificaciones son superadas el cable puede resultar dañado y como consecuencia puede resultar inservible.

Su instalación es particularmente muy útil especialmente cuando se llevan a cabo operaciones de reparación o conexiones de cable en aguas poco profundas.

La siguiente figura muestra la configuración típica de un sistema DP en un buque cablero.

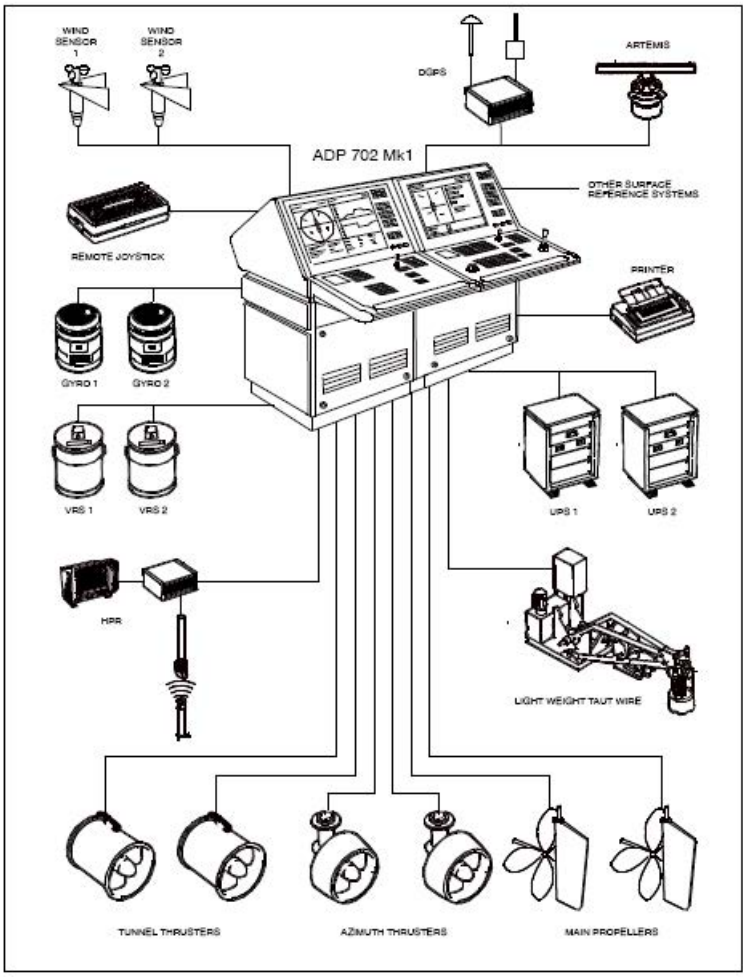



*Fig. Configuración típica de un sistema DP.*

*Fig. Equipo DP de un buque cablero.*

*Fuerzas básicas y movimientos*

El buque se ve sometido a diferentes fuerzas:

- Viento
- Oleaje
- Corrientes
- Fuerzas resultantes del sistema de propulsión

El sistema DP calcula la desviación de la posición, rumbo y velocidad con respecto a la requerida y calcula la fuerza y dirección que deben ejercer las hélices propulsoras para corregir el desvío.

Se controla el movimiento horizontal del buque en los tres grados de libertad: traslación longitudinal, transversal y guiñada

Respecto al eje vertical registra: cabeceo, balance y traslación vertical.

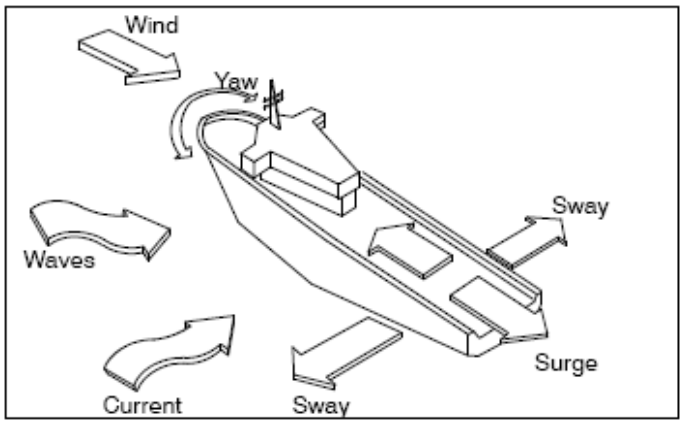



*Fig. Movimientos horizontales controlables en DP.*

El sistema no controla los movimientos de cabeceo y balance pero los tiene en cuenta para corregir la posición.

El DP analiza el movimiento tridimensional del buque atendiendo pues a las siguientes variables:

Plano horizontal: proa - popa (Surge), babor – estribor (Sway), rumbo; (Yaw).

Plano vertical: arriba - abajo (Heave), balance (Roll) y cabeceo (Pitch).

Así pues quedan perfectamente definidos los *6 grados de libertad* en los movimientos del buque, esquematizados en el siguiente cuadro:

| Axis of movement | Positive Direction | Coordinate System | Use in DP |
|---|---|---|---|
| Surge | Forward | ±X | Position Control |
| Sway | Starboard | ±Y | |
| Yaw | Clockwise (seen from above) | ±Z | Heading Control |
| Heave | Upwards | ±Z | |
| Pitch | Bow Down | | Compensation for acoustic beacon and radio aerial & same taut wire |
| Roll | Stbd Down | | |

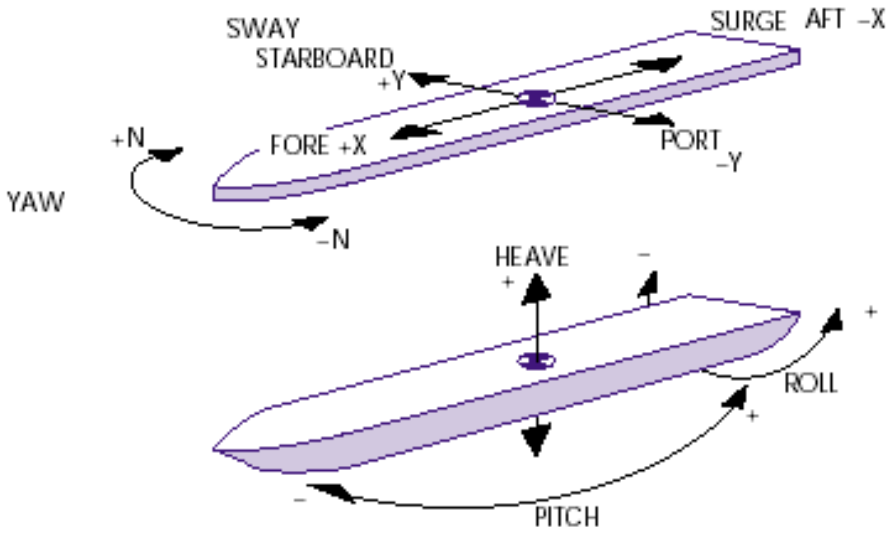



*Fig. Los seis grados de libertad de un buque.*

*Principios del sistema DP*

El siguiente diagrama de bloques muestra el funcionamiento del sistema el cual se basa en un "modelado" del buque el cual contiene la descripción hidrodinámica del barco incluyendo características tales como resistencia o datos de peso.

Este modelo recibe información con la descripción de las fuerzas que actúan sobre el barco:

- Un modelo de viento que utiliza coeficientes de viento tomados desde diferentes ángulos de ataque para calcular la fuerza del viento en función de la velocidad del viento y dirección.
- Un modelo para la propulsión que utiliza características de fuerza, paso de la hélice y rpm para calcular la fuerza de empuje de acuerdo a la señal de retroalimentación de las hélices.

Usando las características del buque y las fuerzas aplicadas, el modelo calcula la velocidad , posición y rumbo estimado en los tres ejes horizontales.

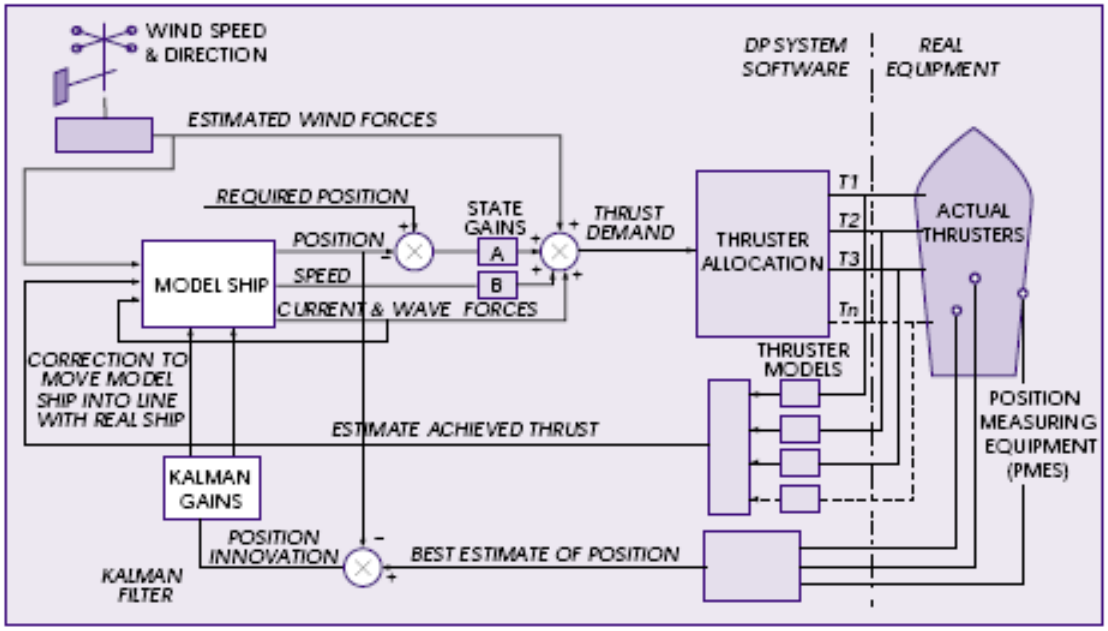



*Fig. Esquema del Buque modelo y la ganancia Kalman.*

El modelado nunca es perfecto pero se mejora notablemente usando la técnica del filtrado Kalman el cual filtra la información recibida y optimiza los resultados. También durante las pruebas de mar se optimizan todas las características del buque.

La predicción de la posición y del rumbo generada por el modelo se compara con la posición y rumbo medidos para obtener una diferencia de posición y rumbo. Con ayuda del filtro Kalman se eliminan las posibles perturbaciones antes de actualizar la información del modelo. Si se pierden datos de GPS o de rumbo el modelo hace una estimación de las posiciones que se van degradando con el tiempo.

Incluso si se aplican unas apropiadas fuerzas de propulsión, el buque tendrá tendencia a moverse de su posición por la acción de fuerzas que no son medidas directamente, por ejemplo las corrientes y el oleaje. Estas fuerzas se van calculando durante un período de tiempo de acuerdo a la posición filtrada para producir una fuerza correctora, la cual se añade a las fuerzas modeladas. De esta forma se representan el total de las fuerzas externas.

La fuerza para compensar el error producido se representa como fuerza producida como corriente ya que es esta última la componente predominante.

La demanda de fuerzas que se requieren para mantener al buque en una posición determinada se componen de:

- Demanda de fuerzas para los ejes que están sujetos al control automático
- Demanda de fuerzas para los ejes que están sujetos al control manual
- Alimentación anticipada

*Demanda de fuerzas para los ejes que están sujetos al control automático:*

Consiste en dos partes:

- Demanda de fuerza que es proporcional al desvió entre la posición requerida y la actual.
- Demanda de fuerza que es proporcional al desvió entre la velocidad requerida y la actual.

La posición y rumbo establecida por el operador es comparada con la posición y rumbo estimada por el modelo. La diferencia se multiplica por unos factores de ganancia los cuales están calculados y ajustados para optimizar el posicionamiento con el mínimo consumo de energía.

La velocidad requerida por el usuario es comparada con la velocidad estimada del modelo. Si se quiere que el barco mantenga una posición fija, la velocidad deseada será igual a cero.

*Demanda de fuerzas para los ejes que están sujetos al control manual*

Cuando cualquiera de los ejes no están bajo el control automático, el operador puede usar el joystic o el control rotativo para controlar manualmente la fuerza ejercida por las hélices propulsoras.

*Alimentación anticipada*

Para contrarrestar los cambios producidos en las fuerzas externas tan pronto como son detectadas, antes de que el buque pierda la posición, las fuerzas externas calculadas son alimentadas anticipadamente como una demanda de fuerza adicional.

*Funciones de un sistema de posicionamiento dinámico*

Básicamente las funciones del DP pueden resumirse en las siguientes :

- Medir los desvíos del buque tanto en posición como en rumbo respecto de los seleccionados.
- Calcular los desvíos según los ejes X, Y así como respecto al N en el rumbo.
- Calcular las fuerzas y momentos necesarios para compensar esos desvíos y para vencer la resistencia de las fuerzas externas.
- Transformar esas fuerzas y momentos en órdenes a cada una de las hélices.

*La redundancia y la clasificación de los equipos*

Los buques DP llevan a cabo diferentes tareas y operaciones algunas de las cuales son críticas desde el punto de vista de la seguridad. Es por ello que previamente a las operaciones deben de analizarse las posibles consecuencias de un fallo del sistema DP. Hay ciertas operaciones en las que un error o malfuncionamiento del sistema significa una desviación fuera de la zona definida o por el contrario una completa pérdida de control de la posición y del barco. Ambos son clasificados como “errores catastróficos”. Las consecuencias de dichos errores se clasifican en estos tres: Riesgo de herida o muerte del personal, de la propiedad o contaminación del medio ambiente.

El objetivo de la redundancia es asegurar que el sistema en su conjunto funciona correctamente a pesar de perder un elemento individual o subsistema y así evitar los denominados “errores catastróficos”. Por lo tanto, “redundancia”, en términos DP, puede clasificarse como la habilidad del buque para soportar la pérdida de cualquier componente individual sin perder la posición o el rumbo.

Visto desde un punto de vista más práctico, la redundancia en el sistema permite el abandono y cancelación seguro de las operaciones, permitiendo al barco salir de la zona de trabajo de una manera segura y bajo el control del DP, en caso de un

fallo individual de cualquier sistema. De hecho, hay operaciones, tales como el trabajo con buzos por ejemplo, que no pueden ser suspendidas de una manera segura sin el control del DP.

Hay diversas maneras de aplicar la redundancia. La más común es proveer al sistema de componentes “back-up” y “stand-by”. Un buen ejemplo de esto son los ordenadores controladores, uno trabajando “on-line” y el otro en “hot stand- by” como back-up. A esto por ejemplo se le puede añadir un sistema de transferencia de control entre ellos sin producirse cambios ni en el rumbo ni en la posición.

De esta manera en caso de fallo de los controladores, el buque puede retirarse a una zona de seguridad, todavía en modo DP, sin más redundancia en el área de los controladores.

*Definiciones según la clase de equipamiento*

- Equipamiento clase 1: en caso de fallo aislado puede perderse posición y rumbo.
- Equipamiento clase 2: en caso de fallo aislado en cualquier sistema o componente activo no se pierde posición y rumbo. Normalmente se considera que los componentes estáticos no fallan, cuando se puede demostrar suficiente protección estando esta bajo los parámetros y a satisfacción de la administración de la bandera.
- Equipamiento clase 3: un fallo aislado engloba los ítems incluidos en la clase 2 además considerándose que cualquier sistema estático puede fallar, debiendo de estar todos los componentes por duplicado en un compartimento estanco e ignífugo.

Por lo tanto, los buques DP1 no serán completamente redundantes en todas las áreas. Los buques DP2 tienen completa redundancia en equipamientos y sistemas, mientras que los buques DP3 son capaces de mantener la posición y el rumbo tras la pérdida de todos los componentes en un compartimento estanco e ignífugo. En DP3 un fallo aislado puede ser la pérdida de un compartimento completo.

La elección del equipamiento de clase determina que barco es fletado para una determinada operación o contrato. Cuanto mayor sea el riego asociado con la operación, mayor será el equipamiento de clase requerido.

## 4.2. Elementos fundamentales en un sistema DP

Un sistema DP necesita estar compuesto básicamente de los siguientes elementos:

- Sensores que le den la posición en referencia a una posición preseleccionada.
- Sensores que midan el rumbo.
- Sistemas que le permitan calcular las fuerzas que actúan sobre el buque debido al viento, corriente o otros factores y estimar las necesarias para contrarrestar su efecto y corregir los desvíos, así como sistemas que le permitan ejecutar esas órdenes.

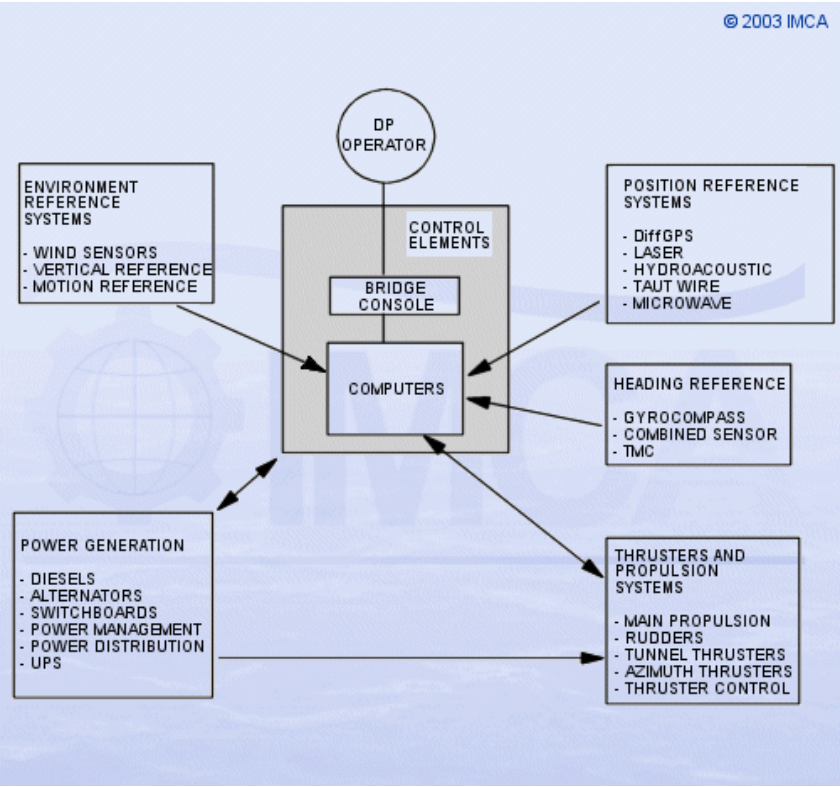



*Fig. Elementos de un sistema DP.*

Según esto vemos que el DP es un sistema de control y reacción múltiple. La función principal es mantener al buque en una posición o derrota determinada y con una dirección de la proa preseleccionada. El sistema debe ser capaz de operar además en situaciones de cambio en las fuerzas externas , fallos en la señal de un sensor y fallos en los sistemas de medida de la posición. De modo secundario debe también optimizar el consumo de combustible y reducir el uso de las hélices al mínimo.

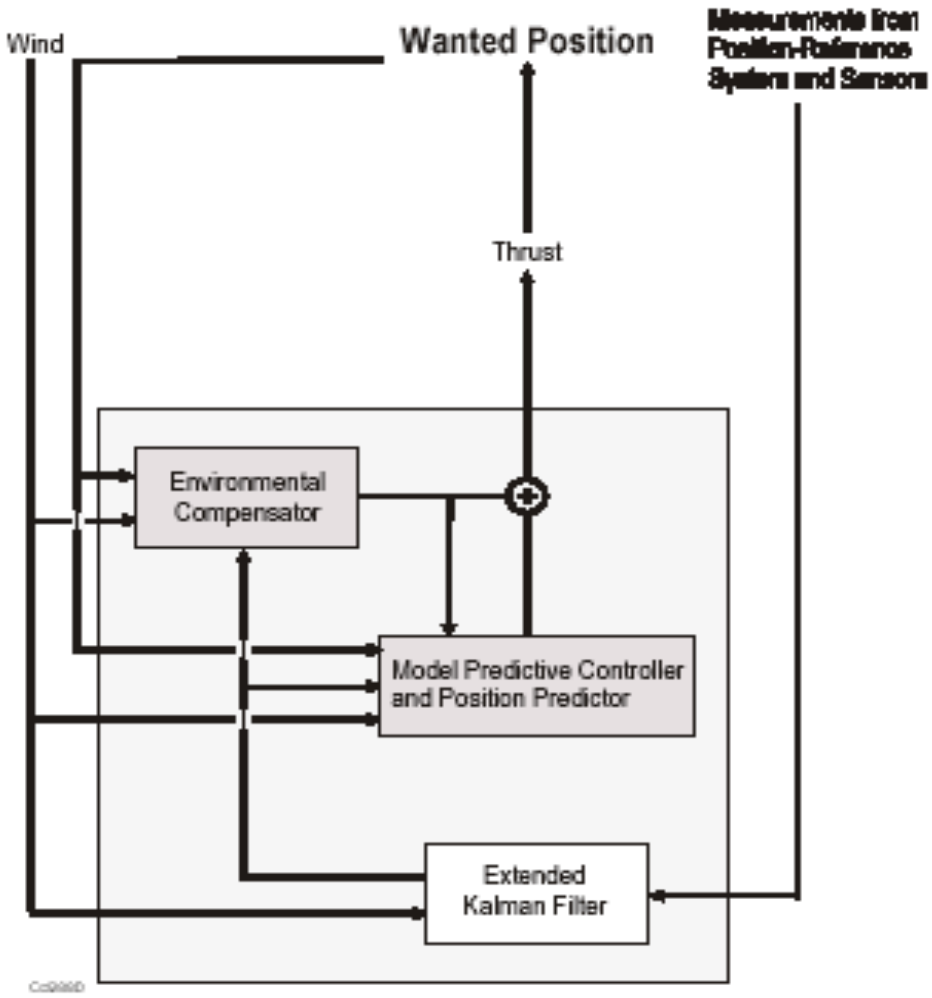



*Fig. Diagrama de funcionamiento.*

*El sistema de control del DP se compone de los siguientes dispositivos:*

- Buque modelo: Es una aproximación matemática lo más exacta a la respuesta del buque ante la acción de fuerzas externas.
- Grado de ganancia: Factores que determinan las Toneladas de empuje para compensar un error de posición a una velocidad determinada.
- Disposición de empujes: Serie de ecuaciones que calculan la demanda de empuje total expresadas según las coordenadas X, Y y con repecto al Norte para ser aplicada por el total de hélices del buque y convertidas en empujes individuales para cada hélice disponible.
- Hélices Disponibles: Computa el trabajo de las hélices operativas.

- Modelo de propulsión: Analiza la demanda para cada hélice y calcula el empuje resultante para el total del buque.
- Pool: Combina las distintas estimaciones de la posición del barco y crea la mejor estimación resultante.
- Ganancia Kalman: Es un factor que se aplica a un tipo de posición para determinar si puede ser tomada como preferente ante otras y en que grado. Varía entre 0 y 1.
- Viento: Velocidad y dirección del viento son transformadas en fuerzas aplicadas al buque.

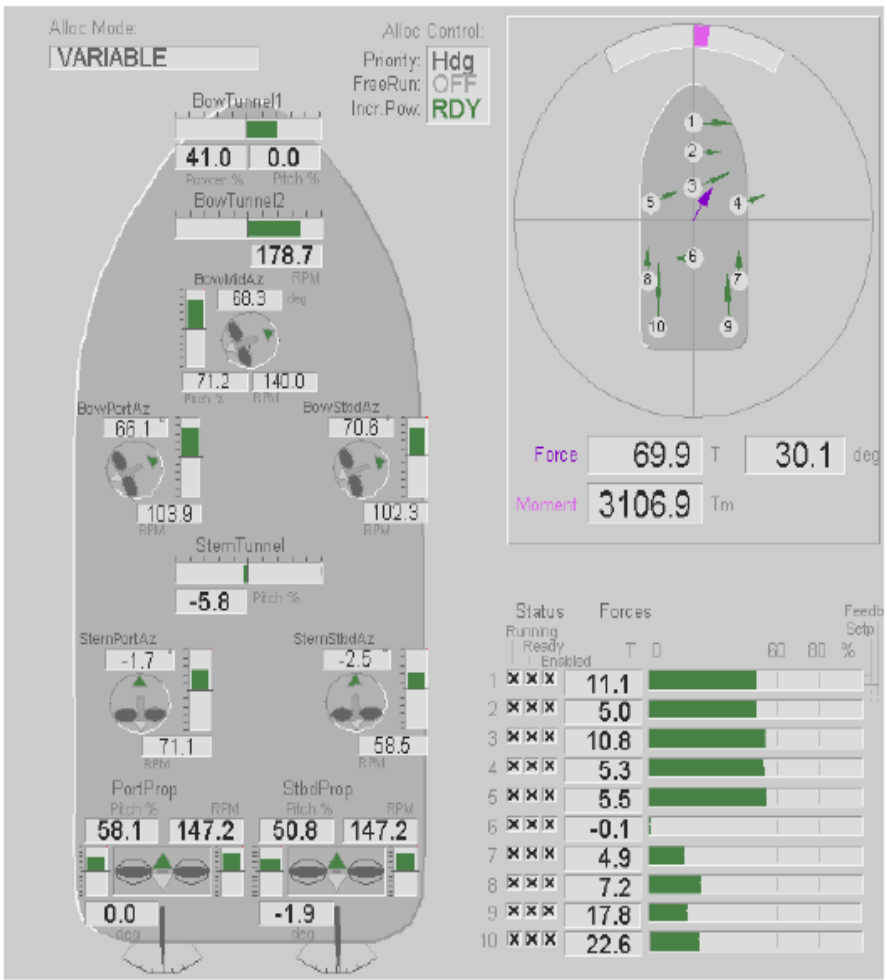



*Fig. Vista del trabajo de las hélices en un sistema DP.*

El modelo matemático es lo más exacto posible, pero nunca tiene una exactitud del 100% . Para mejorarlo los datos son permanentemente comparados con la situación real para actualizar este modelo con pequeñas correcciones.

El uso del buque modelo y de la ganancia Kalman provee de las siguientes ventajas :

- Las señales provenientes de los sensores pueden ser filtradas para reducir ruído y actividad en las hélices.
- Los datos de los sensores pueden ser comparados con el modelo y rechazados.
- Los datos de los diferentes sistemas de posición de referencia pueden ser combinados.
- En ausencia o perdida de posición o rumbo el buque puede permanecer bajo control automático usando el modelo matemático para calcular las fuerzas que interactúan sobre el buque.
- La posición puede ser mantenida más fácilmente en condiciones meteorológicas cambiantes.

*Fig. Consola de un sistema DP 1.*

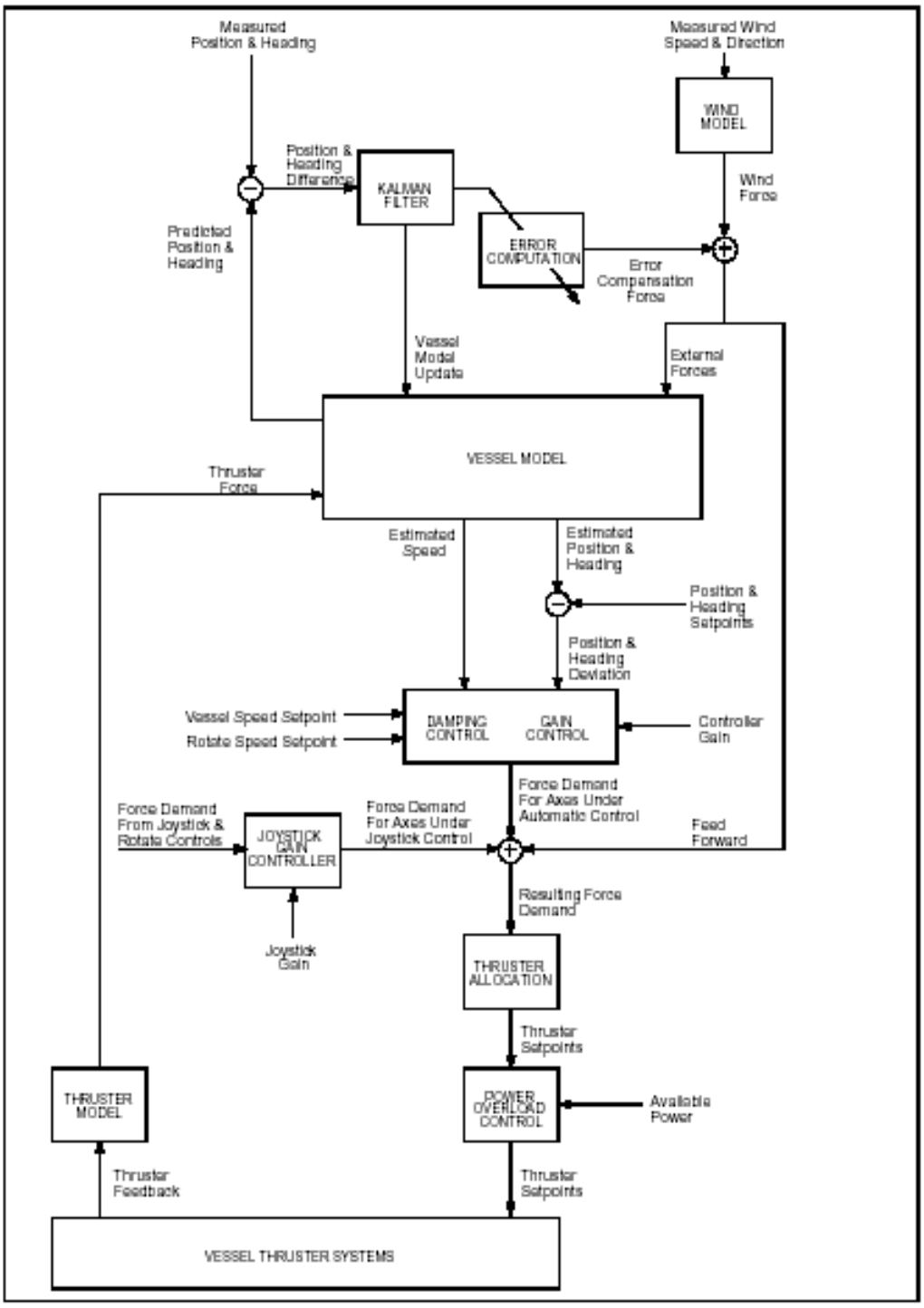



*Fig. Diagrama de bloque de un sistema DP.*

### 4.2.1 Sistemas de Posición de Referencia

El número de sistemas de referencia depende de diversos factores. En concreto, del nivel del riesgo implicado en la operación, el nivel de la redundancia que es requerido para la operación, la disponibilidad de referencias de un tipo conveniente, y las consecuencias de la pérdida de unas o más referencias de posición.

Una variedad de sistemas de posición y referencia es utilizada por el sistema DP. Los más comunes son: DGPS, Tautwire, Sistemas Hidroacústicos HPR, sistemas radio UHF telemétricos, sistemas láser o de microondas Fanbeam ó Cyscan y Artemis. La fiabilidad de los sistemas de posición y referencia es una consideración importante. Cada uno tiene ventajas y desventajas, de modo que una combinación es esencial para la alta fiabilidad.

| PME TYPE | RANGE | MAX DEPTH | ACCURACY | GEOGRAPHICAL RANGE |
|---|---|---|---|---|
| Taut Wire | 25% of water depth | 500m | 2% of water depth | Worldwide |
| Radio | 30Km | N/A | ±1m | Limited to beacon availability |
| GPS | Unlimited | N/A | ±3m | Worldwide |
| Hydro Acoustic | 5x water depth | 4000m | 1-2% of water depth | Worldwide |
| Laser | 250m (Useful range for DP) | N/A | <0.5m | Needs fixed target |

*Fig. Tabla comparativa.*

Cuando se encuentran disponibles varios sistemas de posición sus respectivos datos pueden ser clasificados y tomados en consideración de diversas formas. La más simple es aquella que toma como válida la media aritmética de las estimaciones de posición del conjunto de los sistemas.

Una forma más sofisticada es descartar las posiciones que se encuentran fuera de un cierto radio de la posición media. Una mayor precisión se consigue dotando a cada sistema de una proporción en el valor final, esta proporción va intimamente ligada a la confiabilidad de la señal recibida.

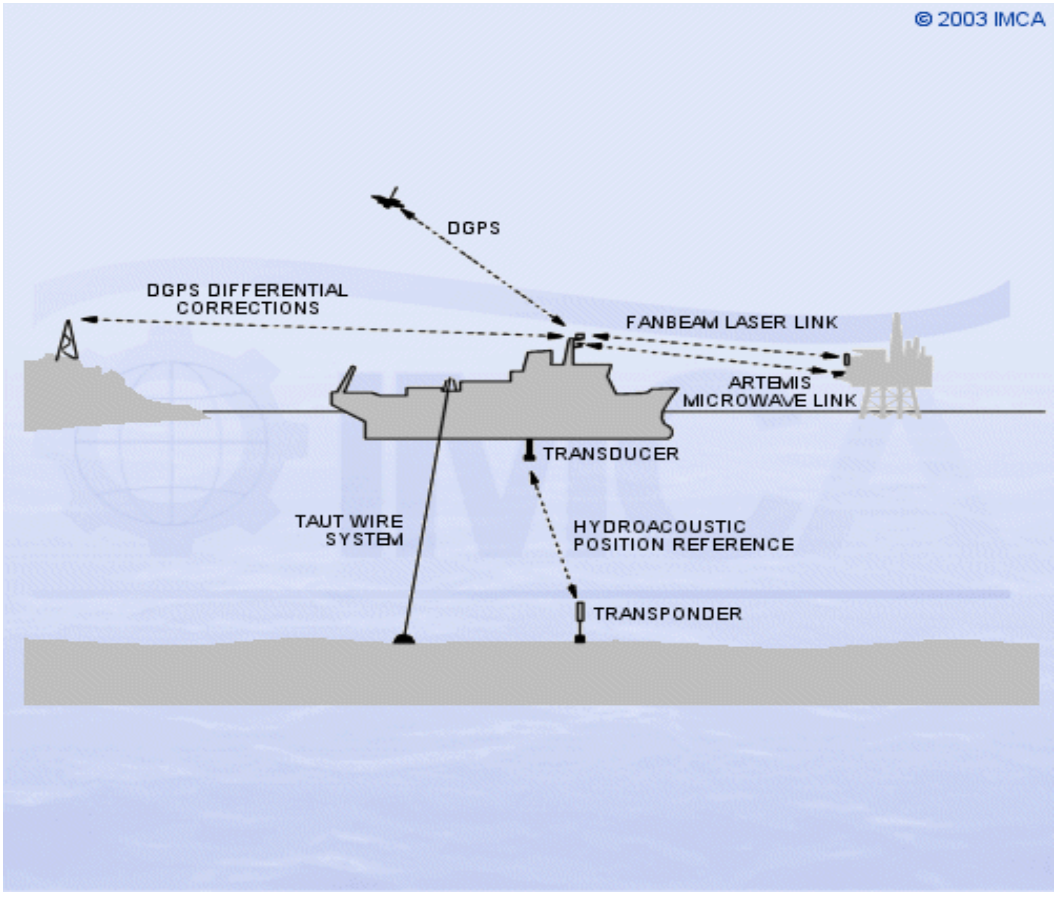



*Fig. Sistemas de  posición de referencia.*

La información de la posición se puede recibir por el DP en muchas formas. Además, el tipo de sistema de coordenadas usado puede ser cartesiano o geodésico.

El DP puede manejar información basada en cualquier sistema de coordenadas. Un sistema de coordenadas cartesiano o local, se basa sobre medidas de dos dimensiones sobre el  plano-superficie en distancias Norte/ Sur (x) y de Este /Oeste (y) desde un origen localmente definido de referencia.

Este origen de referencia será tomado a partir del uno de los sistemas de la referencia de posición (transpondedor HPR, reflector del Fanbeam, Tautwire). Este tipo de sistema de coordenadas de referencia es puramente local, o relativo, no absoluto .

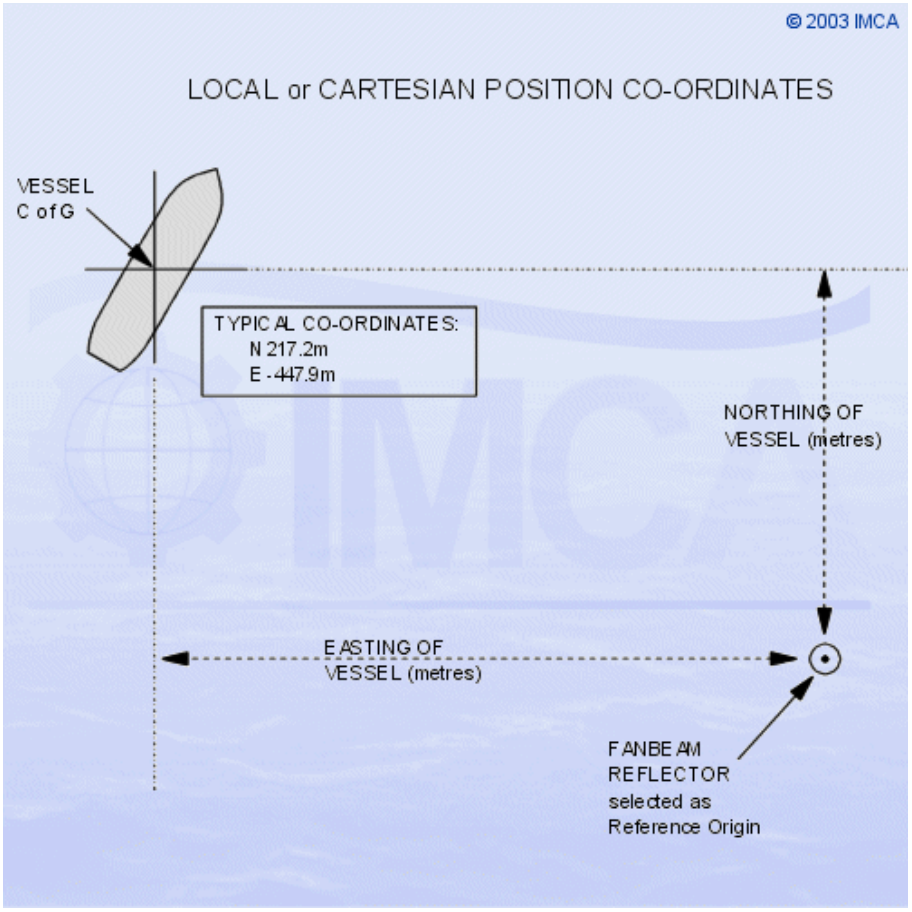



*Fig. Coordenadas de posición Locales o Cartesianas.*

La información exacta, fiable y continua de la posición es esencial para el posicionamiento dinámico. Algunas operaciones requieren exactitud próxima a 1m. Un DP requiere datos de una vez por segundo para alcanzar alta exactitud. La fiabilidad es, por supuesto, de vital importancia, en las operaciones donde la vida se puede poner en riesgo con datos incorrectos

Todos los buques DP tienen sistemas de referencia de la posición . Cinco tipos de sistemas son de uso común en el DP; Transpondedor HPR ,Tautwire, DGPS ,sistemas Láser (Fanbeam y CyScan) y Artemis.

En todo DP moderno las referencias individuales de posición se computan en proporción inversa a la variación o saltos en los datos de la posición; cuanto más alto es el peso de un sistema individual de referencia de posición, mayor es la influencia de ese sistema en el cálculo de la posición. También existe la posibilidad de introducir el peso de cada sistema manualmente.

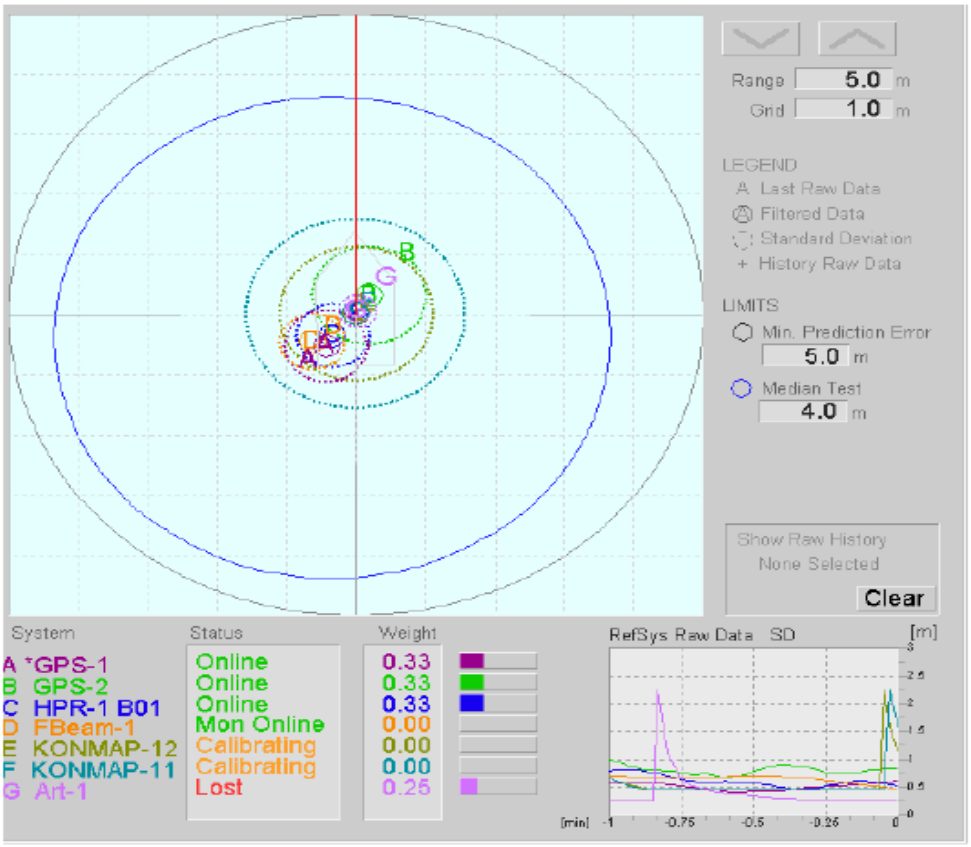



*Fig. Pantalla de sistemas de referencia.*

#### 4.2.1.1 Hydro-acoustic Position Reference (HPR)

La acústica subacuática tiene muchos usos, uno de los cuales es la disposición de la referencia de la posición para los propósitos del DP.

El posicionamiento acústico también se utiliza para seguir vehículos subacuáticos y control de equipo submarino por medio de telemetría acústica.

Hay tres tipos de sistemas acústicos de referencia de la posición de uso común; los sistemas ultra cortos o de línea de fondo USBL o SSBL sistemas cortos de la línea de fondo SBL y sistemas largos de la línea de fondo LBL Cada uno tiene ventajas y desventajas.

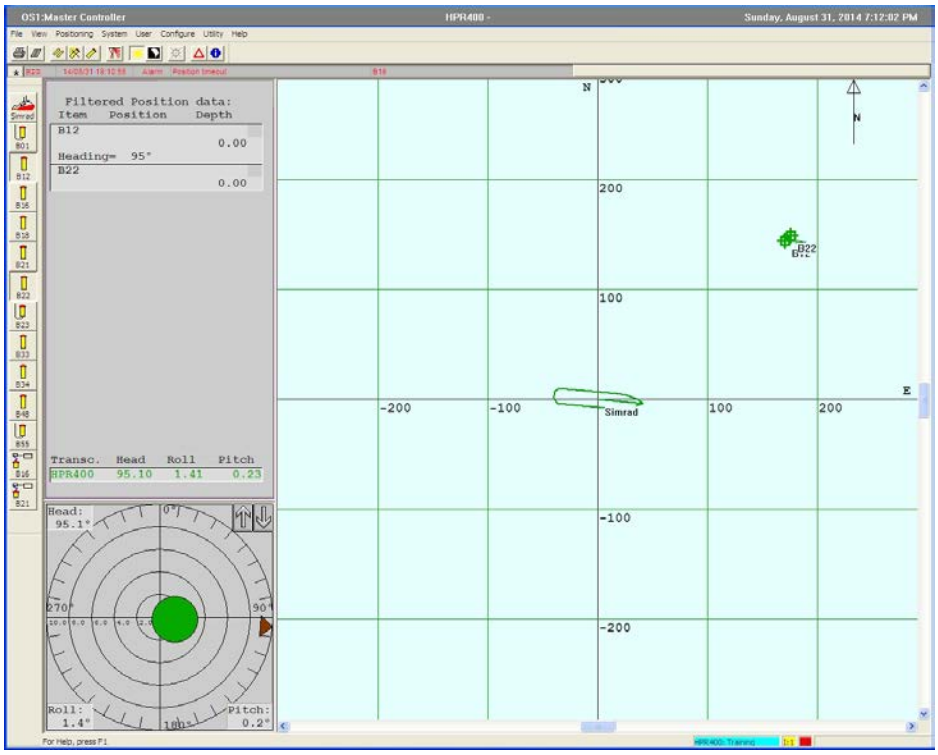



*Fig. Sistema de control de HPR.*

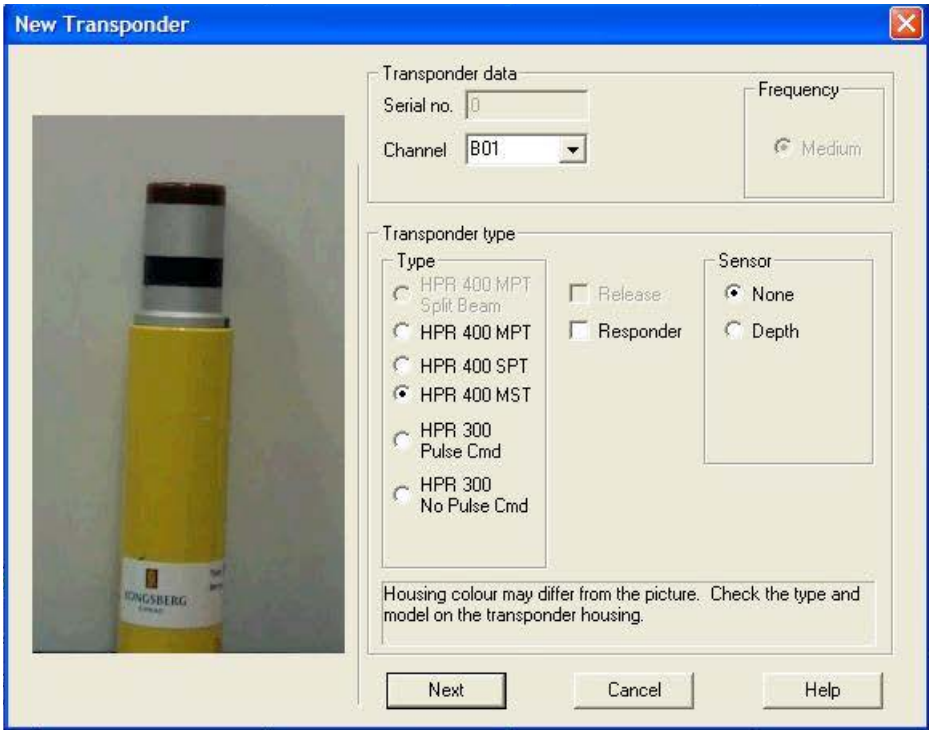



*Fig. Modo de selección de una HPR.*

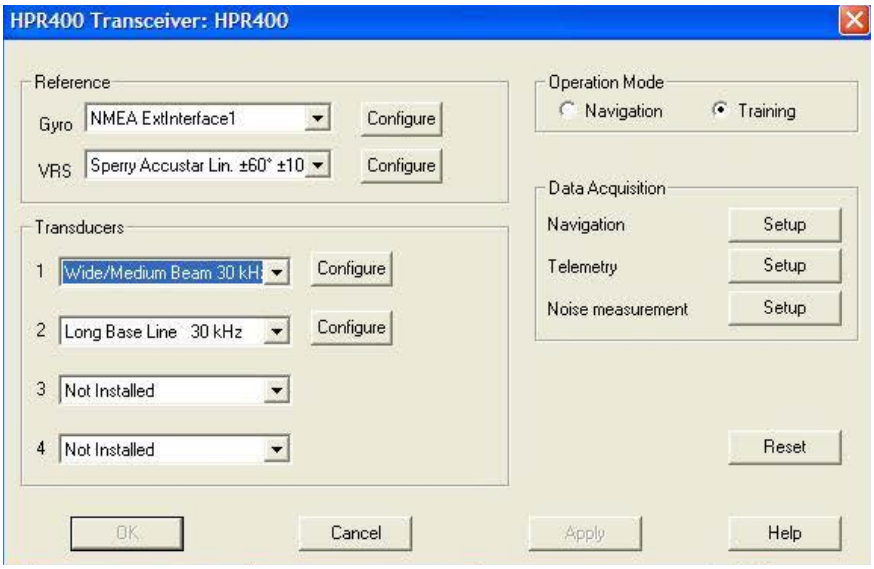



*Fig. Configuración modo de transmisión a la HPR selecionada.*

*Sistema acústico de la ultra Corta línea de base USBL*

El principio de la medida de la posición implica la comunicación en frecuencias hidroacusticas entre un transductor montado en el casco y uno o más los transpondedores en el fondo del mar y localizados. En los SSBL la medida del ángulo sólido en el transductor está sobre una línea de base muy corta (la cabeza del transductor) .

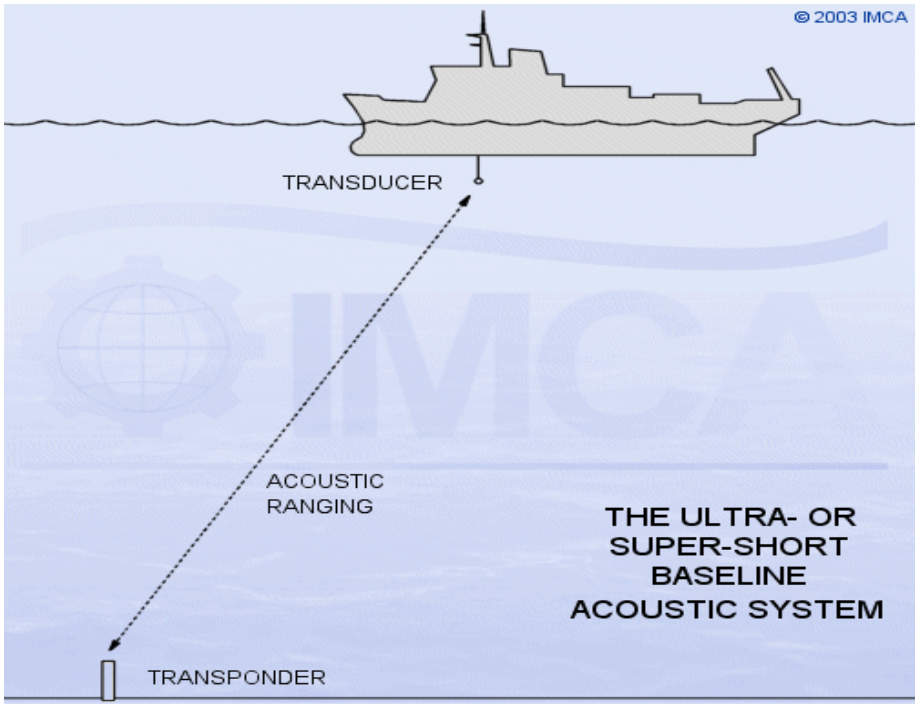



*Fig. Diagrama del sistema acústico USBL / SSBL.*

Un pulso de interrogación se transmite del transductor. Este pulso es recibido por el transpondedor en el fondo del mar, que se acciona para contestar. La contestación transmitida se recibe en el transductor. El retraso transmisión/ recepción es proporcional a la inclinación y a la distancia. Los ángulos y la distancia definen la posición del buque en relación con el del transpondedor. Los ángulos medidos se deben compensar para los valores de balance y cabeceo.

El funcionamiento de un sistema acústico está limitado a menudo por las condiciones acústicas en el agua. El ruido de las hélices del buque y de otras fuentes, aireación y turbulencia será perjudicial para un posicionamiento acústico eficiente.

Los sistemas acústicos utilizan frecuencias en la banda de 20-30 khz.

*Sistema Línea de base larga LBL*

En las localizaciones profundas, en donde la exactitud de los otros tipos se degrada, la línea de fondo larga LBL llega a ser la más apropiada. Los sistemas LBL están en uso extenso en operaciones que perforan en áreas profundas del agua (el > 1,000m).

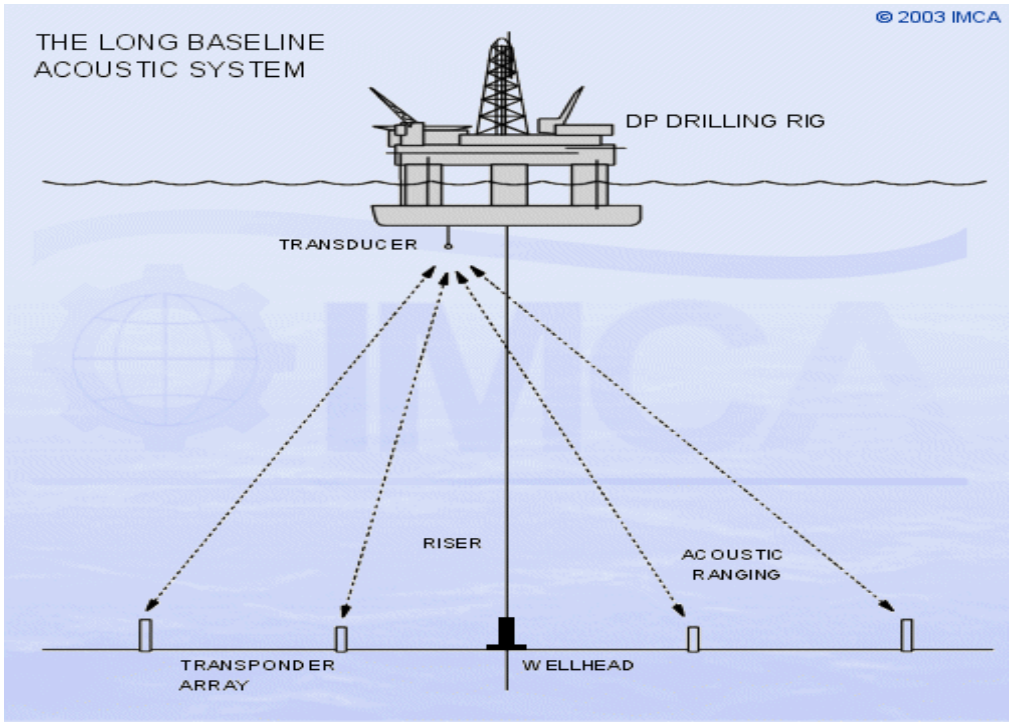



*Fig. Diagrama del sistema acústico LBL.*

Los sistemas LBL utilizan un conjunto de tres o más transpondedores colocados en el fondo del mar en la vecindad de las obras. El conjunto formará típicamente un pentágono (5 transpondores) en el fondo del mar, con el drillship en el centro arriba.

Un transductor sobre el recipiente interroga al conjunto de transpondedores, pero en vez de medir distancia y angulo, se miden las distancias solamente, porque las distancias de la línea de fondo han estado calibradas ya (las distancias entre los transpondores). La referencia de la posición se obtiene por geometría de distancias entre las localizaciones de los transpondedores. La calibración es hecha permitiendo que cada transpondedor interrogue a todos los otros del conjunto, alternadamente. La exactitud está del orden de algunos metros, pero el periodo de actualización puede ser lenta en agua profunda porque la velocidad del sonido en agua de mar es cerca de 1.500 m/sec.

*Sistema de Línea de base corta SBL*

Un SBL es como un LBL, pero con un conjunto de transductores (hidrófonos), colocados a lo largo del casco del buque y de esta forma la línea de base está definida por las distancias entre ellos. Así la exactitud puede ser mejor que el USSBL, pero todavía se hacen necesarias en correcciones por el movimiento del buque.

#### 4.2.1.2 Taut Wire

Un Tautwire es un sistema muy útil de posición, particularmente cuando el buque puede pasar períodos largos en una posición estática y la profundidad del agua es limitada.

El más común 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. En el penol de la grúa hay sensores que detectan el ángulo del alambre. El peso se baja al fondo del mar y el torno mantiene la tensión constante.

La longitud del alambre desplegada, junto con el ángulo del alambre, define la posición de la cabeza del sensor con referencia al peso depresor una vez que la

distancia vertical de la polea de la grúa al fondo del mar se sepa. Esto se mide con una sonda y se introduce previamente en el despliegue.

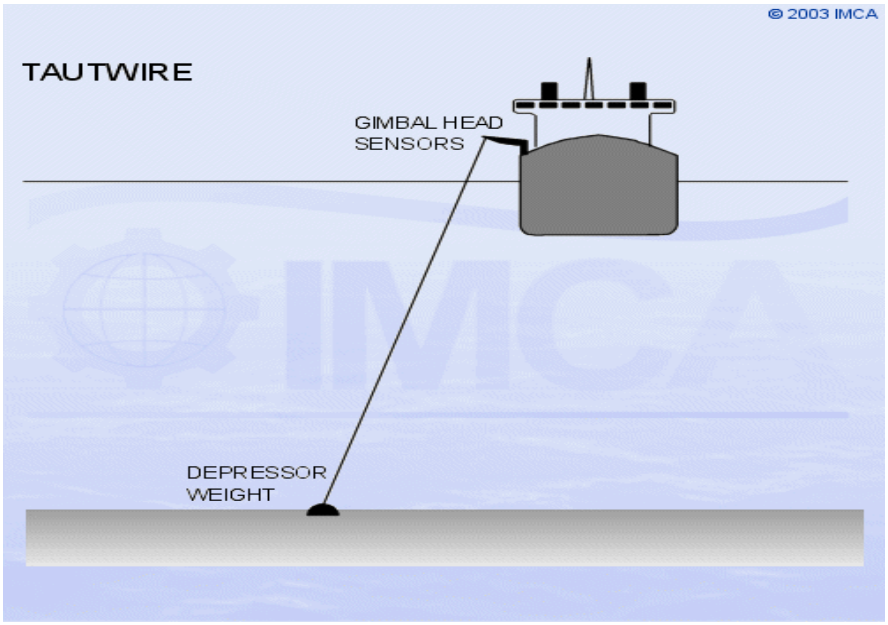



*Fig. Diagrama del sistema Tautwire.*

El Sistema de Taut Wire mide la variación relativa de la posición de un punto fijo del buque con respecto a un punto fijo situado en el fondo marino. Estos dos puntos están unidos por un cable permanentemente tenso y la variación en el ángulo del cable es constantemente medida. Así el sistema determina el desplazamiento horizontal del buque con respecto a un punto fijo del fondo marino usando para el cálculo por triangulación la longitud conocida del cable y los ángulos en el eje Proa-Popa y Babor-Estribor medidos por los clinómetros conectados al cable.

*Fig. Taut Wire.*

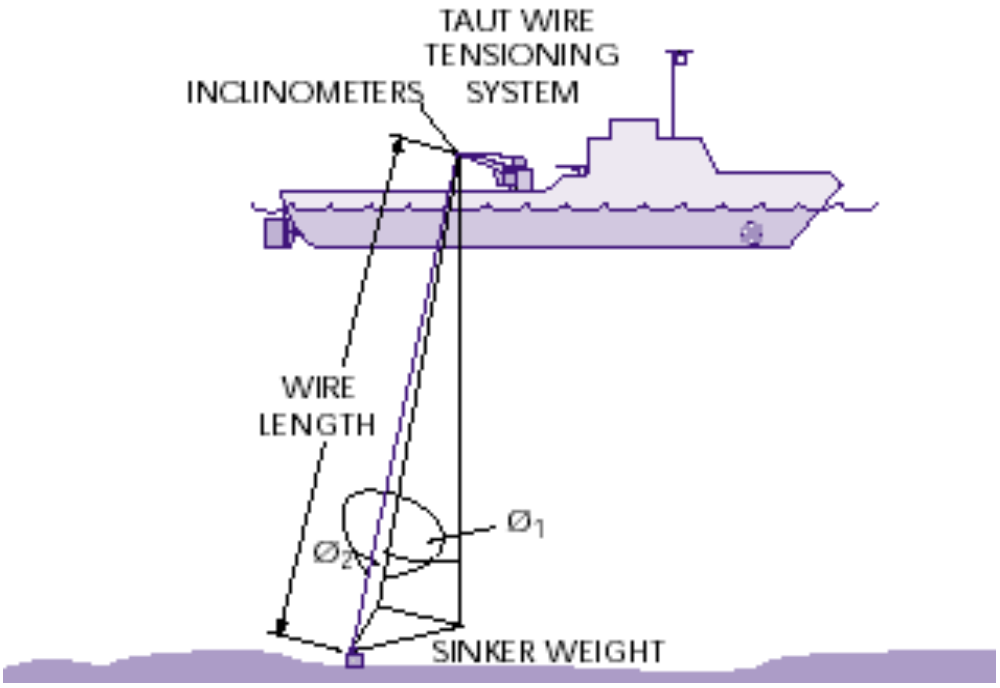



*Fig. Taut Wire.*

Dos clinómetros miden el ángulo del cable del Taut Wire a la vertical en dos planos los cuales están en ángulo recto.

El pescante del Taut Wire puede estar instalado en cualquier punto conveniente del costado, proa o popa del buque. Cuanto más cerca del centro de rotación del buque menor será el efecto del balance y cabeceo del buque. Esto reducirá el uso en el mecanismo de control de tensión.

La exactitud aproximada del sistema es de ±2% de la sonda hasta unos 500 metros.

El sistema de Taut Wire fiable y robusto, y es excelente para el mantenimiento de una posición estática durante largos periodos de operación. Además la operación y manejo del sistema es rápido y simple.

Sin embargo cuando la profundidad de sonda o el ángulo aumentan ,el efecto catenaria aumenta causando una disminución en la exactitud debido al efecto de las corrientes y mareas sobre esa catenaria..

Normalmente, el maximo angulo permitido es ±30° en cada plano**.** El rango de trabajo suele ser ±15°. El arriado y recogida del peso hundido puede ser un problema en caso de duras condiciones meteorológicas, también en esas circunstancias existe la posibilidad de garreo del peso en el fondo.

Algunos buques también tienen alambres tensos horizontales o superficiales que se puedan utilizar cuando cerca de una estructura o de un recipiente fija de los cuales una posición deba ser mantenida. La teoría de operación es igual, pero se requiere un punto seguro de la fijación más bien que un peso.

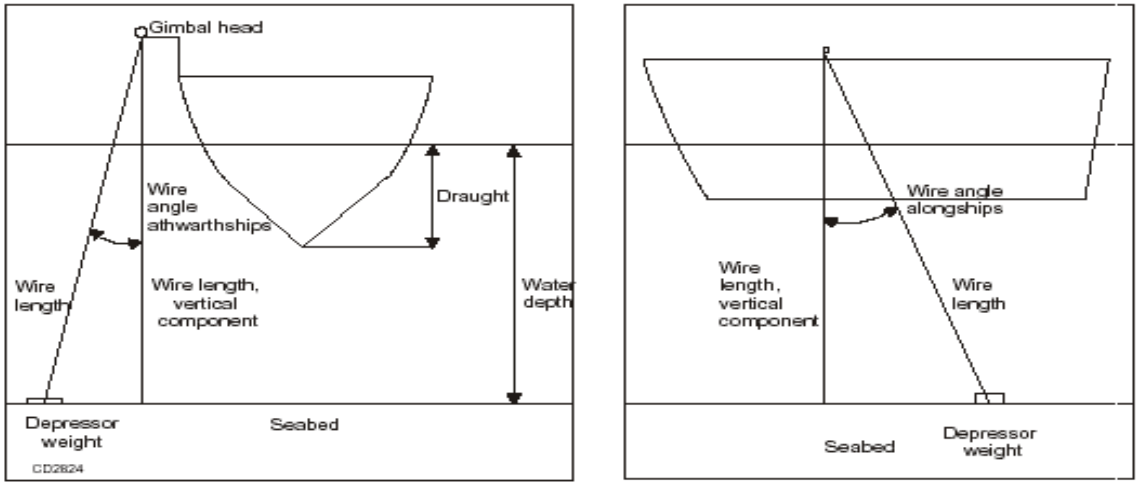



*Fig. Variación del ángulo del Taut wire.*

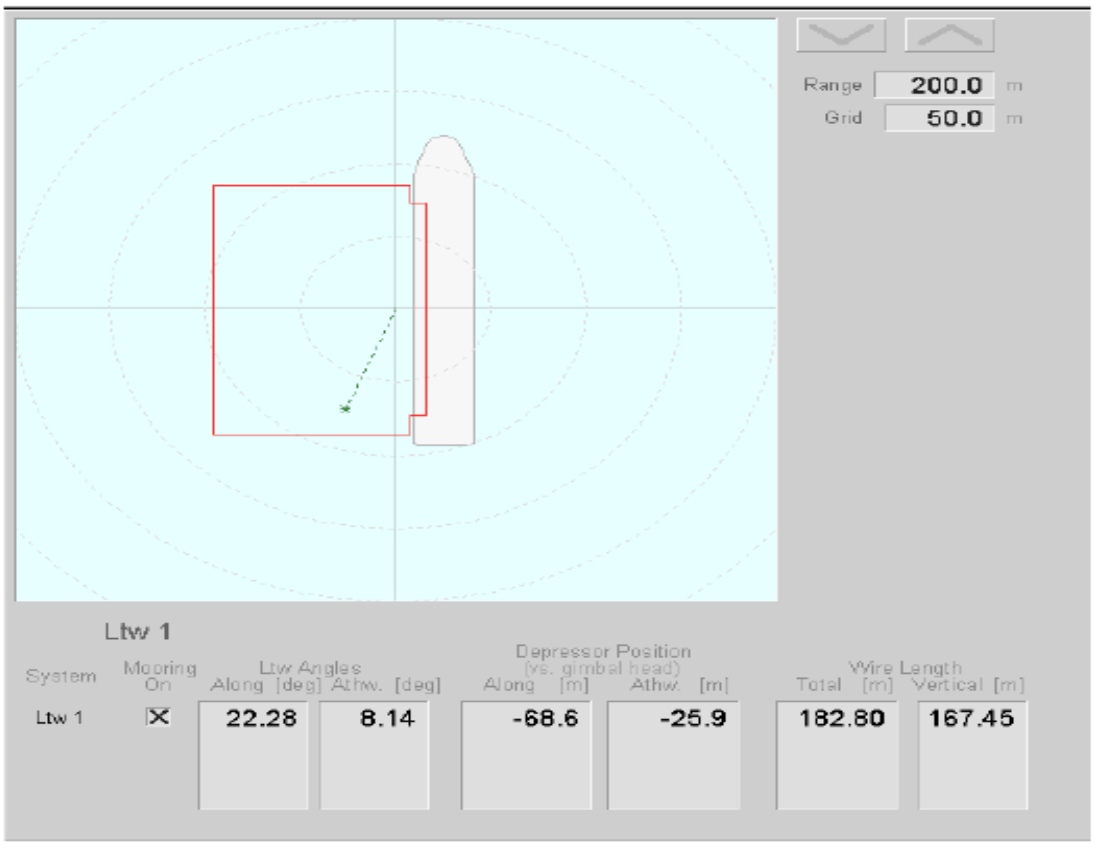



*Fig. Visualización del Taut Wire en el sistema DP.*

#### 4.2.1.3 Differential Global Positioning System (DGPS)

El DGPS se ha convertido en el sistema de referencia de posición más utilizado para las operaciones con DP. El sistema GPS del departamento de defensa (DD) de E.E.U.U. es de uso general muy amplio, con exactitudes disponibles por Servicio de posicionamiento estándar (SPS - acceso civil) de 20m (el 68% RMS o 1 sigma). Antes de mayo 2000 el DD aplicó otro grado de exactitud conocido como disponibilidad selectiva SA que redujo la exactitud del SPS a valores alrededor de 100m. Por esto 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. Esto se hace estableciendo estaciones de referencia en puntos conocidos del esferoide WGS 84 (el esferoide de trabajo del GPS). Las distancias calculadas por el receptor se comparan con las localizaciones conocidas de los satélites referidas a la estación, y una corrección de distancia PRC (Pseudo Range Correction) es enviada a cada satélite. Estas correcciones se incluyen entonces en un mensaje de telemetría y es enviado al receptor de los buques por una trasmisión de datos. El receptor aplica esas correcciones a las distancias observadas para computar una posición diferencial corregida.

En general una red DGPS proporciona gran estabilidad y exactitud y elimina el error ionosférico que se obtendría por medio de una sola estación.

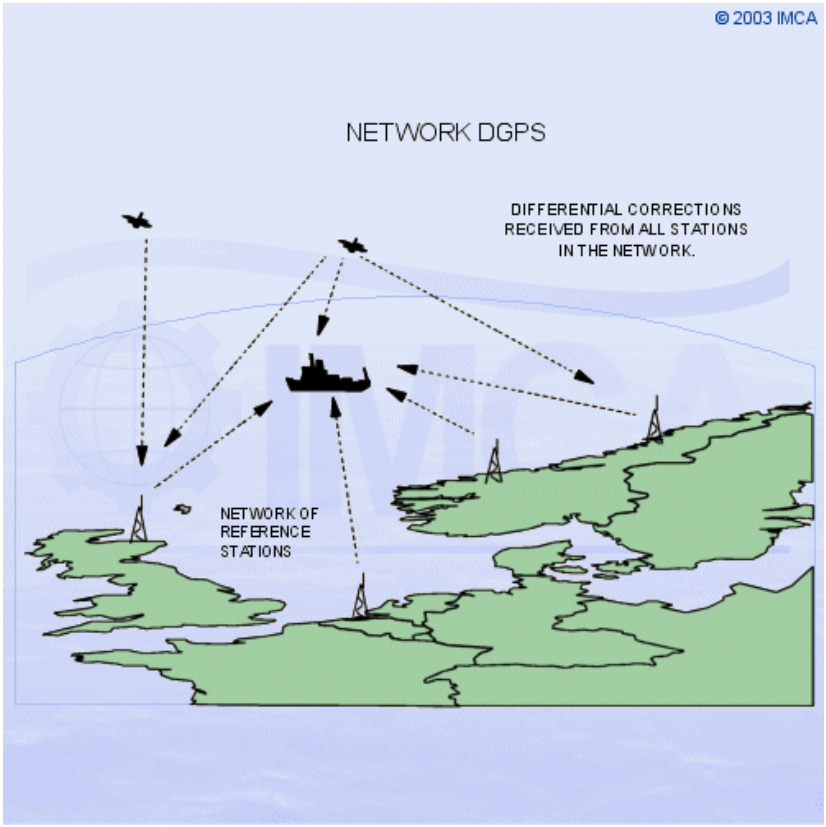



*Fig. Configuración de una red DGPS.*

La exactitud obtenida por una red DGPS está entre 1 y 3 metros dependiendo de las distancias a cada estación, las condiciones ionosféricas y la constelación de satelites disponibles.

Las estaciones de referencia y las señales emitidas trabajan bajo una gran variedad de nombres comerciales; Racal Skyfix, Pulselink, Difftech, Diffstart, Startfix, Subsea Survey, Veripos, etc. El tipo de sistema elegido depende del area de trabajo del buque. Así el tipo de conexión de trasmisión de datos presentan diferentes caracteristicas.

| RADIO BAND | RANGE |
|---|---|
| Satellite | Worldwide |
| Spotbeam | Worldwide |
| UHF | 40 Km |
| HF | 600Km |
| LF | 700Km |

*Fig. Tabla comparativa de alcances.*

*Sistema Satelitario Glonass*

En 1.996 el equivalente Ruso al sistema GPS, GLONASS comenzó a estar operativo. El sistema GLONASS tambien usa un sistema de correción de distancias PRC (Pseudo Range Correction) pero usa diferente frecuencia (FDMA en vez de CDMA) y distinto sistema geodésico PZ90 en vez del WGS84. Entre sus ventajas se encuentran su disponibilidad en latitudes superiores a los 60º .

Los sistemas combinados que usan tanto la red de 24 satélites DGPS como los satélites disponibles de GLONASS son de una gran precisión y eficacia.

*El futuro Sistema Europeo Galileo*

El futuro sistema de posicionamiento satelitario europeo GALILEO, aportará una nueva red de 30 satélites totalmente compatibles e interoperables con la red GPS y GLONASS. Después de la reunión de la WRC (World Radiocomunication Conference) para la asignación de Radiofrecuencias compatibles en Junio de 2000 el sistema GPS, GLONASS y el sistema GALILEO podrán configurar un Sistema Global de Navegación por Satélite GNSS que presumiblemente sumará 80 satélites interoperables en órbita.

Por el momento y como anticipo de este futuro sistema conjunto, durante el año 2005 empiezaron a operar los 3 satélites y la red de estaciones terrenas del programa EGNOS (Servicio Europeo de Navegación por Complemento Geoestacionario) que mejora la precisión de los datos ofrecidos por GPS y GLONASS y además aporta datos sobre los errores en las medidas y previene de trastornos en la señal del satélite.

*GPS relativo*

Algunas operaciones de DP requieren la posición con respecto a una estructura móvil.

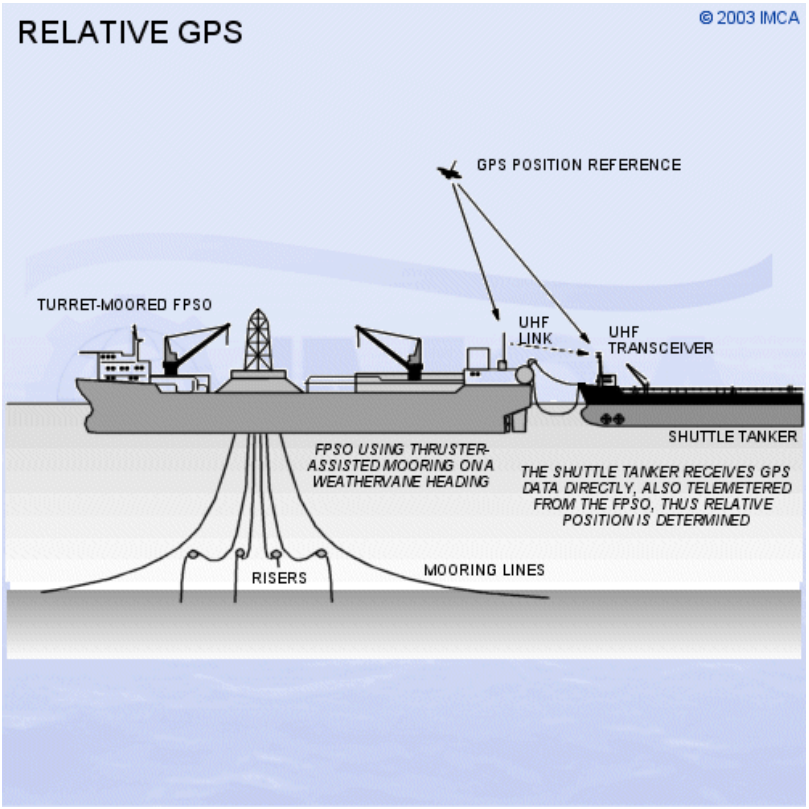



*Fig. Diagrama GPS relativo.*

Los sistemas Artemis y DARPS (Differential, Absolute and Relative Positioning System) están pensados para solucionar este problema. Para la medida de la posición relativa no se necesita la corrección diferencial del GPS, ya que el error para los dos receptores es el mismo. Un transmisor DARPS instalado en un buque envía los datos GPS referentes a su estación a la otra estacion por medio de UHF, la estación receptora recibe los datos y un ordenador calcula la demora y distancia que es introducida en el DP.

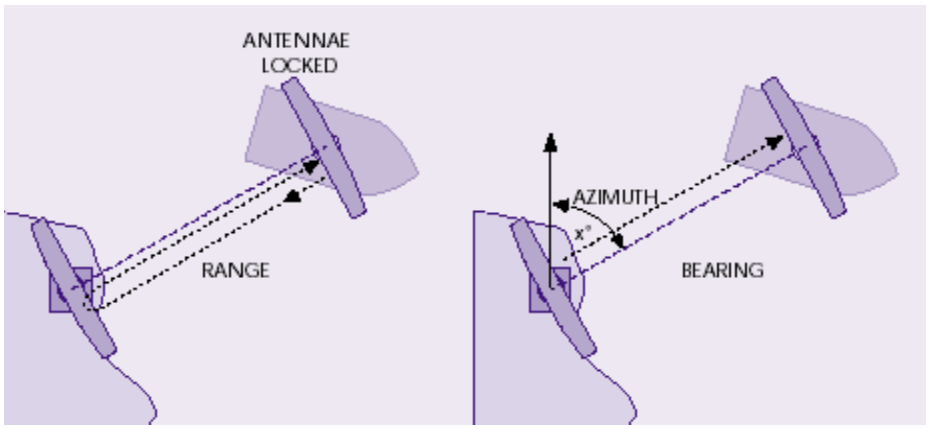



*Fig. Sistema Artemis.*

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

Dos antenas direccionales las cuales se alinean automáticamente manteniendose así hasta que los datos de demora y distancias se transmiten entre ellas atraves de una conexión de microondas.

La distancia es calculada midiendo el tiempo de retardo en el que una señal abandona la estación movil alcanza la estación fija y vuelve de nuevo a la movil.

La estación fija transmite la demora desde el Norte verdadero que su antena ha girado para apuntar hacia el centro de la antena de la estación movil. Esta medición se realiza por medio de un eje acoplado a un codificador que mide lo que la antena tiene que moverse para alinearse con la antena de la estación movil.

El sistema Artemis tiene un radio entre 10 metros y 30 Km y una covertura de horizonte de 360º alrededor de la estación fija.

La frecuencia de datos en la distancia es de entre 512 y 4069 en 0.25 sgs lo que da una exactitud de 5cms a una distancia de 3Km y de 0.15 mts en 30 Kms.

La resolución de la demora es de 0.0025 º, lo que significa un error en distancia de 0.65 mts a unos 15 Km de distancia.

El sistema Artemis opera a una frecuencia de 9.2 Ghz. y no es afectada de interferencias en caso de lluvia , niebla o bruma. Sin embargo necesita linea de haz clara de obstaculos.

### 4.2.2 Sensores

#### 4.2.2.1 Girocompás

A pesar de que el giróscopo hoy en día es un equipamiento básico a bordo de cualquier buque, a bordo de un buque DP este se encuentra duplicado o incluso triplicado dependiendo del nivel de redundancia requerido.

La función básica del girocompás en un sistema de posicionamiento dinámico es su utilización como sistema de referencia de rumbo. Los equipos modernos son fiables cien por cien y mucho más precisos que las brújulas magnéticas que fueron

utilizadas como instrumento para conocer el rumbo del buque en los comienzos de la navegación.

En el girocompás, básicamente, se 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.

Consiste en un eje de giro rápido, un rotor pesado que gira, una caja pendular que permite desplazar al rotor hacia arriba y abajo, y un Gimbal exterior que permite al eje girar en azimut.

Para un giróscopo colocado en el ecuador de la Tierra, el Gimbal se mueve con ella. Mientras tanto el eje del rotor está alineado con el eje de la Tierra, el girocompás no experimenta un par de la rotación de la Tierra. Si se pierde el alineamiento, la secuencia se reinicia nuevamente.

En un buque el sistema instalado debe ser montado con un completo set de aros (suspensión cardam) para neutralizar los movimientos de balance, cabeceo y desplazamiento de la proa del buque. Los efectos de la fricción son minimizados. Sin embargo hay que cuidar que la aceleración horizontal del buque, no produzca un falso momento sobre el péndulo.

#### 4.2.2.2 Motion Reference Unit (MRU)

La información sobre el cabeceo y balance del buque han de ser en tiempo real para trasladarla desde las posiciones fijadas por la antena del GPS o el transpondedor acústico a la posición central del buque. Este procedimiento es conocido como compensación del movimiento por GPS o APS (Sistema de Posicionamiento Acústico).

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). Viene en configuración de montaje horizontal o vertical.

El requisito para determinar con precisión los balances y cabeceos del buque es directamente proporcional a la distancia entre la antena o transpondedor y este punto central. Por ejemplo, para una antena GPS de 30 metros de altura situada en

el centro del buque, si hay un balance de 0,59, se produce un error de 0,25 metros, mientras que para un sistema acústico trabajando a 1000 metros de profundidad el error puede ser de 9 metros.

*Fig. MRUs de 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 precisión, exactitud y continuidad monitorizada de los factores medioambientales más hostiles.

Todo sistema de posicionamiento dinámico que posee sensores de viento, dispone de una realimentación de los valores de la dirección y fuerza del viento. Esta información suele utilizarse para calcular las fuerzas de viento inducidas que actúan sobre el casco y estructura del buque. Los valores de estas fuerzas son incluidas en el cálculo de la posición.

Un equipo estándar, está normalmente diseñado para operar en un rango de temperaturas entre -309 y +70 eC, y con velocidades de viento de hasta 220 km/h. La velocidad del viento es medida utilizando un tipo de caña sellada que proporciona una serie de pulsaciones en un rango proporcional a la velocidad del viento.

La dirección del viento se mide empleando un aspa de aluminio acoplada a un potenciómetro de precisión. Las variaciones en la dirección del viento producen cambios de voltaje que se presentan en formato digital y analógico, y los valores son procesados por el sistema.

*Fig. Sensor de viento mecánico.*

*Fig. Sensor de viento ultrasónico.*

*Fig. Display de un sensor de viento.*

#### 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, este cuenta con celdas de carga que envían una señal eléctrica y un software de adquisición de datos que convierte esta señal en valores numéricos, los cuales se podrán leer comúnmente en unidades de fuerza tales como Newton (N) o Libras-fuerza (Lbf).

Los dinamómetros son de gran importancia a bordo de los buques cableros pues aportan la información necesaria para conocer la tensión ejercida sobre el cable en todo momento, evitando así sobrepasar las tensiones normales de trabajo.

Están situados a proa y popa del buque para recoger los datos de tensión tanto en el tendido como en el virado del cable. La señal de las células de carga se envía a los indicadores de tensión situados en la sala de transmisiones y de ahí es distribuída a los indicadores de tensión situados a popa, proa y en el puente de gobierno.

*Fig. Dinamómetros.*

*Fig. Indicadores de los Dinamómetros situados en el Puente.*

### 4.2.3 Propulsión y elementos de gobierno

Cuando consideremos el DP como un sistema completamente integrado en el buque, es necesario incluir a todos los sistemas de propulsión como parte de este sistema. Los sistemas de propulsión incluyen las hélices y los timones principales del barco, así como todos los propulsores auxiliares instalados a bordo.

La mayoría de los buques DP, aunque no todos, son diseñados con una configuración diesel-eléctrica, por lo que la mayoría de las hélices y propulsores son accionados mediante motores eléctricos. En el pasado, esto significaba que las hélices y propulsores instalados fuesen de paso variable (CPP). Sin embargo, hoy en día esto no tiene por qué ser así, pues pueden instalarse hélices de paso fijo junto con motores eléctricos de velocidad variable (VSDs). Este tipo de instalación permite en todo momento regular la velocidad y el sentido de giro del eje, obviando por tanto la necesidad de hélices de paso controlable (CPP).

El mundo de los propulsores en sí mismo es un campo muy amplio, en el que los avances tecnológicos están a la orden del día, todos con el mismo objetivo final; la optimización de recursos y la eficiencia energética. Si a ello unimos, como hemos mencionado varias veces anteriormente, que el DP es un sistema que evoluciona a un ritmo también vertiginoso, nos encontramos con una mezcla en la que es muy difícil mantenerse completamente al día, pues continuamente se desarrollan nuevos sistemas mejorando aspectos existentes o incluso incorporando conceptos innovadores no aplicados hasta la fecha.

Lo que sí está claro, es que un buque equipado con un equipo DP, debe poseer la adecuada capacidad de propulsión y maniobra para controlar los principales movimientos del barco en el plano horizontal; guiñada, avance/retroceso y desplazamiento lateral.

Se requieren al menos 3 propulsores para poder hablar de una correcta propulsión para un sistema DP. A estos 3 hay que añadir más, obviamente, si queremos cumplir con los diferentes niveles de clase existentes, DP1, DP2, y DP3 y sus requisitos de redundancia.

Como norma general los 3 tipos de propulsores más convencionales que podemos encontrar a bordo de buques DP son;

- Hélice / timón convencional.
- Propulsores de túnel.
- Propulsores azimutales.

Sin embargo, hay ciertos buques que pueden montar sistemas Voith Schneider o incluso waterjets.

[3] Ref. B: [22][23][24][25][26]

*[22][23]* ***Captain D. J. Bray FNI.*** *"The Nautical Institute DP Operator Monogrph and Handbook".*
*[24][25]* ***Gorman-Charlton/KC Shukla. "****Dynamic Positioning Centre DP Basic/Advance Course".*
*[26]* ***ITMA.*** *"Students Reference Manual-DP Basic/Induction Course".*

# Capítulo 5. Sistema Integrado de Navegación y Tendido

El sistema de control de tendido 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 producidas y acciones correctoras a aplicar.

Algunos sistemas permiten una automatización completa del tendido, reajustando automáticamente las velocidades de cable.

Variables de entrada:

- De la navegación del buque: posición, velocidad, rumbo, profundidad, etc.
- De la maquinaria de tendido: velocidad y tensión del cable, contador de cable.
- De sumergibles: Posición, profundidad, velocidad, rumbo, profundidad de enterramiento, etc.

Variables de salida:

- Holgura instantánea, posición y longitud de cable en el touchdown, holgura en el fondo, forma de la catenaria, desviación de la ruta, KP, etc.

Los sistemas de control más utilizados hoy en día son WINFROG y MAKAILAY.

## 5.1. Sistema WinFrog

Se trata de un Software de navegación y control de datos diseñado por Fugro Pelagos.

WinFrog es un completo sistema de navegación integrado (INS). El programa básico le proporciona la posición en tiempo real y la información de navegación. Puede recoger simultáneamente datos de hasta 25 tipos de dispositivos, incluyendo otros GPSs y sondas. También permite definir múltiples vehículos, cada uno con sus propios dispositivos, los nombres, las compensaciones (offsets), trayectorias y formas. La salida de datos puede ser a través del estándar de la industria NMEA o a través de formatos personalizados. WinFrog consta de varios módulos:

- Módulo acústico de línea de base larga.
- Módulo de cálculos GPS.
- Módulo de telemetría y posicionamiento multi-vehículo.
- Módulo de Telemetría de remolque por control remoto.
- Módulo de control de cables.
- Módulo multihaz.

*Fig. Puesto de control primario.*

El sistema de "survey" WinFrog a bordo de un buque cablero consiste generalmente en un Primario (WinFrog 1) y un Secundario (WinFrog 2). Los ordenadores de navegación del WinFrog están montados en una consola en el Puente de Gobierno. El ordenador inferior es el primario y el superior es secundario. Adicionalmente existen otros computadores "smart remote" situados en el puente, CCR, sala de control de la LCE, y otro compartido entre los controles del ROV y del Arado.

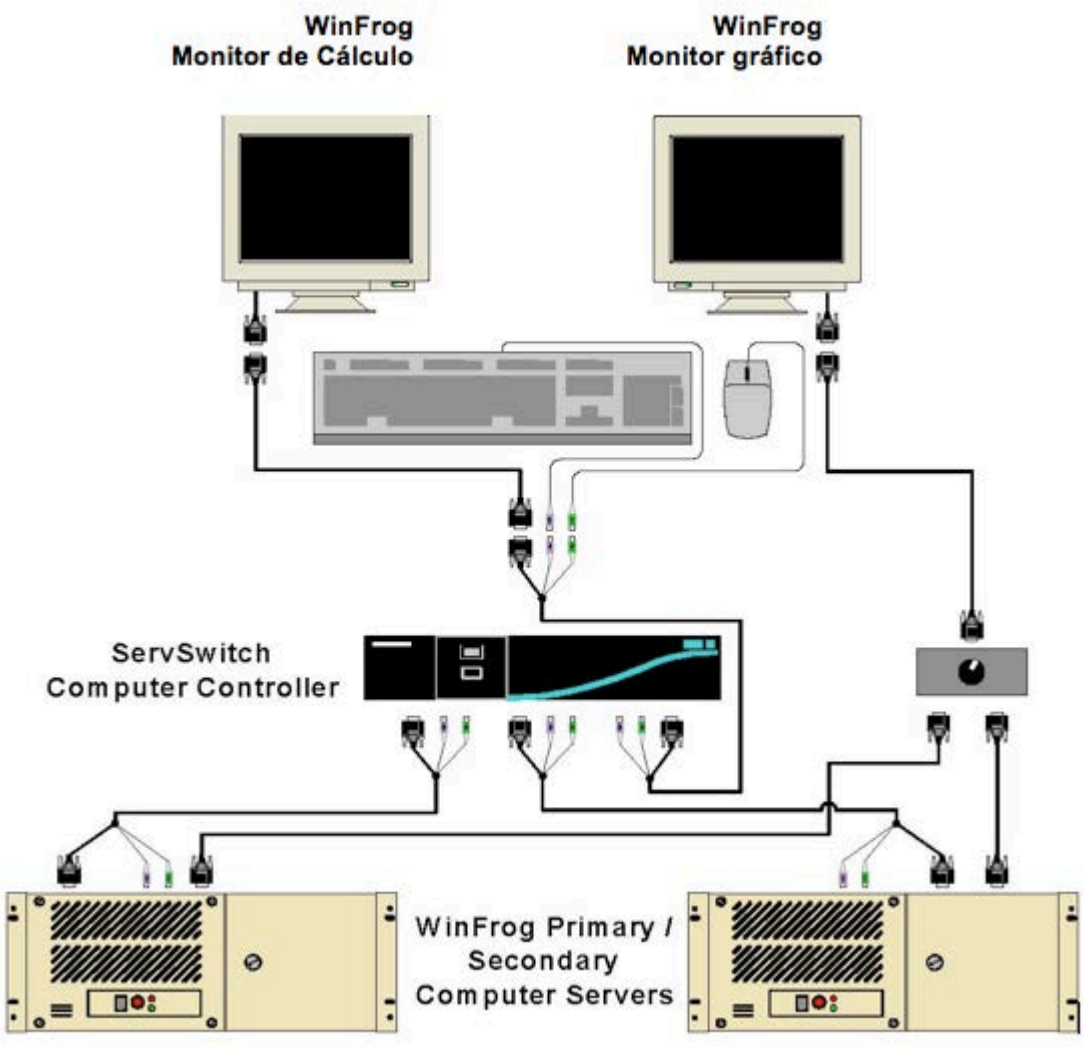



*Fig. Disposición de equipos del sistema Winfrog.*

El 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.

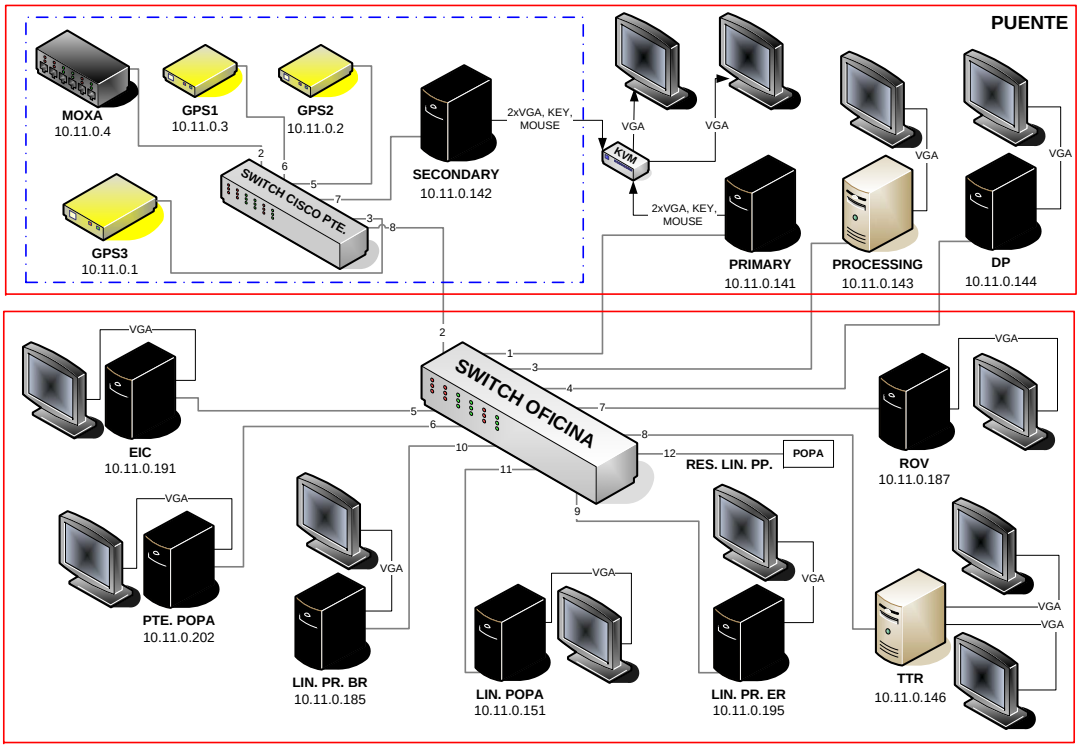



*Fig. Modelo de configuración de la red WinFrog.*

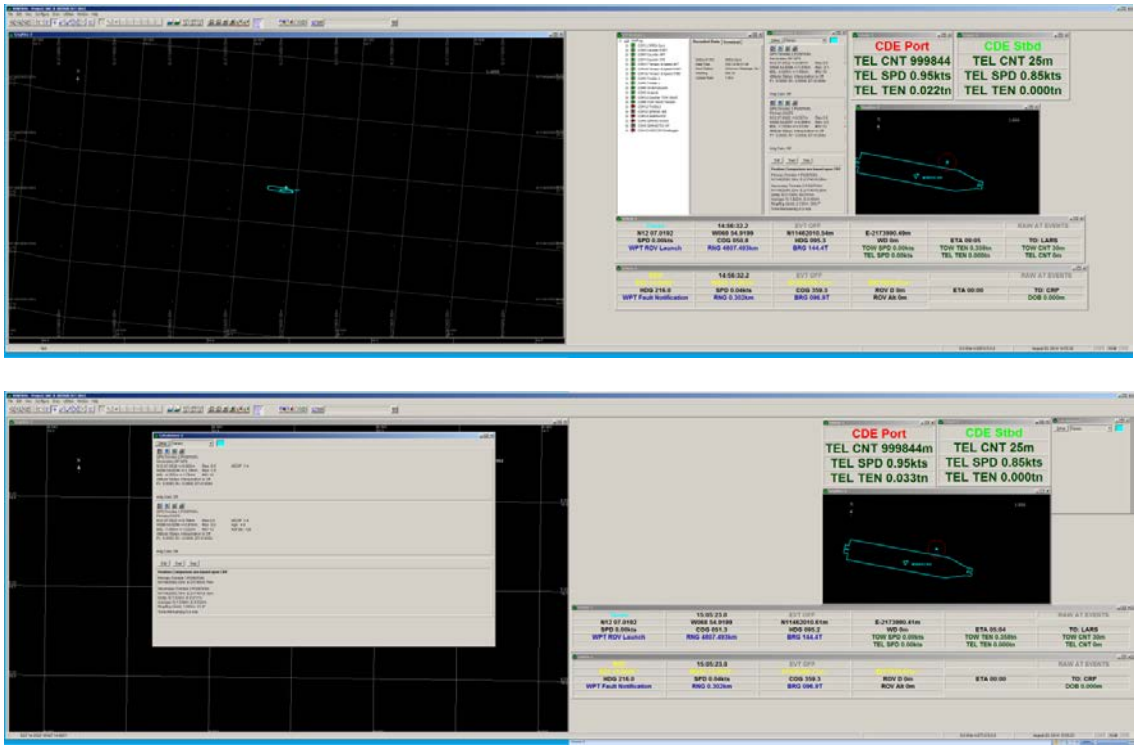



*Fig. Pantalla principal del sistema.*

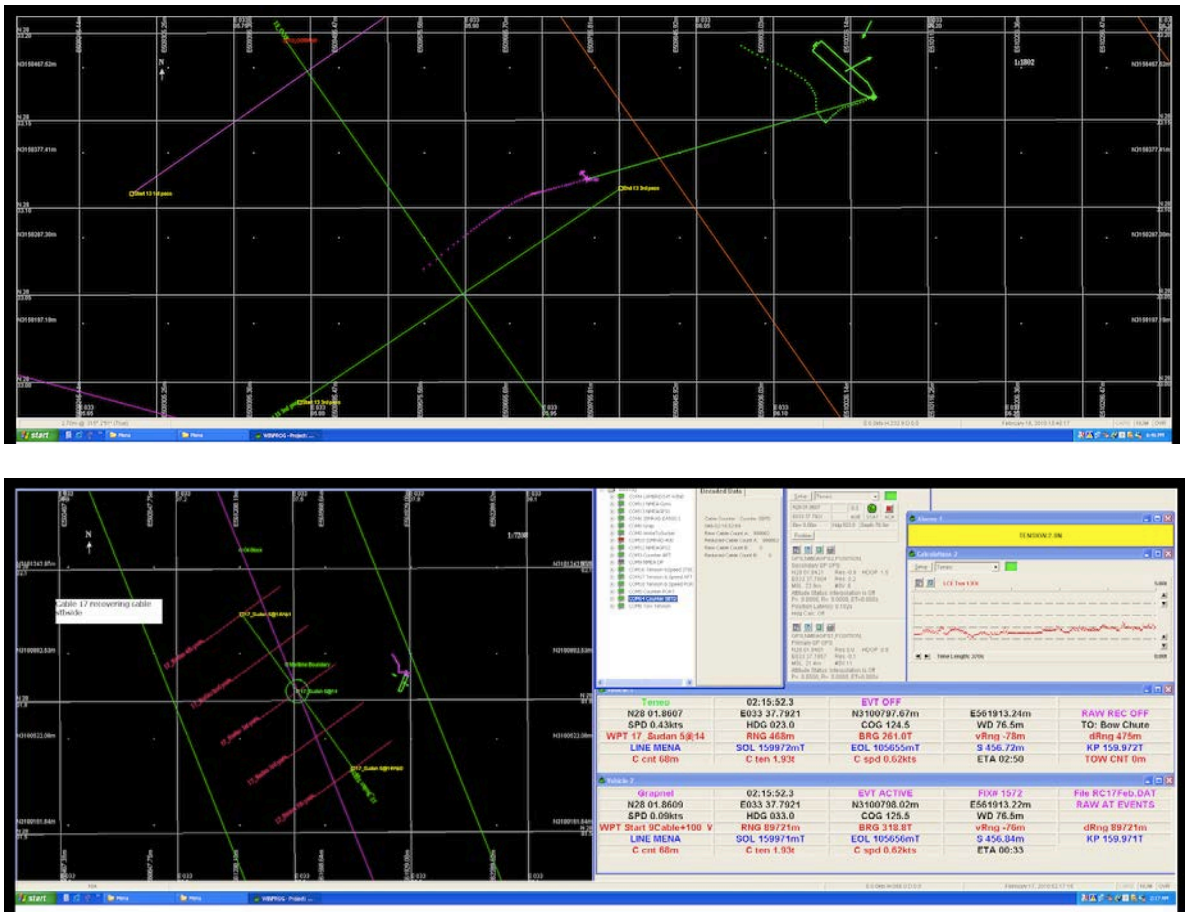


*Fig. Seguimiento de una draga con el sistema WinFrog.*

*Fig. Recepción de datos del Arado en el Winfrog.*

## 5.2. Sistema MakaiLay

Al igual que el sistema Winfrog, MakaiLay es un programa de software basado en PC, diseñado específicamente para instalar cables submarinos siguiendo el plan de ruta del cable, con un alto nivel de precisión y fiabilidad. MakaiLay es un único programa integral que se ejecuta en un PC con un sistema operativo Windows 7 y XP.

MakaiLay calcula cada minuto la forma del cable y su movimiento a través de la columna de agua mediante un cálculo detallado y meticuloso del cable 3-D.

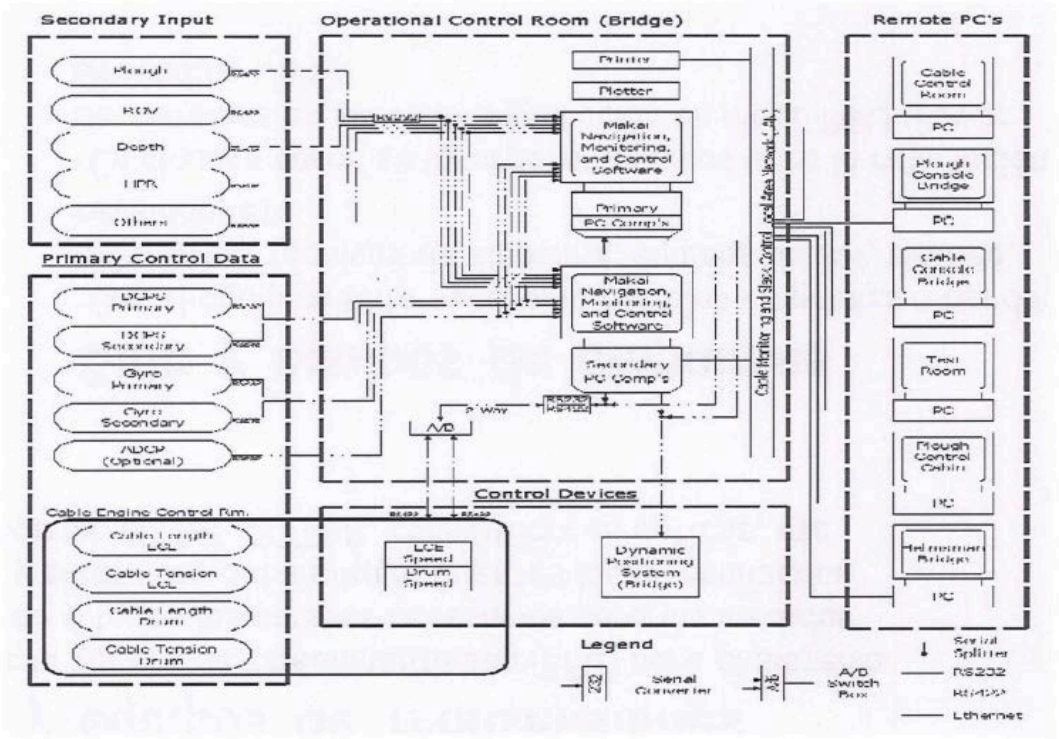



*Fig. Esquema de configuración del sistema MakaiLay.*

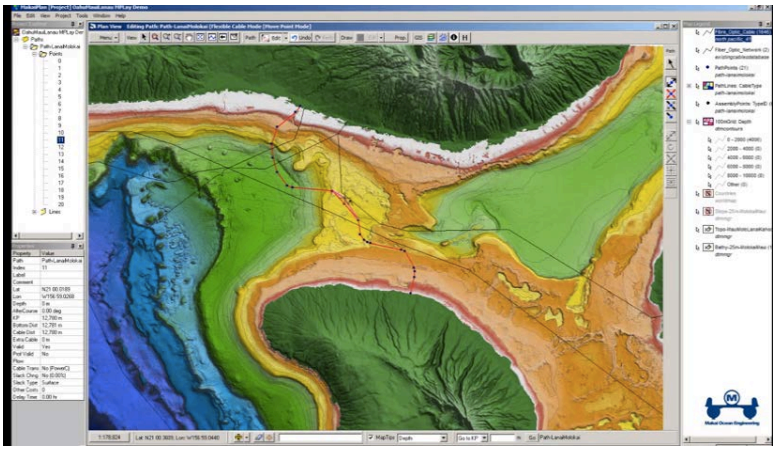


*Fig. Plan de ruta de tendido en MakaiLay.*

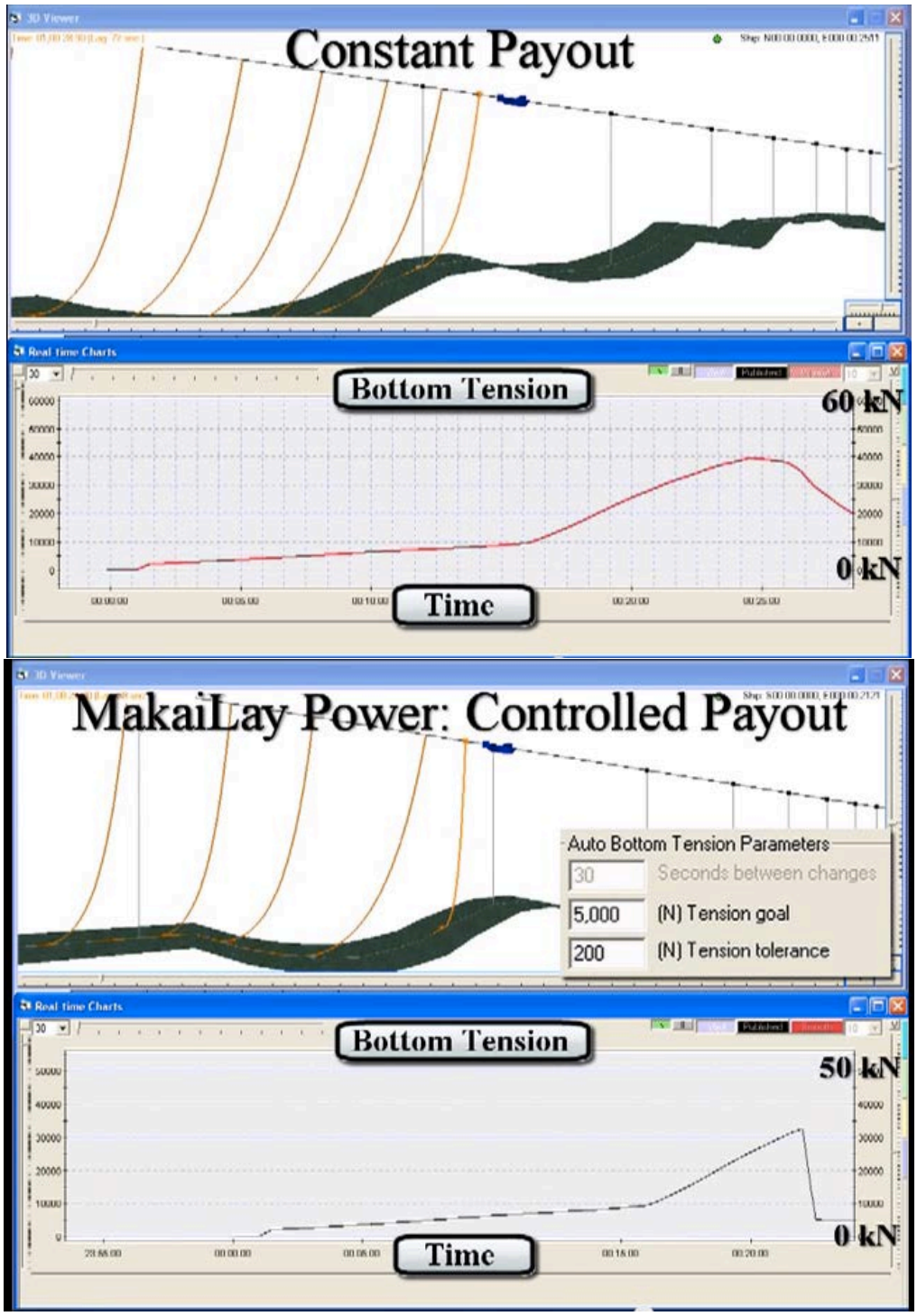



*Fig. Simulación de tendido con el sistema MakaiLay.*

Ambos sistemas tienen funciones similares en el proceso de instalación de cables submarinos:

Planificación: Funciona en un potente Sistema de Información Geográfica (SIG), y el usuario puede visualizar fácilmente y contrastar bases de datos

geográficos con precisión pudiendo crear un Plan de operación. Las rutas de cable se pueden ver fácilmente como entidades geográficas colocadas en las cartas de navegación, al igual que datos de survey, ruta u otros datos geográficos.

Simulación: En el sistema MakaiLay, el corazón del sistema es un modelo dinámico y detallado del cable en 3D, que muestra como el cable esta siendo depositado en el fondo. La simulación es extremadamente valiosa para visualizar exactamente lo que esta pasando con el cable durante cualquier instalación. Puede ser utilizado para la planificación operaciones dinámicas en el mar y para formación del personal de operaciones de cable.

Registro de datos: el sistema registra todos los datos críticos para la instalación de cables y también puede conectarse a cualquier otros datos digitales disponibles, crea un registro muy completo y detallado de la operación de cable.

Monitoreo: calcula con precisión y en tiempo real la forma del cable entre el buque y el fondo del mar y lleva un registro fiable de las condiciones de contacto con el fondo. En todo momento, el operador sabe lo que el cable está haciendo y el impacto que causan en el buque o en el cable las distintas operaciones. MakaiLay muestra gráficos detallados en 3-D de las formas actuales y pasadas del cable.

Navegación: MakaiLay puede guiar la nave a lo largo del Plan de Operación trabajando directamente con un sistema DP o aportando indicaciones al Operador. La pantalla de navegación proporciona información del buque y opcionalmente muestra cualquier otra información relacionada en el entorno geográfico.

Control: MakaiLay es muy flexible en las opciones de control de tendido de cable, rumbo del buque y velocidad. Contiene los algoritmos más potentes disponibles en la actualidad para el control de la holgura en el fondo marino, la tensión y/o la posición.

Informes: proporciona una amplia documentación a cerca del tendido del cable, tanto en registros detallados de datos como en bases de datos geográficos post-operación.

[4] Ref. B: [15][21]

*[15]* ***Curso O&M*** *"Gestión y Comercialización del cable submarino".*
*[21]* ***E. Becerra y J. A. Fraile.*** *"Sea Stallion 2".*

# Capítulo 6. Vehículos sumergibles

## Descripción

Los buques cableros utilizan para las labores de tendido y reparación dos tipos de vehículos marinos, que son el Arado y el vehículo sumergible de control remoto (ROV).

## 6.1 Arado

Los Arados de cable submarino son vehículos sumergibles remolcados por el propio buque cablero 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 para lo cual el Arado es arrastrado desde el Buque cablero a lo largo de la ruta de instalación del cable.

Incorporan sofisticados equipos de inspección y maniobra:

- Cámaras TV
- Sónar de barrido horizontal
- Posicionamiento hidroacústico
- Sensores Pitch & RolI
- Sensores de profundidad
- Gyro
- Medidores de tensión de tiro, tensión de cable telefónico y umbilical.
- Medidores de distancia y velocidad.
- Sensores de posición, etc.

El equipamiento de cubierta incluye: Chigre del cable de tiro, Chigre del umbilical, Grúa pórtico, Cabina de control y Generadores.

Actualmente se utilizan principalmente dos tipos de arados, uno con una capacidad de enterramiento de l,5m y otro que puede alcanzar los 3m. La velocidad de enterramiento suele situarse en torno al metro por segundo.

El sistema de enterramiento que utiliza es una reja que corta y eleva una capa de terreno. Una vez que el cable ha sido ubicado en la zanja la reja vuelve a su posición. El enterramiento de cable es una medida eficaz para protegerlo de los aparejos de pesca o las anclas de grandes buques.

**Submersible Towed Cable Burial Systems** — *Tyco Telecommunications (US) Inc.*

SMD Hydrovision

TYCO MD3 & TYCO MD3DF Plows

TYCO Arado Plow

TYCO Sea Plow VII

TYCO Sea Stallion 1, 2 & 3 Plows

tyco Telecommunications

***Suite 100S***
***412 Mt Kemble Ave***
***Morristown NJ 07960***
***USA***

TYCO Sea Stallion Shore End Plow

*Fig. Diferentes tipos de Arados.*

**Submersible Towed Cable Burial Systems** — *Comparative Technical Specifications*

| | Tyco SS1 | Tyco SS2 | Tyco SS3 | Tyco md3 | Tyco md3df | Tyco SP VII | Tyco Arado | Tyco SS SEP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Manufacturer** | EB | EB | EB | SMD | SMD | SMD | SMD | EB |
| **Max Burial Depth** [1] | 3 m | 3 m | 3 m | 3 m | 3 m | 1.5 m | 1.5 m | 2.0 m |
| *Operational Constraints* | | | | | | | | |
| **Rated Max Water Depth** | 1500m | 1500m | 2000m | 1500m | 1500m | 1500m | 1500m | 1000m |
| **Tow Tension at Plow** [2] | 100 tons | 100 tons | 100 tons | 80 tons | 80 tons | 40 tons | 40 tons | 50 tons |
| **Min Soil Strength** | 5 kPa | 5 kPa | 5 kPa | 5 kPa | 5 kPa | 5 kPa | 5 kPa | 5 kPa |
| **Max Side Slope (Roll)** | 30° | 30° | 30° | 30° | 30° | 20° | 20° | 30° |
| **Max Slope (For/Aft)** | 30° | 30° | 30° | 30° | 30° | 30° | 30° | 30° |
| *Dimensions* | | | | | | | | |
| **Length (Max)** | 13.8 m | 13.8 m | 13.8 m | 9.3 m | 9.3 m | 8.3 m | 9.9 m | 8.0 m |
| **Width (Max)** | 5.4 m | 5.4 m | 5.4 m | 5.0 m | 5.0 m | 4.0 m | 4.4 m | 4.2 m |
| **Height (Max)** | 5.3 m | 5.3 m | 5.3 m | 4.4 m | 4.4 m | 4.2 m | 4.5 m | 4.0 m |
| **Weight (Dry)** | 32 tons | 32 tons | 32 tons | 25 ton | 25 ton | 14.5 tons | 14.5 tons | 12 tons |
| *Cable Limitations* | | | | | | | | |
| **Min Lay Cable Bend Radius** | 1.5 m | 1.5 m | 1.5 m | 1.5 m | 1.5 m | 1.5 m | 1.5 m | 1.5 m |
| **Cable Diameter** | 15 - 150 mm | 15 - 150 mm | 15 - 150 mm | 17 - 150 mm | 17 - 150 mm | 15 - 150 mm | 17 - 150 mm | to 200 mm |
| **Repeater Max Diameter** | 350 mm | 350 mm | 350 mm | 380 mm | 380 mm | 380 mm | 380 mm | 180 mm |
| **Splice Box (In Share)** | 266 mm | 266 mm | 266 mm | 150 mm | 150 mm | 150 mm | 150 mm | 180 mm |
| *Surveillance Equipment* | | | | | | | | |
| **Camera** | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| **Lights** | 10 | 10 | 10 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| **Sonar** | Mesotech | Mesotech | Mesotech | Mesotech | Mesotech | Mesotech | Mesotech | Mesotech |
| **Pan & Tilt** | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |

**Notes:**
*1. Maximum burial depth dependant of seafloor geology. System design considers plow sinkage and share angle.*
*2. Host vessel's tow winch capacity, bollard pull & operational environment may dictate maximum pulling force*

***Data provided for comparison purposes only. Complete system specifications available upon request.***

*Fig. Tabla comparativa de especificaciones técnicas.*

*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.
- Potencia eléctrica: 1200V AC para el POD y 3300V AC para el motor eléctrico.

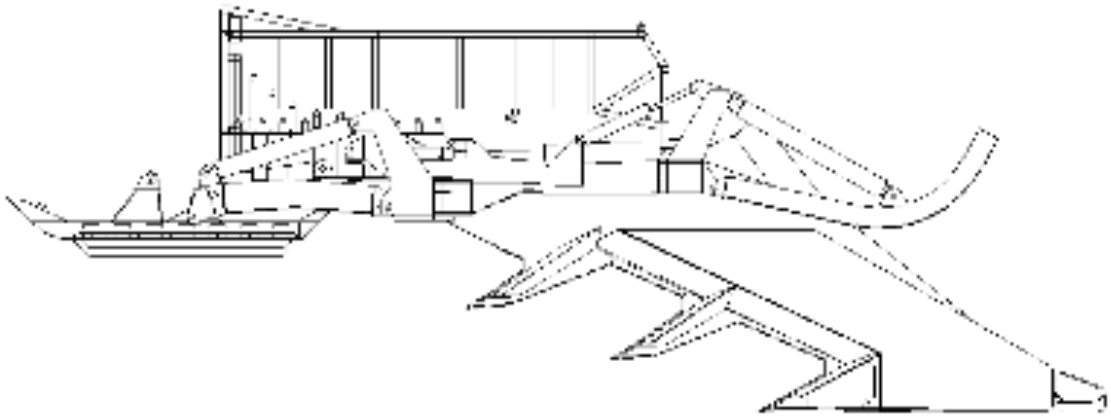


*Fig. Arado Sea Stallion II.*

Lleva una Junction Box, que hace de intermedia entre diferentes sensores. También hay tarjetas independientes para controlar funciones como la rueda contadora de cable y el interface de sensor de temperatura. Lleva también un sensor de entrada de agua y un sensor de presión. La Junction box es de acero, con tapa plástica transparente y compensada.

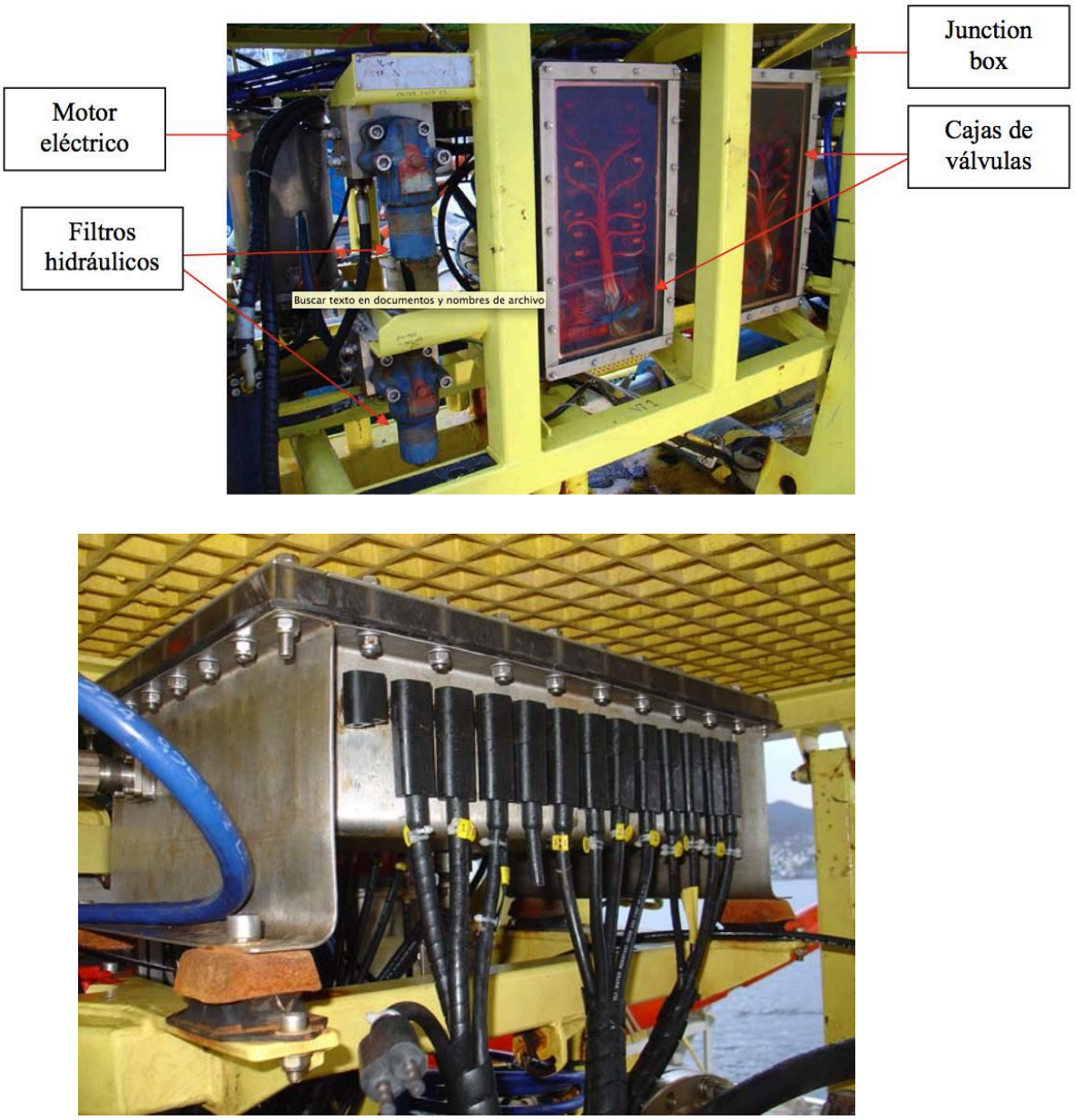



*Fig. Junction Box.*

Todos los pistones llevan sensor interno de posición. Lleva tres células de carga: Dos en las drawbar, de 80 toneladas y una en el depresor, de 5 toneladas. Las células de carga son alimentadas con 24Vdc y dan una señal entre 4-20mA.

Lleva una rueda contadora a través de un encoder. La señal de ángulo de entrada de cable es por medio de un potenciómetro giratorio similar al de SMD alimentado a 24V y da una señal de 4-20mA. Una válvula Popet permite la subida de las barras de tiro en caso de fallo de suministro eléctrico (Arado muerto).

Barras de tiro: dos barras de tiro independientes trabajan en un ángulo de 0º, correspondiente a la horizontal hasta 110º en su posición de “máximo arriba”. Cada

barra de tiro lleva dos pistones: Uno para subir o bajar y otro que la extiende o la retrae. A este sistema le llaman BCS: Bridle Compensation System. El BCS es un sistema que compensa la fuerza de tiro entre las dos drawbar. Está diseñado para permitir el direccionamiento del arado sin utilizar el sistema de dirección propietario de SMD. Las cámaras de los dos pistones BCS de las drawbar están conectadas en un circuito cerrado, con válvulas de seguridad taradas a 300bar. Cuando el tiro ejerce más fuerza en una célula de carga que en otra, la primera es extendida y el aceite de esta retrae la que tiene menos carga, compensando de esta forma la tensión entre las dos.

El BCS es un sistema pasivo y no sirve para direccionar el arado. Tan sólo reparte la fuerza del tiro entre las dos drawbar. El único control que tenemos sobre el BCS es en la extensión o contracción de ambas a la vez. En maniobras de arriado y recuperación, el BCS se extiende por completo y en modo “arando” se ponen a un 50% para permitir su libre movimiento.

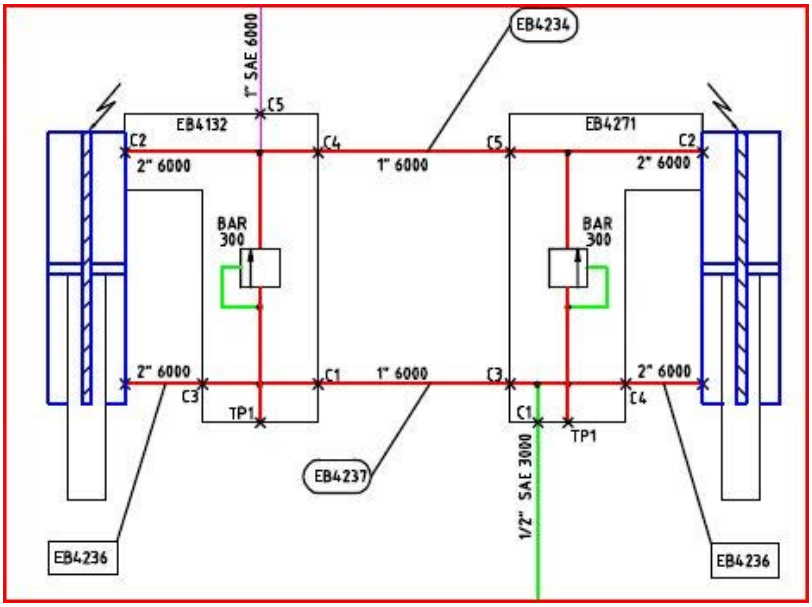



*Fig. Esquema hidráulico del Sistema BCS.*

*Fig. Sistema BCS totalmente extendido con barra de tiro bajada.*

Sistema de dirección: La dirección se efectúa con la rotación de la barra de dirección con respecto al chasis del arado. Un par de pistones hacen rotar la barra de la dirección con respecto a su centro hasta un máximo de 6º babor o estribor. Los skids están sujetos a la barra de dirección y todo ello en conjunto forma el sistema de dirección. Tienen unas aletas en su parte externa que se enganchan en el fondo, creando más fuerza direccional. El timón del control, actúa directamente sobre los pistones de la barra de dirección.

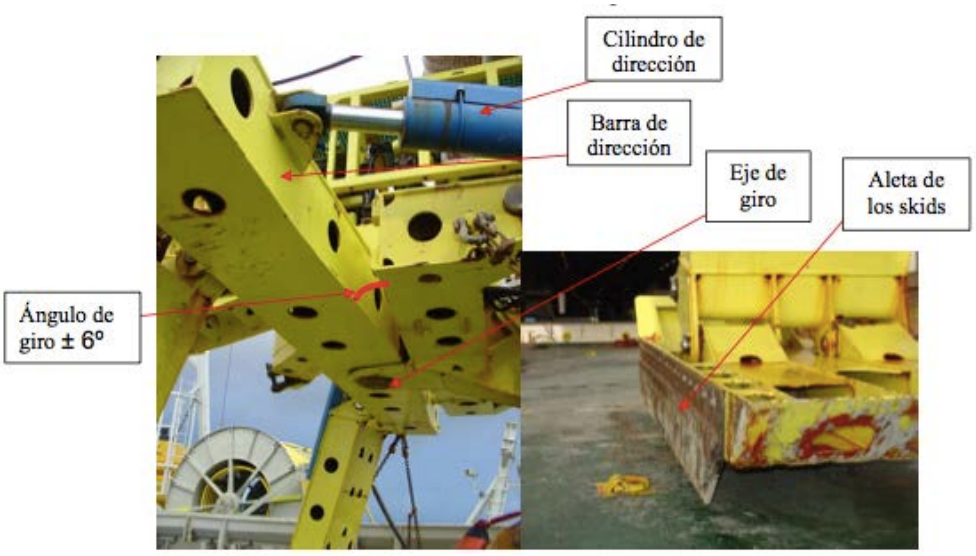



*Fig. Conjunto del sistema de dirección.*

Circuíto hidráulico: Toda la instalación hidráulica está hecha con manguera flexible. Hay principalmente dos tipos de mangueras: 100R2AT y 100R1AT. Posee mangueras de conexión rápida para la HPU portátil y algunas compensaciones. Hay otras conexiones BSP empleadas en el circuito de compensación.

Conjunto Motor-Bomba: El Motor de cuatro polos, 3F 18.5KW 3,3KV, está dentro de un cilindro compensado con aceite y soporta una temperatura máxima en operación de 70ºC. La bomba hidráulica de piñones está acoplada al motor eléctrico.

Tanque de aceite: Es autocompensado, está formado por anillos de goma entre dos platos de acero inoxidable, con libertad para extenderse o contraerse. Está guiado por unas pistas de deslizamiento dentro de la jaula de la HPU.

*Fig. Conjunto Motor-Bomba.*

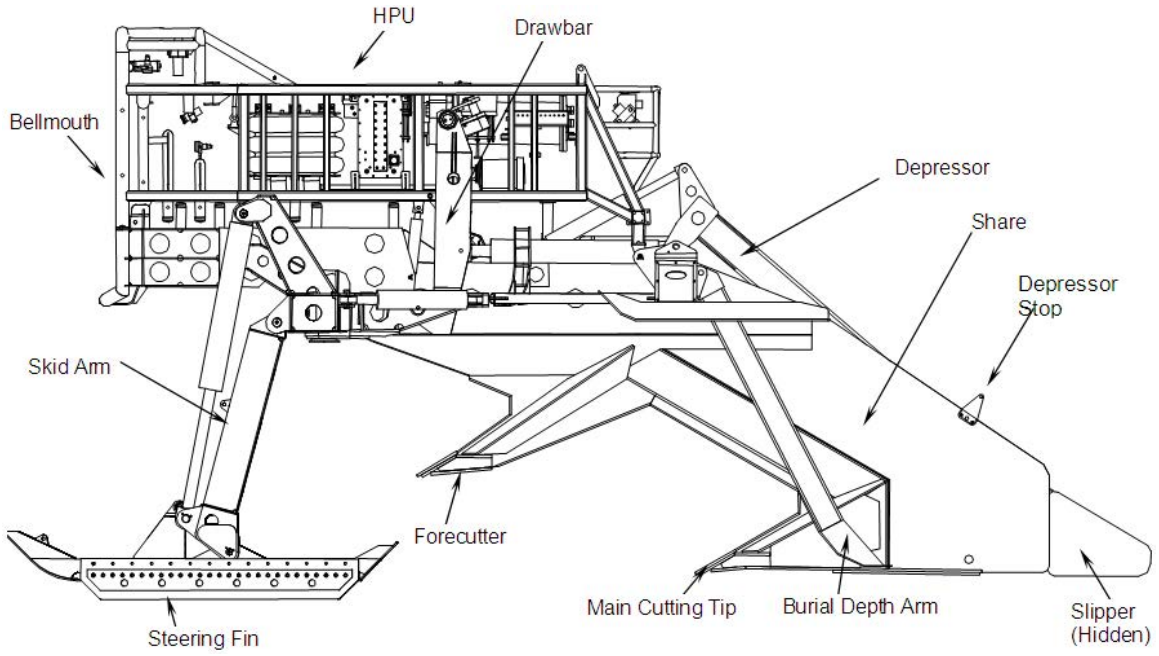
*Fig. Conjunto HPU.*

El nivel de aceite nos lo da un transductor lineal magnético de tipo varilla. Lleva dos tanques de válvulas conectados con mangueras flexibles a las líneas de presión y retorno. Los tanques de válvulas están formados por conexiones eléctricas, válvulas hidráulicas y una conexión electrónica de maniobra. Existe un puerto de

conexión electrónica para comprobar las tensiones de funcionamiento y dispone de puntos de medida de presión. La presión absoluta la mide un transductor instalado en la línea de presión en el piano de válvulas. Otro transductor de presión mide la presión en el acumulador.

La válvula de by-pass del circuito está permanentemente arrancada una vez encendido el POD manteniendo una presión de 7 bares continuos. Al realizar cualquier movimiento, corta la alimentación elimina el by-pass del circuito y alimenta la línea de presión.

*Fig. Maniobras de arriado de Arados Sea Stallion y SMD MD3.*



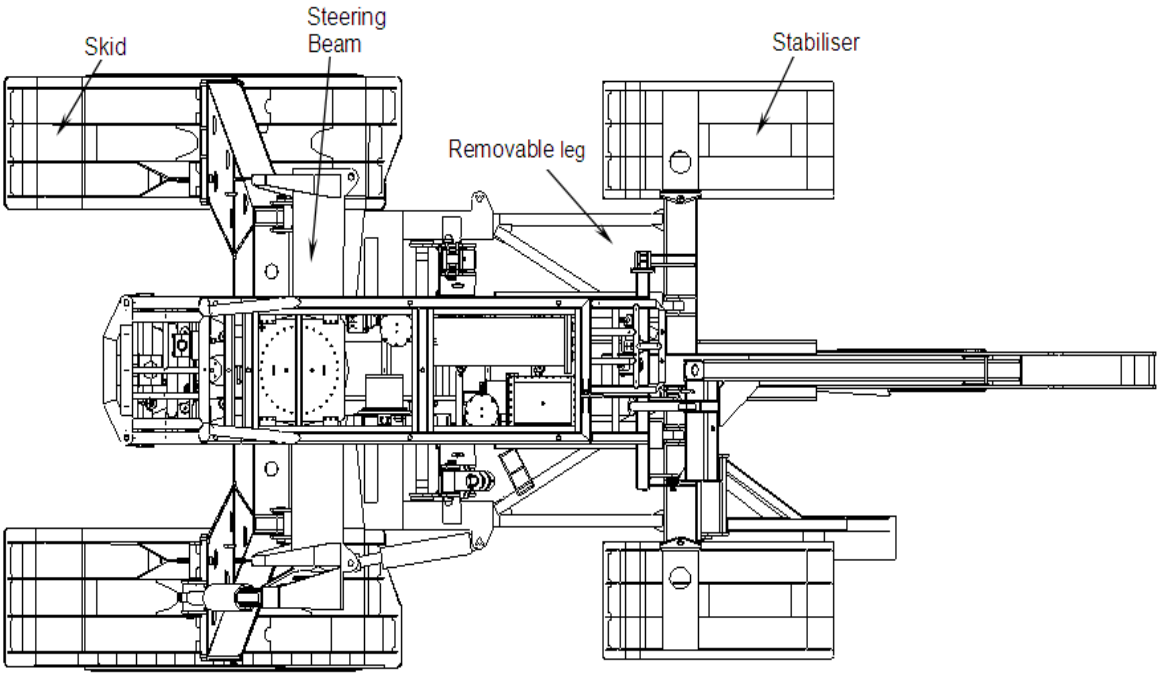




*Fig. Diagrama de un Arado.*

Componentes del Sistema, Pesos y Dimensiones

Longitud máxima..... 8.0 metros

Anchura maxima..... 4.2 metros

Altura máxima..... 4.0 metros

Peso..... 12 toneladas

Parámetros Operacionales

Resistencia minima..... 5 kPa

Radio mínimo de curvatura del cable tendido..... 5 meters

Diámetro máximo de los repetidores..... 180 mm

Tamaño máximo de los empalmes..... 180 mm

Diámetro del cable..... hasta 200 mm

Pendiente máxima lateral del fondo marino..... 30°

Máxima pendiente de bajada / subida del fondo marino..... 30°

Cámaras del equipo de inspección ..... 2

Luces..... 4

Sónar..... Mesotech

*Fig. Arado Sea Stallion para trabajos en playas (Shore Ends).*

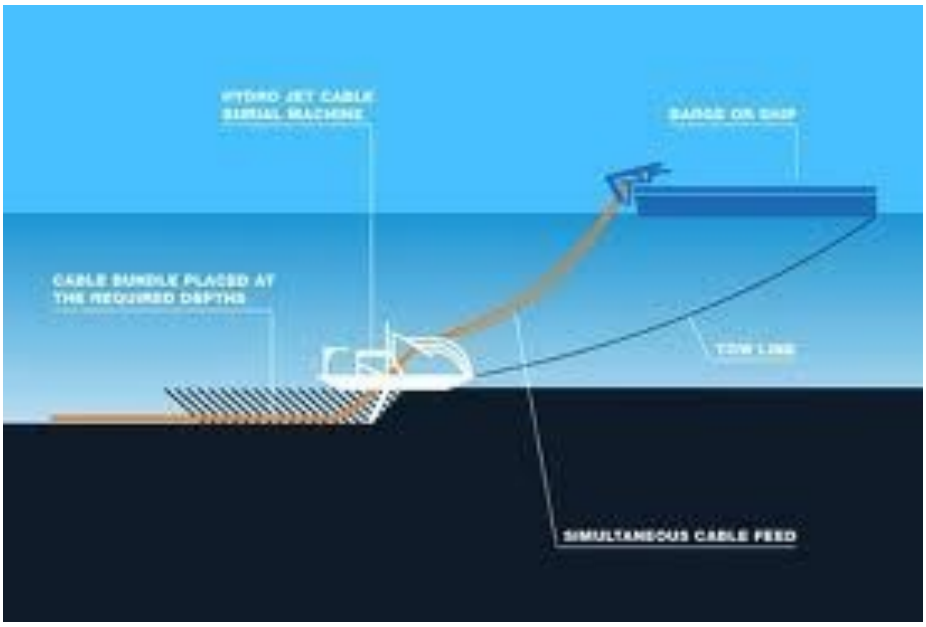



*Fig. Diagrama de operación con Arado.*

***Procedimientos de Operación***

Estos procedimientos son los aconsejados como guía, pero acciones más precisas o distintas dependerán de las circunstancias concretas de viento y mar, naturaleza del fondo, profundidad, etc.

Un paso previo a la operación es la elaboración de un plan de tendido. En dicho plan se indicarán los puntos donde se está previsto el arriado y recuperación del Arado, así como la profundidad de enterramiento requerida a lo largo de la ruta a instalar. Para la elaboración de dicho plan se tendrán en cuenta los límites operacionales del Arado.

En general el Arado se arriará siempre que se confirme que tanto la herramienta como el buque están operativos, y que el tiempo y condiciones de la mar lo permiten. La decisión de la recuperación o arriado del arado está sujeta a la capacidad del Buque para mantener la posición con seguridad durante las maniobras, y también a su capacidad para seguir durante el enterramiento la ruta prevista.

El Oficial de Maniobras recibe la confirmación de que todos los puestos están operativos, e informa al Jefe de Operaciones y Capitán. El Jefe de Operaciones darán la orden de proceder a la maniobra de arriado.

**Carga del cable de comunicaciones:** La maniobra de carga de cable la dirigirá el Jefe de sumergibles y se ejecutará como sigue: Se aboza el cable y se coge tensión

sobre la boza, posteriormente se cargar el cable en el arado y una vez este cargado se cogerá tensión con la máquina lineal y se cortará la boza.

**Maniobra de arriado del Arado:** El procedimiento de arriado se efectuará como sigue:

1. Se quitan las trincas del Arado.
2. El Jefe de sumergibles informa al Puente de la velocidad de Buque requerida, la cual se controla con precisión mediante el DP.
3. Se eleva el Arado de la cubierta y se abate hacia afuera con la grúa.
4. Arriar lentamente, largando el umbilical necesario, hasta que el arado esté posado en el fondo.
5. La máquina lineal arriará cable a la tensión indicada.
6. El control del Arado avisará 10 m antes de tocar fondo.
7. El control del Arado notifica inmediatamente cuando toca fondo.
8. Se procede a establecer la catenaria, siguiendo las instrucciones del control del Arado.
9. El control del Arado notifica cuando está establecida la catenaria y establece la tensión de lascado del cable de tiro que estime conveniente.

**Instalación del cable:**

1. Se procederá a renglón seguido al enterramiento del cable manteniendo siempre que sea posible la profundidad de enterramiento requerida.
2. La máquina lineal mantendrá la tensión en el cable de comunicaciones indicada por el control de tendido.
3. El Buque mantendrá una velocidad de enterramiento de acuerdo a la orografía de la ruta de enterramiento, coordinada con el control del Arado.

**Instalación de repetidores:**

1. El Puente de tendido informa 200 m antes de la llegada del repetidor/caja de empalme a la Máquina Lineal.

2. El Control de cubierta informa del número de vueltas de cable en el tanque que faltan para la salida del repetidor/caja empalme.
3. El Control de la máquina lineal indicará cuando está posado el repetidor/caja de empalme por la rueda contadora.
4. El Puente de tendido indicará la tensión del cable de comunicaciones a mantener.
5. El control del arado informará del paso del repetidor/caja de empalme por el arado.

**Maniobra de recuperación del Arado**

Antes de la recuperación se comprobará que el Buque está en posición y listo para comenzar la maniobra.

El Arado se recuperará en la posición acordada, no obstante también se recuperará si ocurriesen alguna de las siguientes circunstancias: mal tiempo, desgaste de las placas de sacrificio del Arado, cruce de tuberías o cables en servicio, avería en el cable de comunicaciones o en el propio Arado, etc.

1. El buque debe iniciar marcha atrás hacia el Arado, recuperando el cable de comunicaciones así como de umbilical y tiro. Es necesario mantener suficiente tensión en el umbilical y en el cable de tiro para asegurar su adecuada posición. Jefe de sumergibles indicará al Buque la velocidad requerida, el control del Arado la tensión a mantener en el cable de tiro y el Control de cables la tensión a mantener en el cable de comunicaciones.
2. El Buque quedará sobre el Arado, sin sobrepasarlo, manteniendo posición.
3. El control del Arado avisará cuando está la barra de tiro en vertical. El Jefe de sumergibles dará la orden de izar el arado y se procederá a recuperar el cable de tiro, mientras el Buque avanza avante a la velocidad indicada por el Jefe de sumergibles.
4. La máquina lineal mantendrá la tensión indicada por el Control de cables, arriando o recuperando cable según proceda.

5. El Jefe de sumergibles avisará al tiro para detener la recuperación y sacar la grúa, normalmente tan pronto como sea posible.
6. Abrir la roldana de popa.
7. Recuperar el Arado hasta la cubierta.
8. Descargar el cable de comunicación:

   8.1.Abozar el cable de comunicaciones y tomar tensión sobre la boza.

   8.2.Descargar el cables de comunicaciones del Arado.

   8.3.Tomar tensión con la máquina lineal y cortar la boza.
9. El Buque permanece en posición hasta que el Jefe de Operaciones dé la orden de reanudar la operación.

**Maniobra de vuelo del Arado**

1. Seguir los pasos de la maniobra de recuperación del arado hasta que el mismo se encuentre 25 a 30 m sobre el fondo.
2. El Control de cables indicará la tensión de tendido a la máquina lineal, de modo que el Buque avance tendiendo cable con la holgura necesaria.
3. El Buque avanzará hasta la posición requerida y se procederá a arriar el Arado tal como se indica en el procedimiento de arriado.

***Procedimientos de emergencia***

**Rotura del cable de remolque:** Es muy extraño que falle el cable de remolque, pero en caso de que esto ocurra el Buque permanecerá en posición hasta que se decidan las maniobras a realizar.

**Obstrucciones en la ruta:** Si el Arado encuentra cualquier obstrucción en la ruta que impida su avance, se recuperará el arado siempre que no sea factible volarlo sobre la obstrucción.

**Arado atrapado:** En caso de que el Arado quede atrapado debe maniobrarse con el Buque de modo que quede liberado y pueda recuperarse. No se debe recuperar el Arado hasta que este no esté totalmente libre.

*Fig. Control del Arado.*

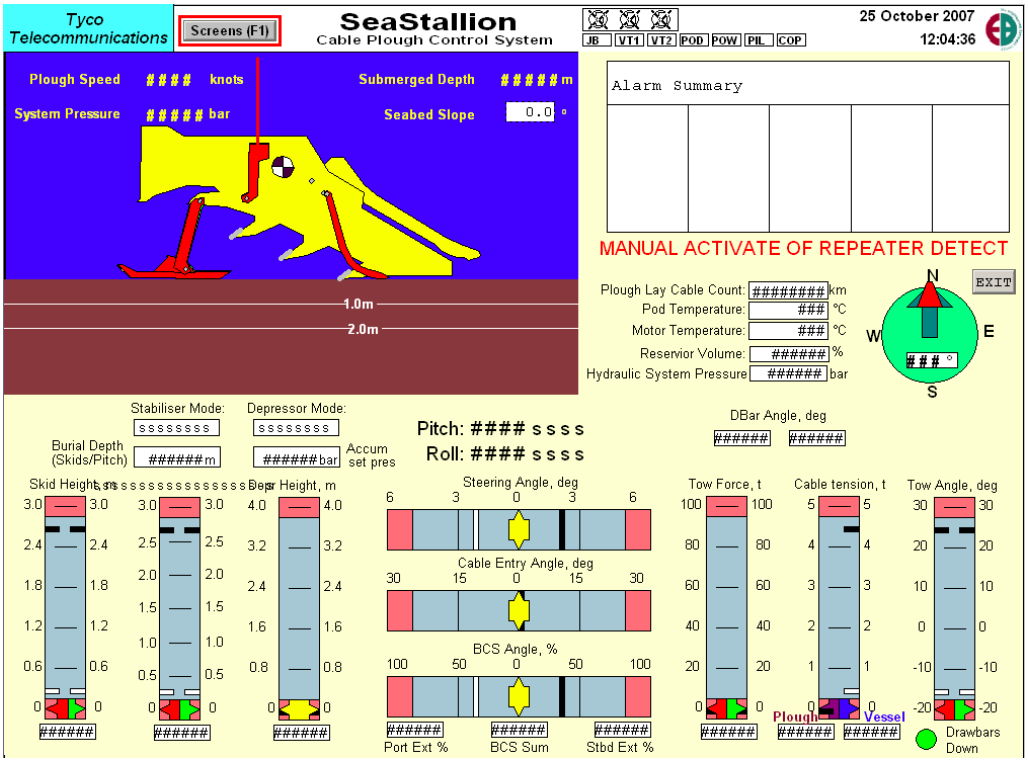



*Fig. Pantalla principal del programa de control.*

## 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 el ROV se suele utilizar para llevar a cabo inspecciones y enterramiento del cable después de finalizar la instalación de cable submarino. También son de gran utilidad en operaciones de reparación de cables, ya que pueden localizar una avería, cortar el cable en el punto deseado, etc. Se pueden operar desde un buque cablero o desde otro barco.

El ROV puede ser operado en modo volador o con orugas tractoras, con las mismas funciones y capacidades operativas en ambos modos. En las zonas donde la profundidad de enterramiento no es suficiente o es inexistente el ROV tiene capacidad para enterrar el cable.

Al igual que los arados, son equipos de alta tecnología, que incorporan sofisticados sistemas tales como:

- Sónar
- Cámaras TV
- Localizador de cable
- Manipuladores con herramientas de
- mordaza y corte
- Herramientas de enterramiento de
- cable (jetting)
- Sistemas auto-track, auto-heading, etc.

*Fig. Maniobra de arriado del ROV.*

*Fig. ROV.*

Entre los ROVs hay una gran diversidad de tipos y fabricantes, con prestaciones muy dispares, sobre todo en cuanto a la capacidad de enterramiento de cable. Como norma general, para que un ROV pueda ofrecer buenas prestaciones de enterramiento debería cumplir los siguientes requisitos:

- Mínimo de entre 150 y 200 kW de potencia.
- Sistema eficiente de propulsión, preferiblemente mediante orugas en los trabajos de enterramiento.
- Diseño adecuado de la herramienta de enterramiento.
- Buena maniobrabilidad y capacidad de seguimiento del cable (autotrack).

*Características principales*

• Dimensiones Totales:

- Largo 3,2 m.
- Alto 2.9 m.
- Ancho con orugas 3,4 m.

• Peso con orugas: 8.500 Kg.

• Profundidad maxima: 2500 m.

• Profundidad de enterramiento: hasta 1.5 m.

• Peso con orugas en el agua: 750 Kg.

• 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.

• Sistemas de localización de cable activo y pasivo con indicación de profundidad de enterramiento.

• Cámaras de TV + 3 unidades de elevación y giro.

• Sonar rotatorio: 1 x Kongsberg Simrad MS900 OA.

• Sónar de barrido horizontal (Simrad Mesotech) + HPR (Nautronix).

• Herramientas: Herramienta de enterramiento por agua (jetting) HP y LP.

• Manipuladores CONAN 2 x 7 funciones, alcance 1,8m, capacidad de levantamiento 170 Kg.

• Grippers y Cutters: 1 WebTool HCV100 cable cutter y 1 Slingsby TA17 Cable Gripper 15-100mm.

• Luces: 12 x 150W.

*Fig. Control del ROV.*

***Procedimientos de operación***

A continuación se describen los procesos de movilización y/o desmovilización de los ROV's, así como las diferentes operaciones, tales como inspecciones, corte y recuperación de cables, enterramientos y protecciones de cables, etc. utilizando los medios de visión y manipulación a control remoto de los ROVs.

**Movilizacion y embarque del ROV**

El Gerente de Servicios de Cable comunica la movilización al Buque y al ROV, así como a todo el personal involucrado en la operación.

Antes de proceder a la carga de las unidades del ROV, el Jefe del Equipo comunicará al capataz de estibadores/gruístas o responsable de la empresa de grúas, la lista de pesos de las unidades y el orden de carga.

**Trabajos diarios a bordo**

Durante el tránsito a la zona de operaciones, el Jefe de Misión convoca una reunión de coordinación, en la cual se expone el plan de actuación para realizar los trabajos requeridos.

El informe diario de los trabajos realizados con el vehículo durante el transcurso del día se incluye en el informe diario del Jefe de Misión. Este informe diario (Daily Report) se enviará a las oficinas centrales.

**Inspección**

Una vez llegado el buque a la zona a inspeccionar, el Jefe del ROV, realiza todos los preparativos para el lanzamiento del vehículo, comprobará que las condiciones meteorológicas actuales y la previsión de las próximas horas es buena para la realización de los trabajos.

Si la inspección se va a realizar sobre un cable submarino, y este tuviese la posibilidad de inyectársele un tono de electroding, se solicitará de las estaciones terminales que sea inyectado dicho tono, con el fin de facilitar la localización del cable en el caso en que estuviese enterrado, o no pudiese ser localizado visualmente por las cámaras del ROV.

El buque se posicionará sobre el punto elegido para la inmersión del ROV y este será lanzado a agua. Una vez realizadas las verificaciones correspondientes se realizará la inmersión hasta tocar fondo. Si procediese, se vuelven a realizar las comprobaciones pertinentes del ROV (chequeos, calibrados, rumbos, profundidades, etc. ) y posteriormente se comenzará la inspección de la zona deseada.

Durante la inspección se grabarán en vídeo, al menos, los detalles, zonas o eventos que se consideren necesarios para la obtención de los datos requeridos en la inspección.

Finalizada este se recuperará el ROV, colocándose este sobre su sitio en la cubierta del buque.

**Corte de un cable con el ROV**

Para esta operación el ROV será lanzado al agua siguiendo los procedimientos habituales. Una vez el ROV en el fondo, localizará el cable y buscará un punto adecuado para la realización del corte del cable.

El corte del cable ser realizará haciendo uso de las herramientas necesarias para realizar esta operación. Antes del corte del cable consultará con el Capitán y Jefe de Misión si todo está OK. Para realizar el corte. Una vez realizado el corte, comprobará, bien con las cámaras o manipulando con los brazos que el cable ha sido totalmente cortado, quedando libre sus dos extremos, y si no fuese necesario realizar ninguna otra operación en el fondo, el ROV será recuperado e izado a la cubierta del buque.

**Recuperación de un cable**

Generalmente, cuando va a recuperarse un cable submarino, este se encuentra cortado en el fondo, bien por una operación realizada anteriormente por el ROV o como consecuencia de una avería que haya producido el corte del cable. En cualquier caso se deberá comprobar, dentro de lo posible, que el extremo del cable a recuperar se encuentra libre.

En el ROV, antes de su inmersión, se habrán colocado las estachas o cabos sintéticos necesarios para la recuperación del cable, ya sea un extremo del mismo o los dos.

El ROV se posicionará frente al cable y haciendo uso de las herramientas correspondientes que lleve a bordo, realizará las operaciones necesarias para conseguir que el cable quede perfectamente sujeto a las estachas o cabos sintéticos que posteriormente servirá para su recuperación desde el buque.

Terminadas las operaciones de enganche, se comenzará la maniobra de separación del cable con el fin de que se vayan soltando la/las estachas y a continuación proceder a recuperar el ROV. Posteriormente se recuperarán las estachas que traerán consigo el cable. Una vez el cable en cubierta se abozará convenientemente y se recuperará de forma habitual con las máquinas lineales del buque.

**Enterramiento y protección de un cable**

El ROV será lanzado al agua siguiendo los procedimientos habituales. Una vez en el fondo localizará el cable y comenzará las operaciones de enterramiento, generalmente usando las herramientas de “jetting” que lleva a bordo o cualquier otra que se hubiese diseñado para estos menesteres.

La dirección de enterramiento y protección del cable, así como las zonas adecuadas para realizarlo dependerán de las circunstancias habidas en cada momento, tales como corrientes, pendientes del terreno, fondos rocosos o blandos, zonas de suspensiones del cable, etc.

Dependiendo del tipo de fondo de la zona de realizarán las pasadas necesarias a fin de enterrar y proteger el cable de la mejor forma posible.

Una vez terminadas las operaciones y si no hubiese que realizar ningún otro trabajo en el fondo se recuperará el ROV sobre la cubierta del buque.

**Desmovilizacion y desembarque del ROV**

Una vez terminados los trabajos requeridos y durante el tránsito de regreso, el Jefe de Misión comunicará al Gerente de Ingeniería, Flota y Logística, si ello fuera necesario, el desembarco del ROV. Esta operación no es habitual, puesto que los buques cableros suelen contar a bordo con un equipo de sumergibles permanente.

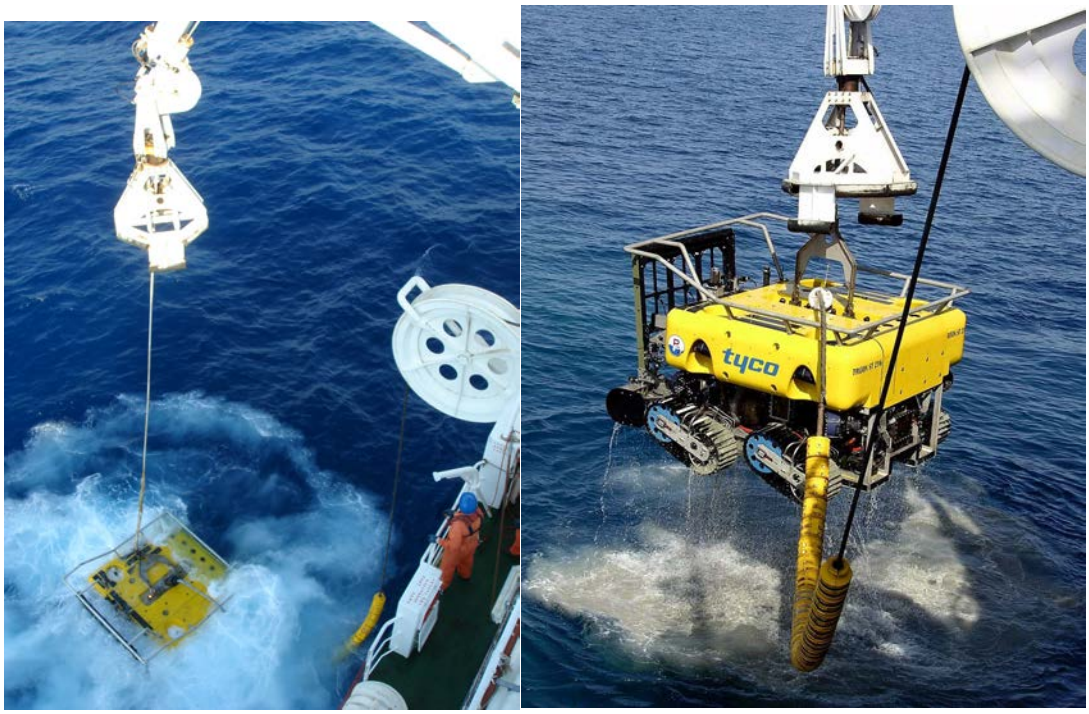



*Fig. Maniobra de arriado e izado del ROV.*

**Post-Lay Inspection and Burial (PLIB)**

La operación de inspección y enterramiento post tendido (PLIB) se realiza en las siguientes áreas:

- Empalmes iniciales y finales.
- BUs enterradas.
- Saltos del arado: cruces con cables o tuberías en servicio, recuperaciones no planeadas, etc.
- Zonas de bajo enterramiento del arado, si se considera que es posible mejorar el resultado.

Normalmente se realiza:

- Una pasada de inspección inicial.
- Hasta tres pasadas de jetting, en función del tipo de terreno.
- Una pasada de inspección final.

El resultado de la operación depende en gran medida de los equipos utilizados.

*Fig. ROV realizando operaciones PLIB.*

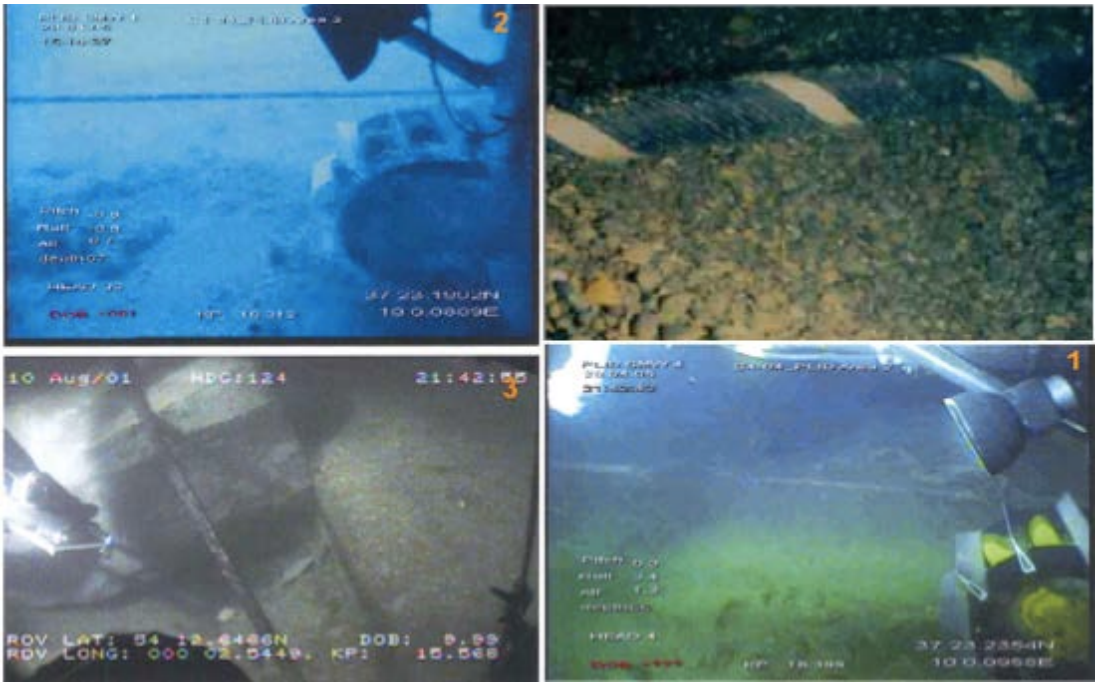


*Fig. Imagen de operaciones PLIB.*

[5] Ref. B: [4][6][15][21]

*[4]* ***TyCOM.*** *"Instalación con arado de cables submarinos".*
*[6]* ***TyCOM.*** *"Operaciones con ROVs".*
*[15]* ***Curso de O&M*** *"Gestión y Comercialización del cable submarino".*
*[21]* ***E. Becerra y J. A. Fraile****. "Sea Stallion 2".*

## Capítulo 7. Elementos de sistemas de cables submarinos

Los cables submarinos telefónicos antiguos operaban sobre el principio de múltiplex por división de frecuencia, empleando un solo cable coaxial como medio de transmisión. Para ello, la parte baja de la banda de frecuencia se utilizaba para transmitir en una dirección y la parte alta para la dirección opuesta.

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.

Las altas presiones que ha de soportar el cable, hasta de 600 atmósferas, obligan a que tenga un dieléctrico sólido (polietileno) que impide su deformación. Asimismo los circuitos de los repetidores e igualadores han de situarse en un recipiente completamente estanco (carcasa), que impida la entrada del agua. La práctica inaccesibilidad de la planta sumergida conduce a que la fiabilidad de la misma sea altísima. Ello obliga a que los circuitos de los repetidores sean lo más sencillo posible que a su vez hace que los equipos de transmisión sean más complejos que los habituales para suplir esa simplicidad, entonces las condiciones de fabricación y materiales han de ser especiales.

La planta sumergida suele tener gran longitud por lo que es costosa. Se realiza, por ello, un mejor aprovechamiento del cable mediante un equipo múltiplex especial para lograr un mejor rendimiento, en circuitos, de la banda de frecuencias transmitida.

Asimismo, es necesaria una alta tensión de alimentación ya que, al estar los repetidores inaccesibles, han de alimentarse en serie: los filtros separadores de energía han de ser especiales y es necesaria una protección contra sobre tensiones.

La necesidad de utilizar buques cableros para el tendido, nos lleva a proteger el cable contra la tracción y a diseñar la carcasa de los repetidores, y la distribución de los circuitos dentro de los mismos, de una manera muy especial.

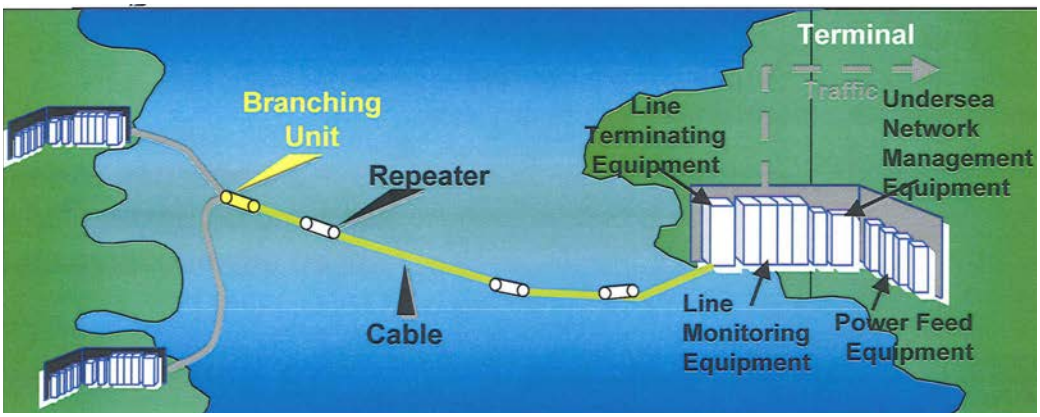



*Fig. Diagrama de un sistema de cable submarino.*

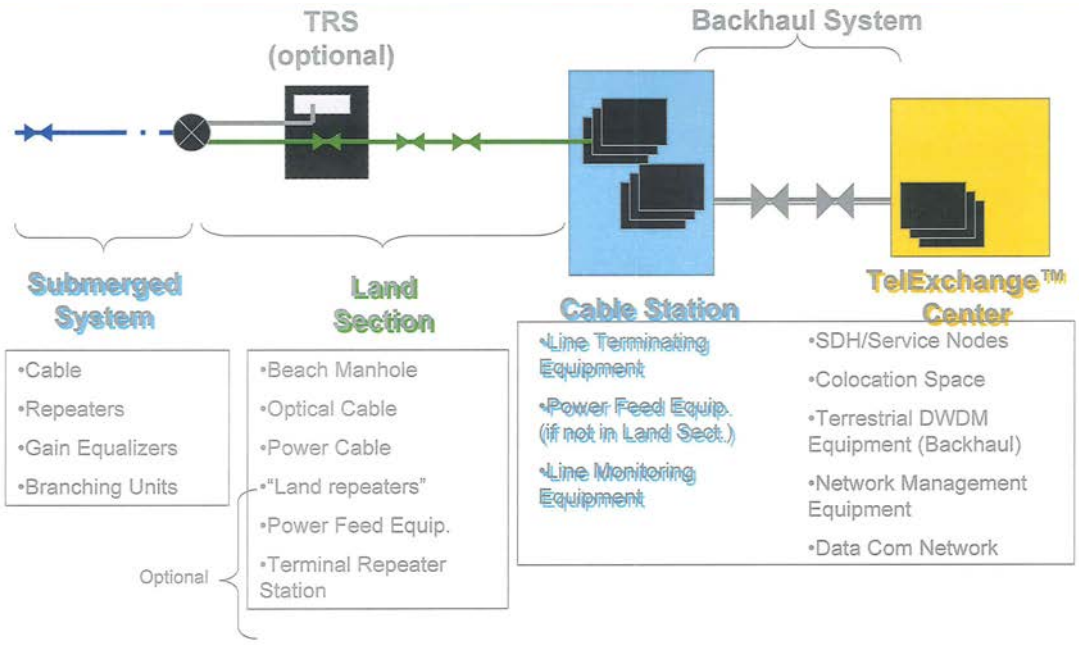



*Fig. Partes de un sistemas de cable submarino*

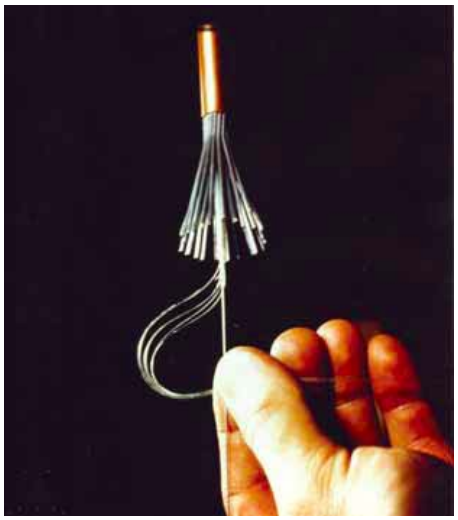


*Fig. Sección del TAT-8, el primer cable trans-oceánico de fibra óptica.*

### 7.1 Cable submarino de fibra óptica

Un cable submarino se apoya en el fondo marino del océano y se utiliza para transportar energía eléctrica o transmitir comunicaciones. En el caso de los cables modernos de telecomunicaciones el elemento portador es de fibra óptica, con multiplexación en longitud de onda (WDMA) que utiliza la propiedad de la diferente propagación de las ondas de luz en una fibra óptica para emplear diferentes lambdas y aumentar la capacidad de transporte.

En el fondo del mar la presión a la que está sometido el cable puede ser superior a 500 Kg/cm2, por lo que hay que dotar a este cable de la suficiente protección mecánica, que le permita resistir su propio peso cuando es tendido, así como soportar los rigores del medio en que está tendido. Partiendo de estas premisas, se han desarrollado diferentes tipos de cable, que son los más adecuados para su utilización en cada una de las zonas de la ruta.

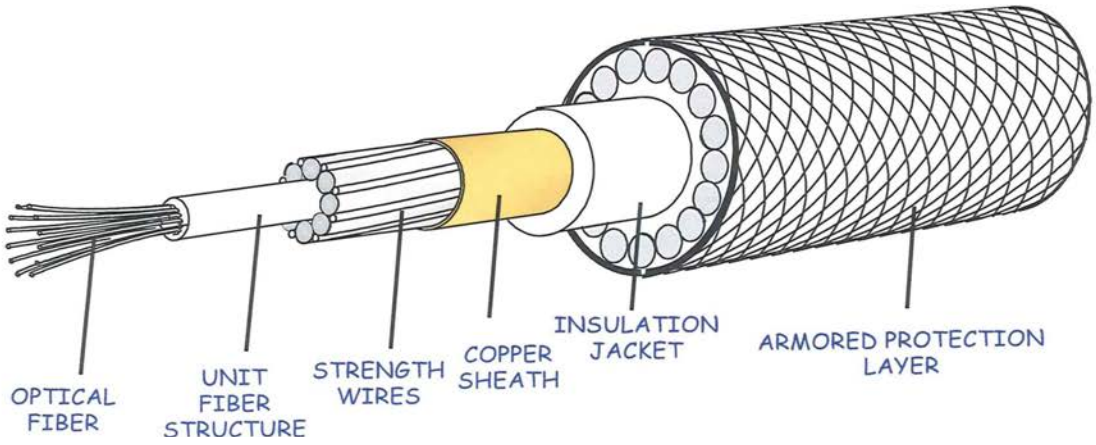



*Fig. Estructura de un cable de fibra óptica submarino.*

*Fig. Composición de un cable de fibra óptica.*

El proceso general de construcción del cable es muy similar en todos los casos, no obstante hay cables terrestres que se han recubierto de plástico para "marinizarlos" siendo un total fracaso comercial. Cada suministrador tiene un método propio de construcción, que lógicamente es secreto.

Los mayores fabricantes e integradores que hay a nivel mundial son los siguientes:

- Tyco Telecommunications. (Tyco). Hitachi.

- Alcatel Submarine Networks. (ASN).

Las fibras ópticas se suelen adquirir de empresas especializadas, Lucent, Sumitomo, etc. La fibra bobinada se envía a la factoría donde se introduce en un núcleo, habitualmente de plástico, denominado "groove" donde las fibras tienen un ligerísima holgura (uno por mil). La holgura de la fibra sirve para evitar su rotura cuando el cable se somete a tracción. Las fibras se empalman de bobina a bobina por fusión.

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

Sobre el soporte plástico se envuelven una capa de plástico y se inyecta un gel para evitar el ingreso de agua. El objeto del gel es bloquear la entrada de agua en caso de rotura del cable, la presión existente en el fondo hace que el agua se infiltre en el cable.

A mayor profundidad, mayor presión y por tanto mas cantidad de agua entra en el cable. La continua exposición de la fibra al agua puede provocar una atenuación no deseada debida a la absorción de iones OH-.

Sobre el núcleo de plástico se envuelven una o dos capas de hilos de acero de alta resistencia que sirven para darle al cable su consistencia mecánica a la tracción principalmente.

Sobre la capa de hilos de acero se envuelve una cinta de cobre soldada que tiene por objeto llevar la telealimentación de los regeneradores. En sistemas con repetidores las corrientes que circulan por el cable pueden ser del orden 0,5-1,5 Amp. En los sistemas sin repetidores se utiliza para inyectar una corriente pequeña para monitorizar si hay derivaciones del cable al agua.

El conductor de cobre se recubre con una capa de polietileno que sirve para garantizar la estanqueidad del cable y evitar las derivaciones de la corriente de telealimentación.

El grosor de la capa de polietileno dependerá del voltaje máximo que vaya a soportar el cable, en caso de sistemas con telealimentación se podría llegar a los 12 Kv. El diámetro final habitual es de 17-21mm. Los cables sin repetidores tienen una capa de polietileno mas fina, pueden soportar los 0,5 Kv. 10-12 mm de diámetro final son los habituales.

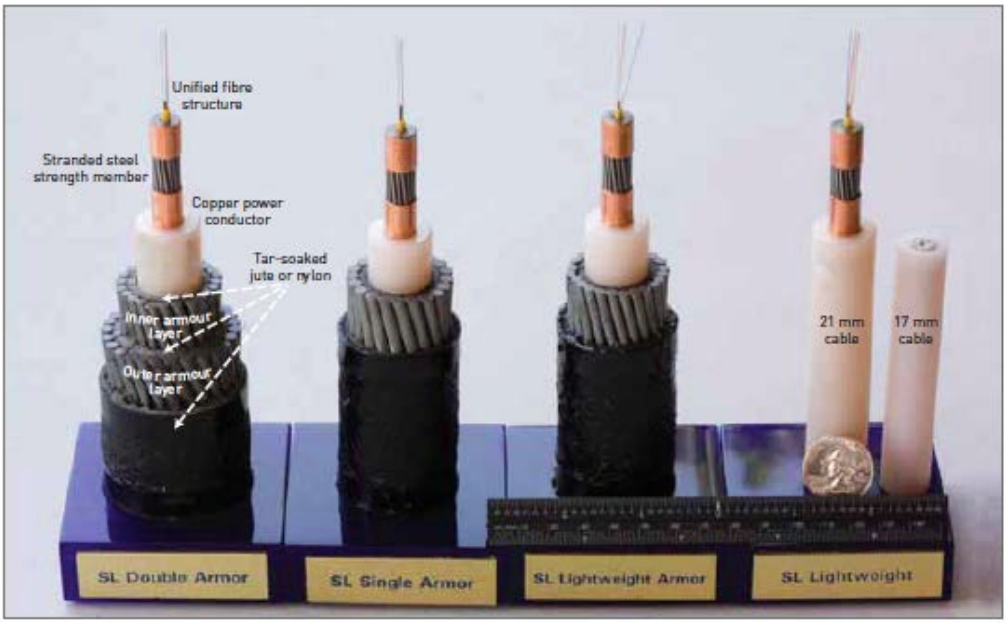



*Fig. Diferentes tipos de cable.*

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.

Dependiendo de las dimensiones de este cable surgen los diferentes tipos de cable ligero, y cada uno de ellos genera una familia de cables con protección exterior que se denominan armados.

Las dos "familias" de cables mas habituales son:

Cables de 17 mm.

Cables de 21 mm.

Ambos modelos parten de la estructura básica de la figura y dependiendo del valor del diámetro externo pertenecerán a un grupo u otro.

También existen otros grupos de cable como:

Cables de 13 mm.

Cables de 14 mm.

Estos modelos son propios de los sistemas de cable sin repetidores.

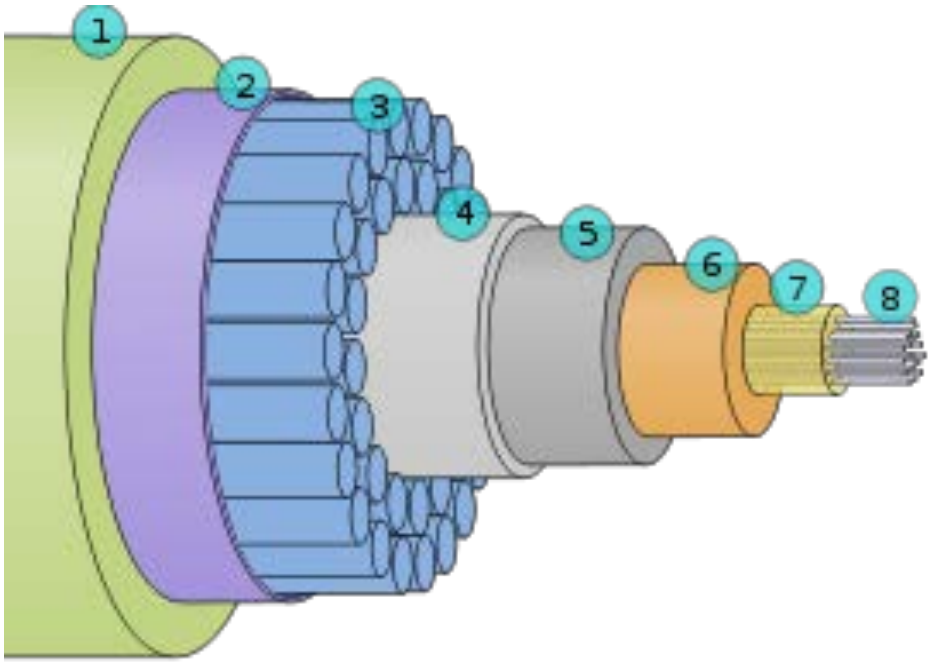



*Fig. Sección de un cable submarino de comunicaciones.*

1 - Polietileno

2 - Cinta de Mylar

3 - Cable de alambres de acero

4 - Aluminio, como barrera frente al agua

5 - Policarbonato

6 - Tubo de cobre o aluminio

7 - Gel de Petróleo

8 - Fibras ópticas

**Características que debe tener un buen cable.**

- Alta resistencia a la compresión debido a la profundidad: Cables con mal diseño del núcleo han presentado pérdidas en las fibras al sumergirse a mas de 3000m.
- Facilidad de manejo: Cables con un mal diseño en el trenzado de los hilos de acero del núcleo se vuelven "muelles".

- Alta resistencia a la abrasión: Cables con polietileno defectuoso se "rallan" al pasar por los diferentes equipos del buque de tendido.
- Alta resistencia al ingreso de agua: Hay cables en los que agua ha invadido decenas de kms.
- Alta resistencia a la tracción: Hay cables que se rompen al recuperarlos por no soportar las condiciones operativas de los barcos de reparación.

*Características mecánicas de los cables.*

- NPTS: Nominal Permanente Tensile Strength (kN)
- NOTS: Nominal Operating Tensile Strength (kN)
- NTTS: Nominal Transient Tensile Strength (kN)
- UTS: Ultimate Tensile Strength (kN)
- FITS: Fiber Intantaneous Break Tensile Strength (kN)

*Características físicas de los cables.*

- Weight in air (Peso en el aire) (kN/km)
- Weight in wáter (Peso en el agua) (kN/km)
- Outer diameter (Diámetro exterior) (mm)
- Minimum bending radius (Radio mínimo de curvatura) (mm)
- Stowage factor (Factor de estiba) ($m^3$/km)
- Hydrodinamic constant (Constante hidrodinámica) (º - knots)
- Cable modulus (Módulo del cable) (km)

La necesidad de una protección exterior se deduce fácilmente si pensamos que el cable estará posado en el fondo del mar. Por tanto, en las zonas de aguas poco profundas, hasta los 1000 metros, los movimientos del agua producidos por las mareas y corrientes submarinas pueden arrastrar el cable con el consiguiente riesgo de abrasión.

Adicionalmente, en estas zonas el riesgo de ser enganchado por los aparejos de los barcos pesqueros de arrastre es un factor decisivo que justifica el uso de armaduras que soporten esfuerzos hasta 6500 Kgs.

La elección de los diferentes tipos de cable dependerá de la ruta del cable. Esta ruta puede diferenciarse, en general, en tres grandes zonas:

- Aproximación a las playas (hasta 100 m)

- Aguas poco profundas (de 100 a 1000 m)

- Aguas profundas (más de 1000 m)

Hasta los 1000 metros, profundidad a la que pueden faenar los pesqueros de arrastre, el cable ha de estar protegido exteriormente mediante armadura exterior de acero galvanizado.

Es técnica usual utilizar cable doblemente armado y apantallado hasta profundidades de 15 ó 20 metros, hasta los 100 metros cable doblemente armado y hasta los 1000 metros simplemente armado. En la zona de aguas profundas el cable no está protegido exteriormente.

Uno de los parámetros fundamentales que definen las propiedades de un cable es su característica atenuación y frecuencia. Este parámetro nos determina la longitud de una sección de repetición, es decir, la distancia entre dos repetidores consecutivos.

| Tipo de Cable | Diametro Exterior | Peso Aire | Peso Agua | Tendido | | Recuperación | | Sinking Rate | NTTS | NOTS | NPTS | UTS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Cd | H | Cd | H | | | | | |
| | mm | n/m | n/m | N/A | °/kt | N/A | °/kt | knots | kN | kN | kN | kN |
| Lightweight (LW) | 17 | 5.79 | 3.5 | 2.39 | 15.6 | 1.6 | 55.7 | 0.9 | 59 | 41 | 19 | 79 |
| Special Applications (SPA) | 22.3 | 7.95 | 4 | 2.38 | 42.3 | 1.6 | 51.6 | 0.74 | 59 | 41 | 19 | 79 |
| LightWire Armor (LWA) | 28.9 | 20.8 | 14.9 | 2.25 | 74.3 | 1.6 | 88.1 | 1.3 | 199 | 141 | 79 | 306 |
| SingleArmor (SA) | 31.3 | 26.7 | 19.9 | 2.18 | 83.9 | 1.6 | 97.9 | 1.46 | 262 | 187 | 106 | 396 |
| Double Armor (DA) | 35.9 | 38.8 | 30.2 | 2.01 | 100.7 | 1.6 | 112.7 | 1.76 | 394 | 282 | 160 | 608 |
| Double Armor (DA-HA) | 40.7 | 54.6 | 43.7 | 1.75 | 122 | 1.6 | 127.5 | 2.13 | 559 | 401 | 228 | 846 |
| Rock Armor (RA) | 48.6 | 74.2 | 59.7 | 1.33 | 149.5 | 1.6 | 136.2 | 2.61 | 269 | 192 | 109 | 396 |
| SA Trunk (SA-AR) | 26.3 | 8.86 | 3.37 | 2.38 | 36.1 | 1.6 | 43.9 | 0.63 | 76 | 52 | 23 | 113 |
| DA Trunk (DA-AR) | 32.9 | 12.2 | 3.68 | 2.37 | 33.8 | 1.6 | 41.1 | 0.59 | 117 | 90 | 46 | 290 |

*Fig. Características del cable SL 17.*

### 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. Cuando el tendido se encuentra en aguas someras existe el riesgo de dañar el cable por la acción de barcos pesqueros o por el garreo de anclas, para estas situaciones se utilizan cables mas protegidos (armados) y generalmente van enterrados. En tendidos en superficie y a grandes profundidades el cable pude ser mucho mas fino ya que los riesgos anteriormente descritos son poco probables.

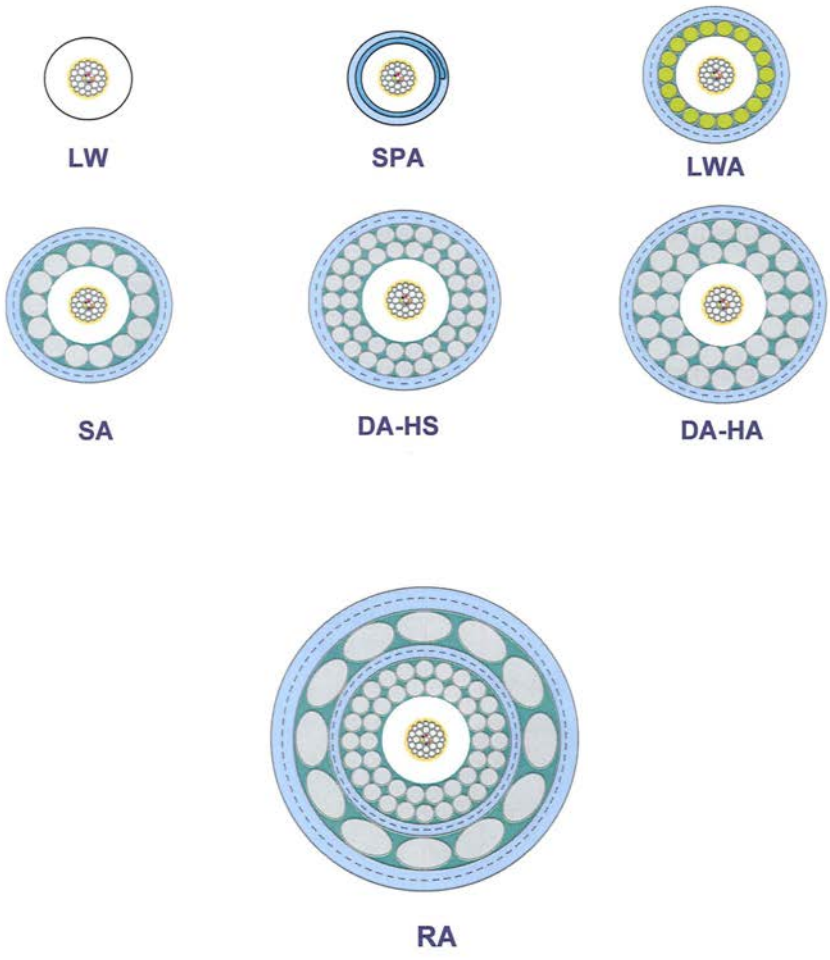


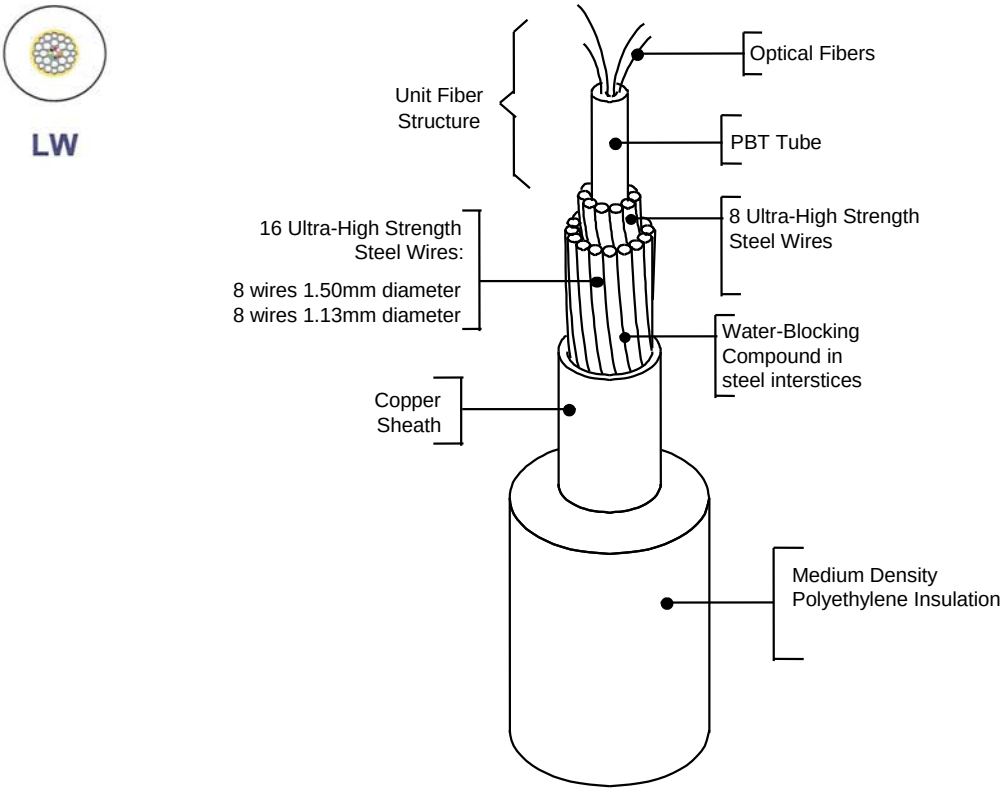

*Fig. Tipos de cable submarino.*

***Diferentes tipos de cables:***

***- Light weight (LW)***

El cable Light weight (cable ligero) está formado por una estructura de fibra óptica protegida por una armadura compuesta por alambres de acero, una envoltura de cobre y un aislamiento de polietileno. Este tipo de cable utilizado para grandes profundidades es también el núcleo del resto de cables armados.

Puede ser usado desde el EOB (End of Burial) entre los 1000 a 1500 metros de profundidad y llegar a profundidades de 6000 a 7000 metros.



***- Special Aplications (SPA)***

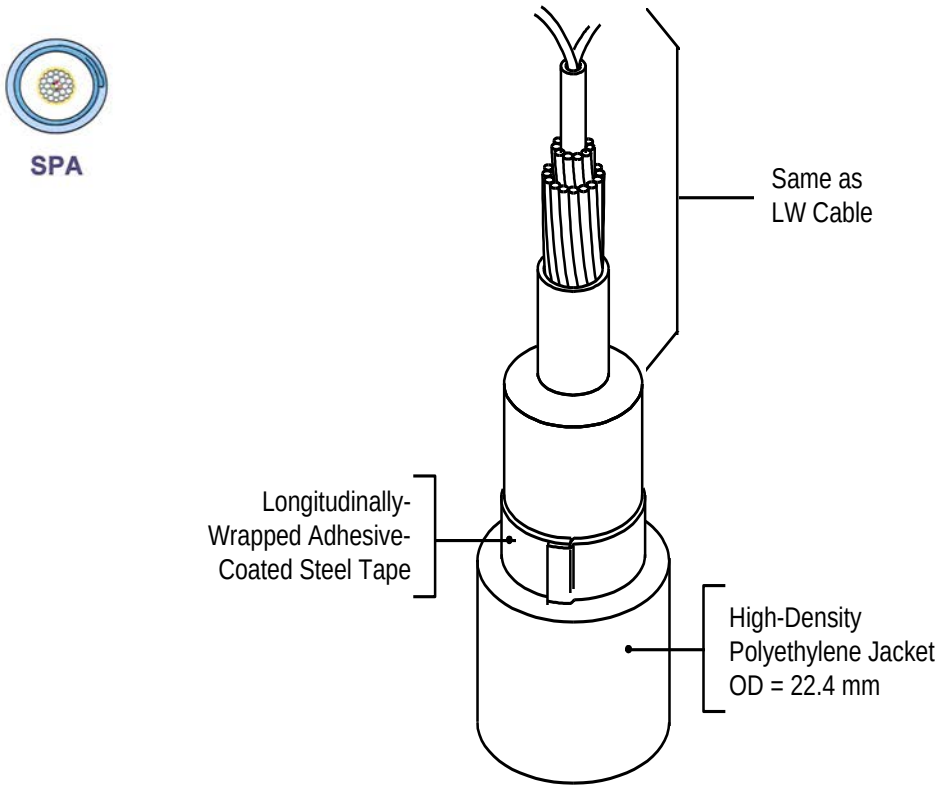
FBP: Fish Bite protection

LWP: Light Weight Protected

El cable SPA (aplicaciones especiales) se utiliza en áreas donde puede ser atacado por tiburones o lugares donde pueda sufrir desgaste por abrasión. La composición de este cable es igual a la del LW pero además está protegido por una envoltura de polietileno de alta densidad.

Es un tipo de cable adecuado para tendido en superficie en aguas profundas y fondos muy agresivos para sustituir al LW. En ocasiones se ha empleado en zonas de riesgo de mordedura de tiburones.

Puede ser usado desde el EOB (End of Burial) entre los 1000 a 1500 metros de profundidad y puede llegar a profundidades de 5000 metros.

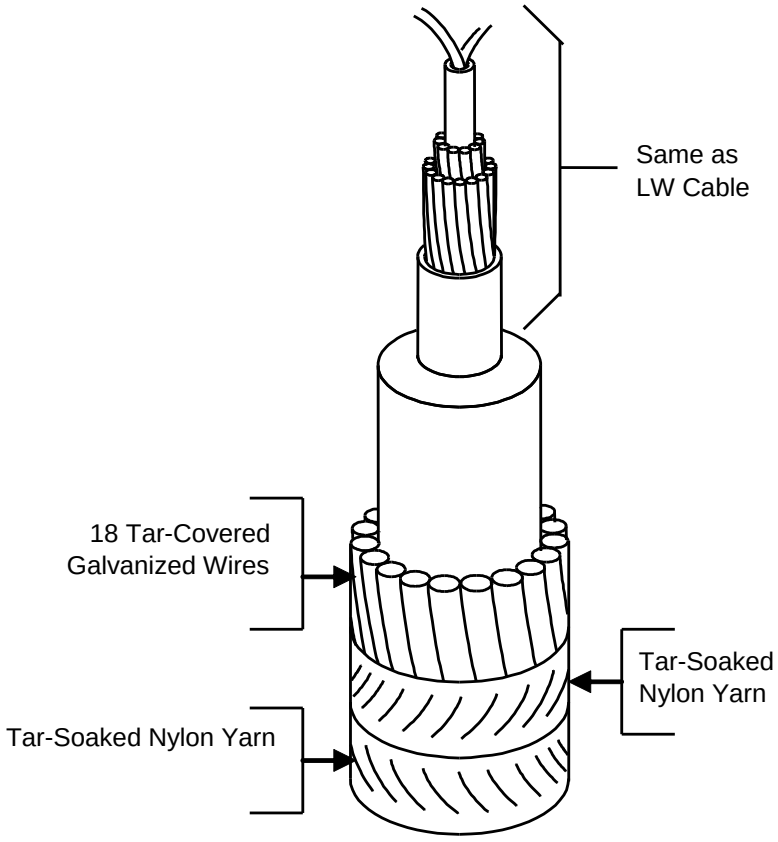


Los siguientes tipos de cable están compuestos por un núcleo igual al cable ligero y revestidos por diferentes tipos de armaduras. La capa exterior de todos estos cables está compuesta por filamentos de nylon empapados en alquitrán.

***- Lightwire Armored (LWA)***

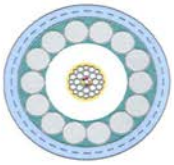
Cable típico para realizar tendidos con arado.

Puede ser utilizado desde los 200 metros hasta el EOB (End of Burial) entre los 1000 a 1200 metros de profundidad.

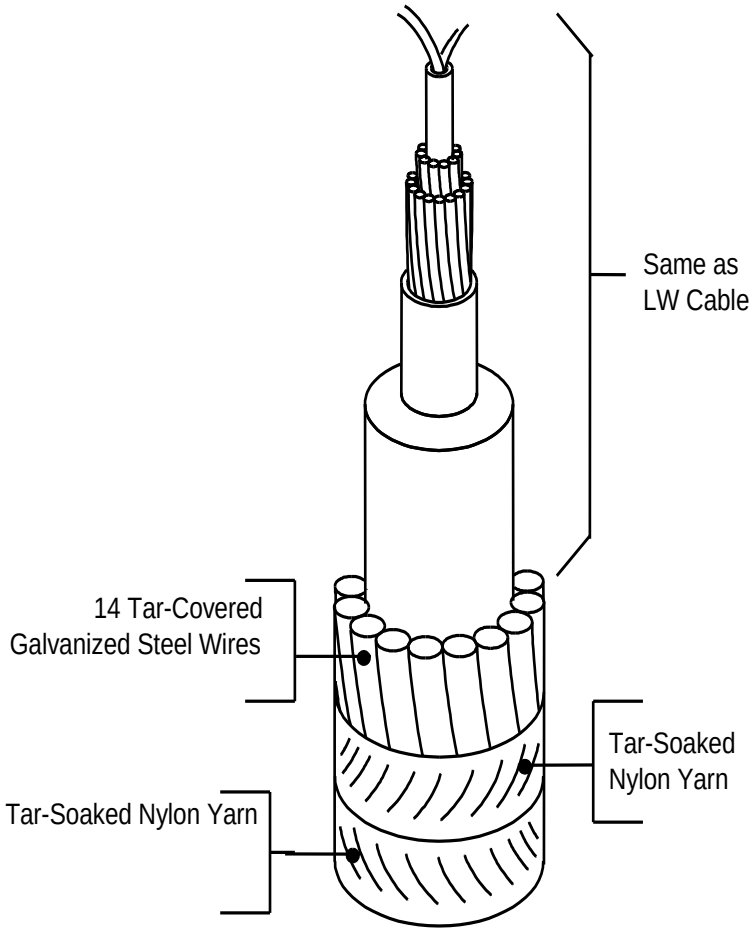


***- Single Armored (SA)***

Se utiliza en profundidades de 100 a 200 metros en las que el enterramiento del cable no esta garantizado.



SA

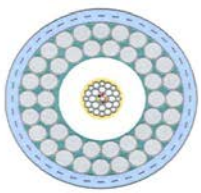


***- Double Armored (DA)***

Double Armored High Strenght (DA-HS)

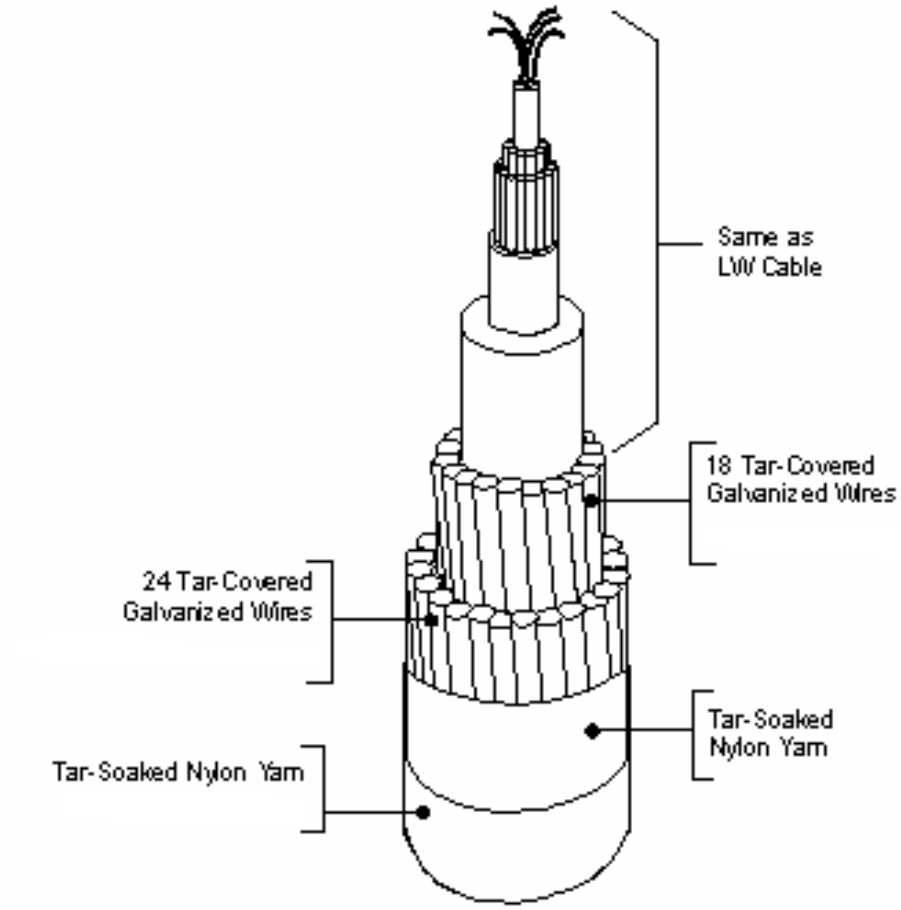
Double Armored High Abrasion (DA-HA)

Se utiliza en profundidades de 25 a 100 metros en las que el enterramiento del cable no esta garantizado. Es típico su uso en cruces de cables.



DA-HS

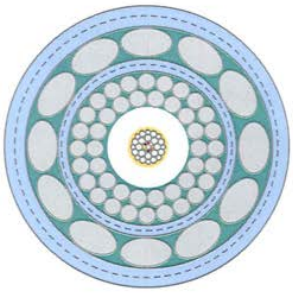
DA-HA



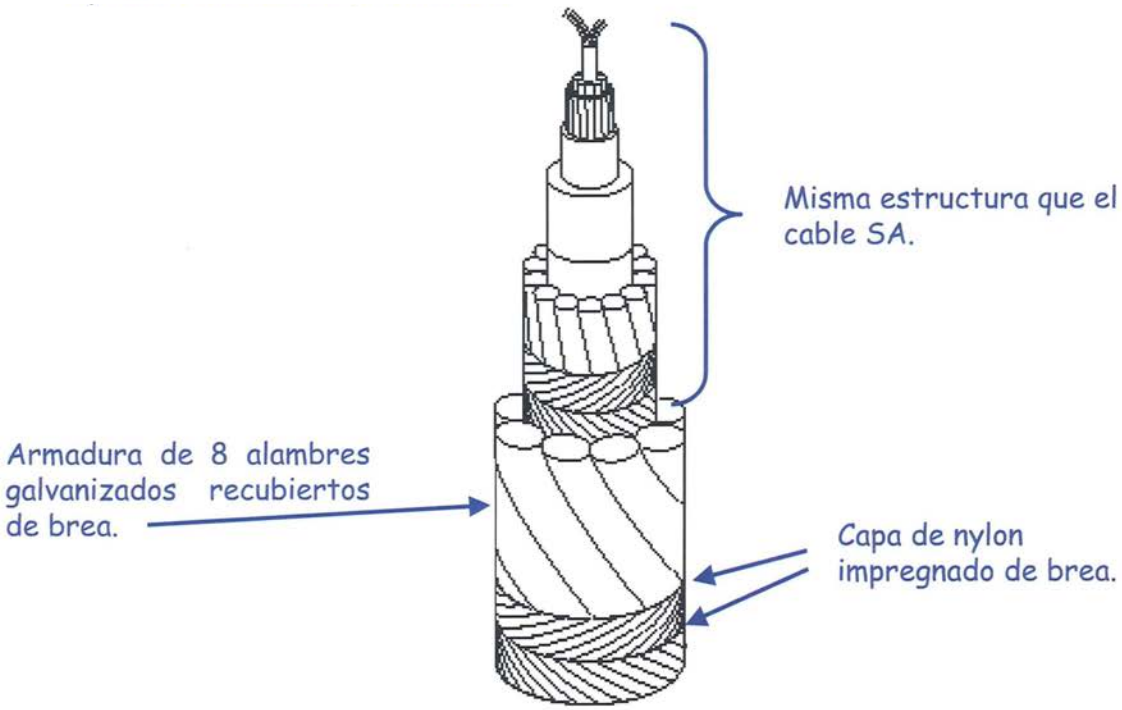
***- Rock Armored (RA)***

Se emplea en zonas muy agresivas cerca de la playa, con mucha actividad pesquera o de fondo muy rocoso.

Se utiliza desde los 0 metros hasta los 100 metros de profundidad aproximadamente.



RA



### 7.2 Branching Units

Las llamadas cajas de distribución o Branching Units son equipos utilizados en los sistemas de telecomunicaciones de cable submarino que funcionan como puntos de desdoblamiento y bifurcación en pleno océano, permitiendo así que el cable se divida para poder dar servicio a más de un destino. Su tendido y reparación ha planteado un nuevo reto en las comunicaciones.

Las BU utilizadas en cables sin repetidores son en términos generales conexiones de tres empalmes con enrutamiento fijo entre los mismos.

A bordo de los buques cableros se dispone de unas estibas refrigeradas especiales donde se almacenan las BUs y se monitorizan constantemente sus temperaturas. En ocasiones es necesario enviarlas a la fábrica para realizarle los pertinentes tests, previa instalación o en caso de fallo de la misma teniendo que ser transportadas en containers refrigerados.

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 ºC a +60 ºC.
- Radio máximo de curvatura: 3 metros.

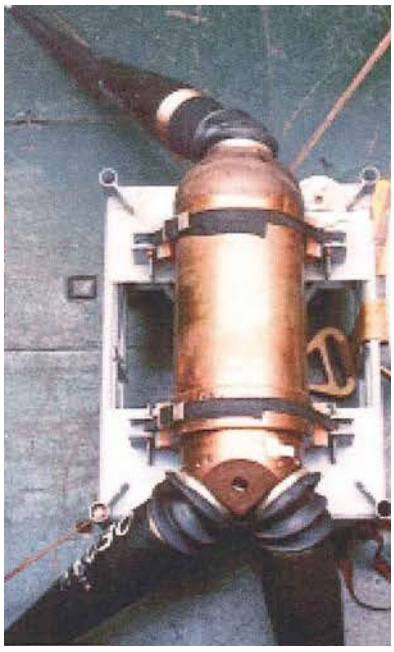
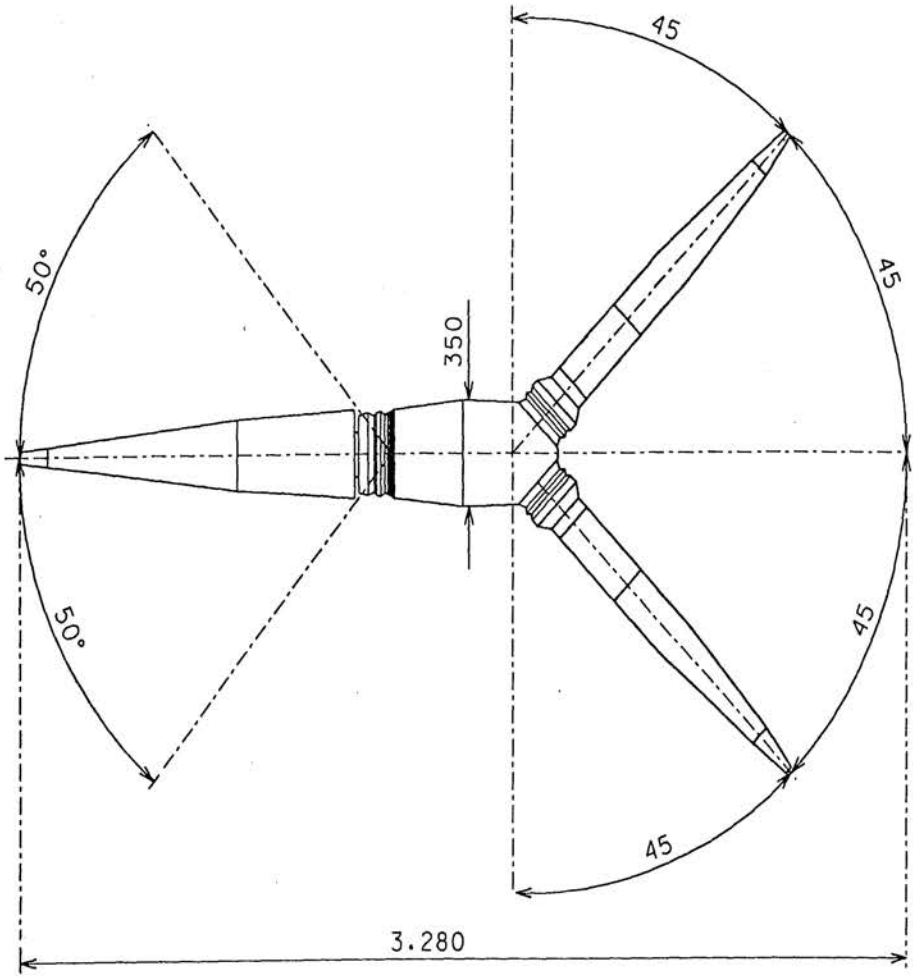


*Fig. Branching Unit.*




| | |
|---|---|
| Maximun diameter: | 350 mm |
| Maximun lenght: | 3280 mm |
| Weight in the air: | 225 Kg |
| Weight in the water: | 130 Kg |
| Maximun deployment depth: | 3500 m |

*Fig. Características de una BU.*

*Fig. Operaciones con BUs.*

*Tipos de BUs:*

*Power Switched BU (PSBU):* Permite la reconexión de la telealimentación en caso de avería con derivación a tierra (shunt fault). Shunt fault es la exposición del cable a tierra pudiendo quedar las fibras intactas.

*Fiber Switched BU (FSBU):* Permite la reconfiguración de los caminos ópticos y eléctricos en caso de avería.

*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.

Sin el empleo de amplificadores la distancia que se podría alcanzar en un enlace multicanal se vería reducida a unos pocos Kilómetros.

Al igual que el cable, estos amplificadores estarán posados en el mar, lo que le confiere el carácter de inaccesible. Por tanto, estos dispositivos deberán funcionar libres de averías, y por supuesto sin necesidad de ajustes periódicos, durante la vida del sistema.

Para conseguir esta característica en los repetidores es obligado simplificar al máximo su función y realizar estos dispositivos utilizando componentes y materiales muy robustos y estables.

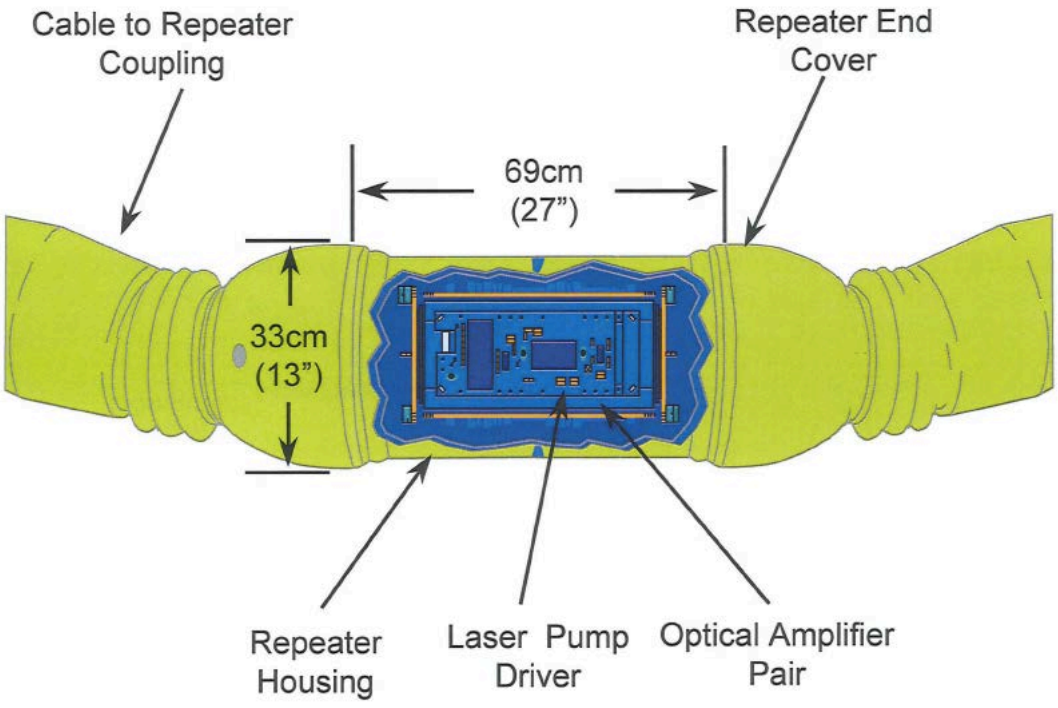



*Fig. Partes de un repetidor.*

Como la función esencial es proporcionar amplificación en los dos sentidos de transmisión, es necesario separar la banda alta y la banda baja, haciéndolas circular por caminos diferentes dentro del repetidor. Esto se consigue mediante unos

filtros direccionales que permiten el paso de las frecuencias bajas, rechazando las altas y viceversa.

En los repetidores submarinos de pequeña capacidad (hasta 5 MHz) , se emplea un solo amplificador para ambas direcciones de transmisión. En sistemas de mayor capacidad, el ancho de banda empleado aconseja, dados los problemas de diseño de amplificadores de banda ancha, utilizar un amplificador para cada una de las bandas de transmisión.

Además del amplificador o amplificadores ya mencionados, el repetidor lleva incorporado unos circuitos de supervisión, cuya misión es proporcionar información del comportamiento de la planta sumergida, así como ayudar a localizar una posible avería.

A partir de las condiciones externas a que están sometidos, alta presión, problemas de tendido, tensiones mecánicas, etc. deducimos que han de tener una configuración física especial que les permita, por una parte, resistir los rigores del fondo marino, y por otra, admitir el mismo tratamiento que el cable en las operaciones de tendido.

El repetidor (e igualador) comprende un cilindro de acero de alta tensión, dentro del cual se introduce la cápsula electrónica, el cual está sellado contra el agua marina, mediante sendas tapas dé aleación de acero de alta tensión en unión con unos anillos en "o" neopreno y unos cables de fibra ó de pequeño diámetro como terminaciones del repetidor y que se empalman con el cable submarino.

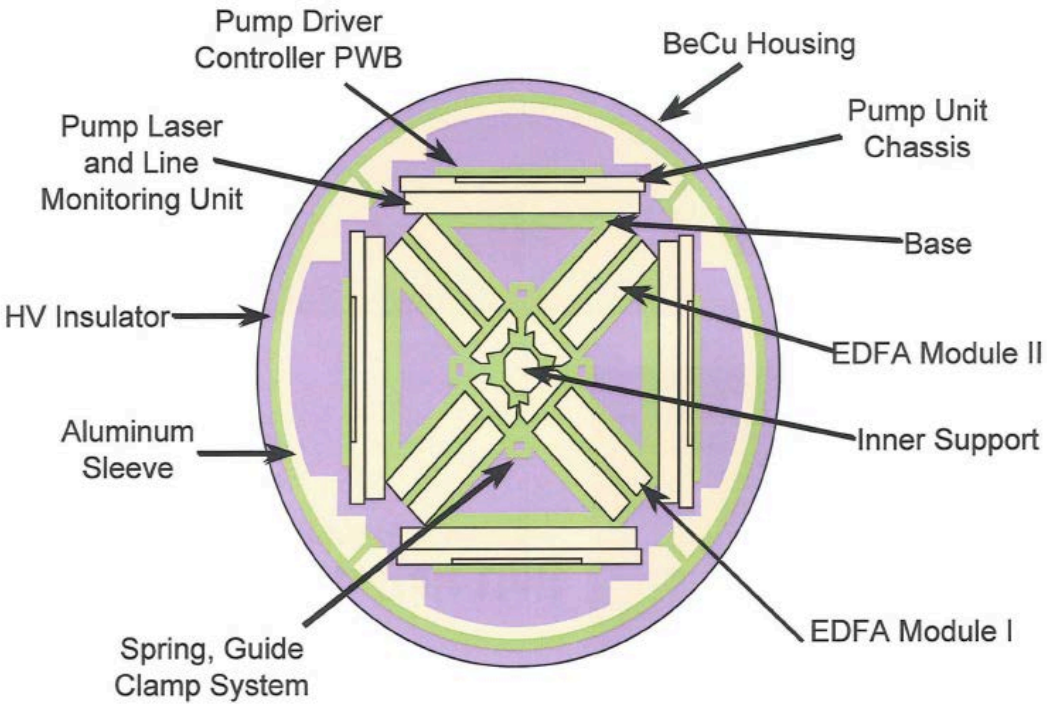



*Fig. Sección de un Repetidor*.

La distancia a la que se sitúan los repetidores viene determinada por la ganancia máxima del amplificador, pérdidas del cable y capacidad del sistema. Esta distancia puede oscilar entre 37 Kms (20 millas náuticas) para un sistema de 160 circuitos utilizando cable de 25 mm de diámetro, y 5 Kms (2,75 millas náuticas) para un sistema de 5.520 circuitos utilizando cable de 37 mm (1,47 pulgadas) de diámetro.

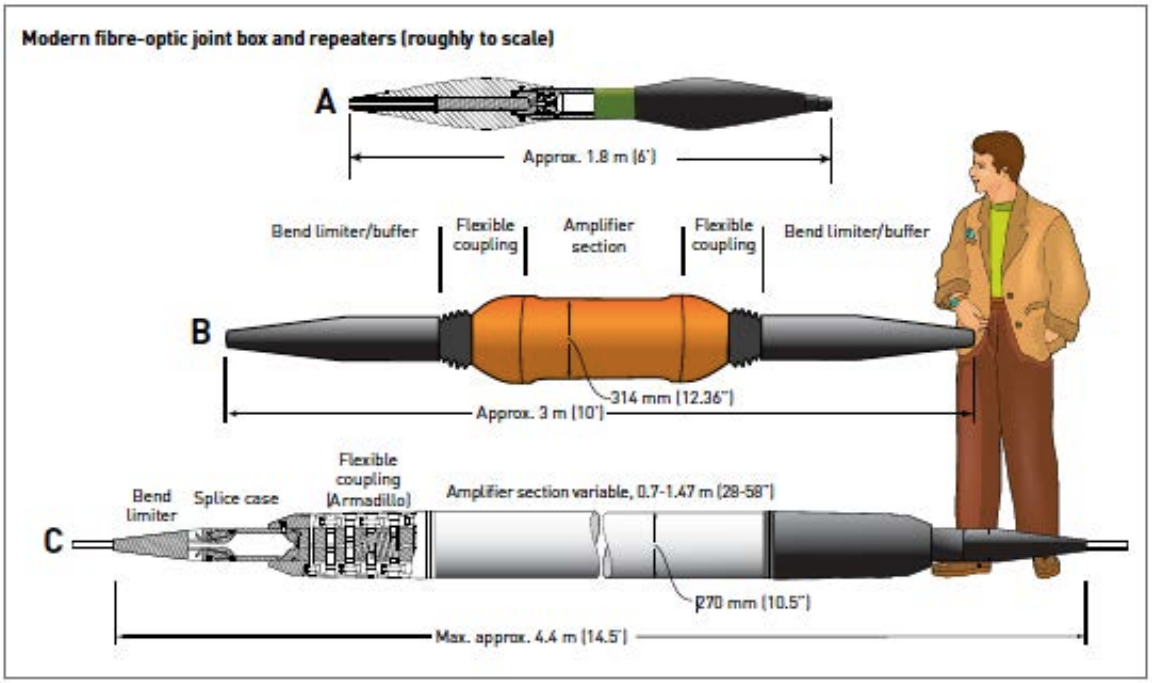



*Fig. Empalme y Repetidores modernos de fibra óptica.*

| Dimensiones y pesos de un Repetidor | |
|---|---|
| Longitud máxima | 4.56 m |
| Longitud sin extremos (sin unión cobre) | 1.03 m |
| Diámetro máximo cono externo | 0.34 m |
| Diámetro máximo carcasa de presión | 0.31 m |
| Longitud de acoplamientos. | 1.76 m |
| Diámetro máximo acoplamiento | 0.255 m |
| Peso en aire con acoplamientos. | 371 Kg. |
| Peso en agua con acoplamientos | 242 Kg. |
| Peso en aire sin acoplamientos. | 241 Kg. |
| Peso en agua sin acoplamientos | 194 Kg. |
| Angulo máximo curva | ±50 grados |

*Igualadores*

Como es imposible conseguir que la ganancia de los repetidores compense exactamente las pérdidas del cable en cada sección de repetición, es necesario insertar igualadores para minimizar estas diferencias.

Los igualadores constan de unas redes fijas diseñadas a partir de los datos obtenidos durante el proceso de fabricación de cable y repetidores, y de otras redes ajustables que se diseñan durante la operación de tendido, ya que las necesidades exactas de igualación solo son conocidas cuando el cable y los repetidores se posan sobre el fondo marino. El carácter de inaccesible y los requisitos de configuración física especial tiene aquí las mismas implicaciones que en los repetidores.

Actualmente, la filosofía de igualación de la planta sumergida está cambiando, y ya existen sistemas instalados que incorporan igualadores cuyas características de funcionamiento se pueden telecontrolar desde las estaciones terminales. Como es evidente todo lo que aporte acceso al funcionamiento de la parte más delicada de un sistema introduce una mejora en el funcionamiento futuro del mismo.

*Fig. Trasbordo de un Repetidor.*

[6] Ref. B: [1][9][14][15]

*[1]* ***C.E. Roden****. "Submarine cable mechanics and recommended laying procedures".*
*[9]* ***TYCO Telecommunications.*** *"Guide to SL17 Cable Systems Handling and Installation".*
*[14]* ***G.V. Castro.*** *"Tendido y reparación de cables submarinos".*
*[15]* ***Curso de O&M.*** *"Gestión y Comercialización del cable submarino".*

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

## 8.1 Sala de transmisiones y equipo de medida.

Es necesario poder comprobar en todo momento el correcto funcionamiento del sistema que esta siendo tendido, así como la integridad del mismo. Esto se consigue mediante equipos de medida de fibra óptica. Durante ciertas fases de una operación es necesario efectuar la alimentación del sistema, la cual es monitorizada desde la sala de transmisiones. La alimentación del sistema puede ser realizada desde el buque o desde una estación terrestre.

En la sala de transmisiones se encuentra la fuente de telealimentación (PFE) para el sistema submarino y todos los equipos necesarios para las medidas ópticas y eléctricas del sistema: Fuentes láser, analizador de espectro óptico (*Optical Spectrum Analizer, OSA*), reflectómetro de dominio de tiempo óptico (*Optical Time Domain Reflectometer, OTDR, ó compensado, COTDR)*, conmutadores ópticos, etc.

*Fig. Sala de transmisiones (TTR).*

*Concepto de transmisión*

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original.

El sistema básico de transmisión se compone en este orden, de señal de entrada, amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo ), empalme, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida.

En resumen, se puede decir que este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transportación de la señal luminosa, generado por el transmisor de LED'S (diodos emisores de luz ) y lasers.

Los diodos emisores de luz y los diodos lasers son fuentes adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica, debido a que su salida se puede controlar rápidamente por medio de una corriente de polarización. Además su pequeño tamaño, su luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje necesario para manejarlos son características atractivas.

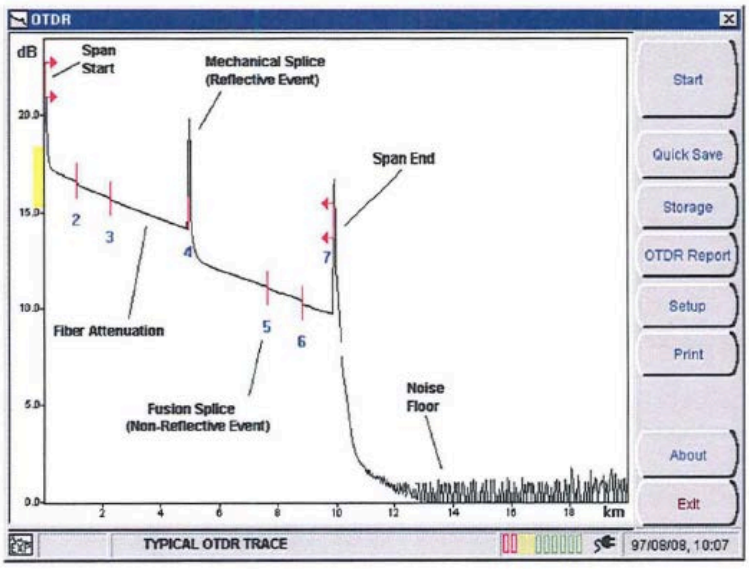
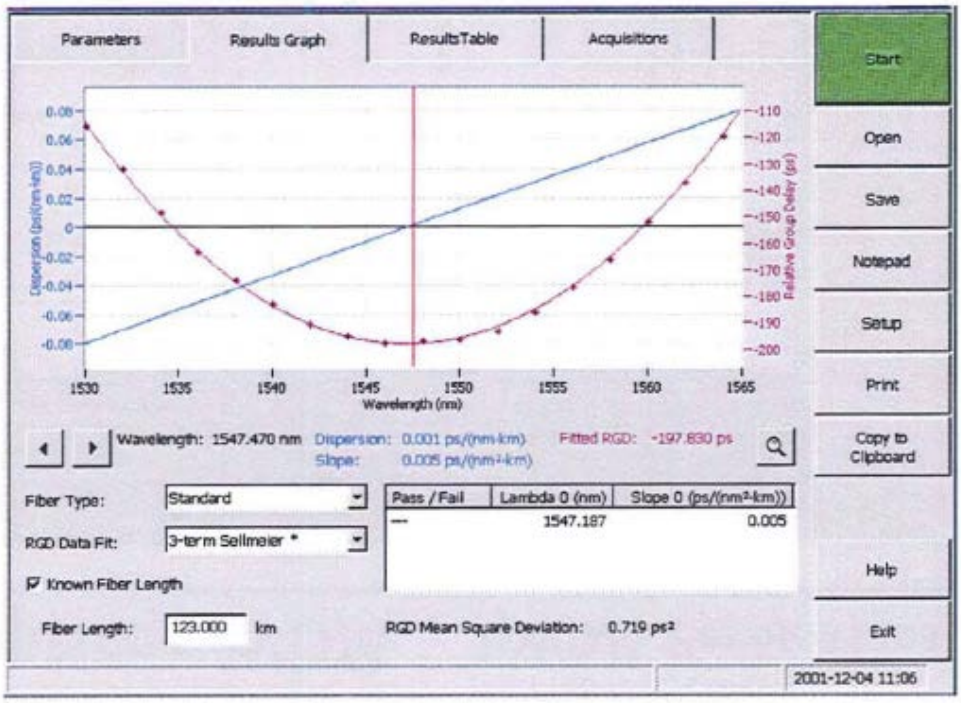



*Fig. Reflectómetro de dominio de tiempo óptico (OTDR).*



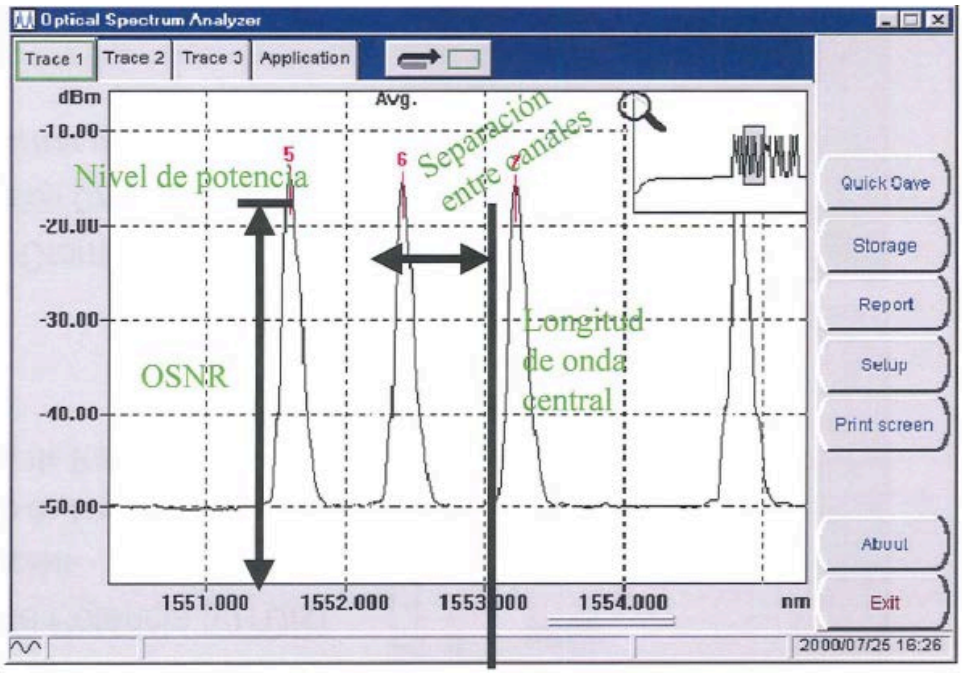




*Fig. Análisis de espectro óptico (OSA).*

### 8.2 Sala de realización de empalmes y equipos.

En esta sala se realizan los empalmes de los diferentes tipos de cable. La realización de un empalme en un cable de fibra óptica submarino es un proceso que requiere unas técnicas especiales y una gran especialización en todas sus fases. 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.

En algunos casos se incorporan equipos para la reparación de sistemas en servicio: reparación en modo PGU (Power Grounding Unit).

*Fig. Sala de empalmes.*

*Las averías en planta sumergida suelen ser de tres tipos:*

- Rotura / atenuación de la fibra. Implica también una derivación de la telealimentación en ese lugar.
- Fallo de un regenerador.
- Derivación de la telealimentación sin rotura o atenuación de la fibra (shunt fault).

Métodos de empalme de fibras ópticas.

Los empalmes son interconexiones permanentes entre fibras ópticas; es importante que el núcleo de la misma esté correctamente alineado con las zonas activas del emisor y del receptor. Las pérdidas son del orden de 0,5 dB por empalme, aproximadamente.

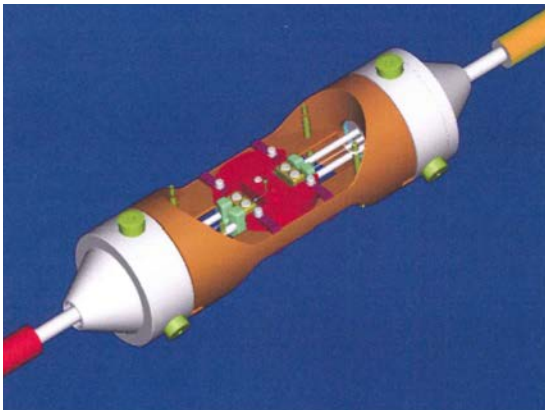


*Fig. Empalme de un cable de fibra óptica.*

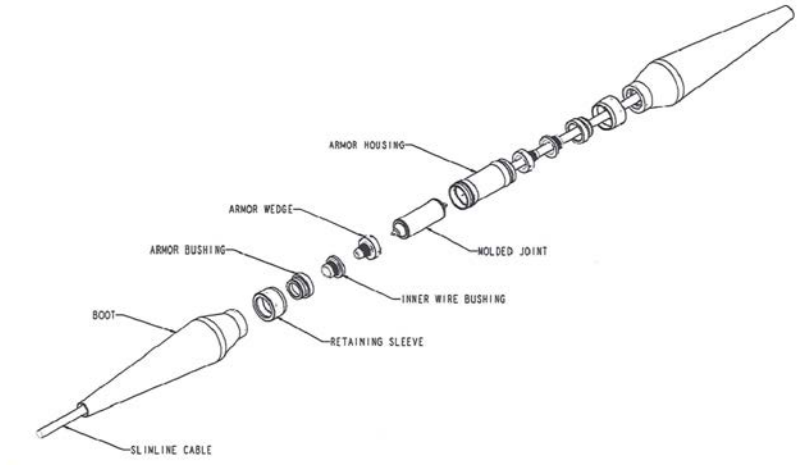



*Fig. Partes de un empalme de cable submarino.*

Cuando se empalman los extremos de dos fibras ópticas, la primera consideración es hacer esto de tal manera que no se produzcan excesivas pérdidas de energía luminosa en el empalme. Esto significa, en primer lugar, que los extremos de las fibras tienen que ser prácticamente "planos", es decir, que deben ser cortados perpendicularmente al eje de la fibra, de la manera más perfecta posible puesto que la fibra es un tipo de vidrio.

Un empalme exige que las fibras sean correctamente preparadas antes de la operación. Deben estar perfectamente alineadas y de alguna manera conectadas entre sí lo más próximas como sea posible, bien utilizando un líquido adhesivo igualador de índice, bien físicamente, o de alguna manera en que se mantenga la integridad de la fibra, incluso cuando el vidrio sea calentado hasta el punto de reblandecimiento, como en el caso del empalme por fusión.

Dicho esto se resumen en dos los tipos de técnicas para el empalme:

**A . El método del arco o método de fusión:** Una máquina especial prepara los extremos de la fibra, suministra el arco y a continuación une ambos extremos calentándoles hasta que se obtiene el punto de fusión molecular. Un manguito cubrirá el empalme, reforzándolo.

*Fig. Fusionadora y empalme de fibra óptica.*

**B. Método mecánico:** Unión por presión de dos fibras cuyos extremos han sido cuidadosamente cortados, están limpios y son perfectamente planos y paralelos, permitiendo el paso de luz de una fibra a otra. Un revestimiento metálico cubre la cubierta y el plástico protector de la fibra y mantiene ambos extremos unidos. Este método no es tan bueno como otros, pues pueden existir tirones que separen las fibras. Se utiliza el pegamento óptico para unir los extremos y después el revestimiento metálico cubre el empalme para dar robustez a la unión.

*Fig. Punta de cable preparada para empalmar.*

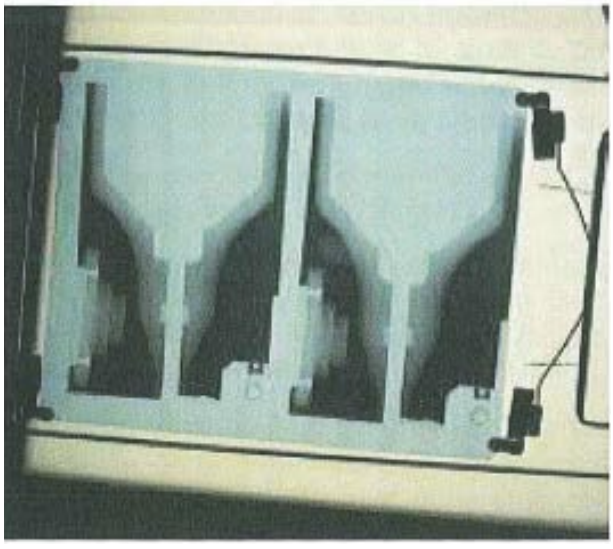


*Fig. Comprobación de estanqueidad mediante rayos X.*

[7] Ref. B: [14][15]

*[14]* ***G.V. Castro.*** *"Tendido y reparación de cables submarinos".*
*[15]* ***Curso de O&M.*** *"Gestión y Comercialización del 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.

Otra cuestión que se plantea es si es mejor cargar por un lado el cable en el buque y por otro los repetidores y empalmarlos a bordo, o bien realizar la unión del cable y repetidores en la factoría y cargar todo el sistema una vez medida y comprobada su continuidad.

En el caso de cables coaxiales, se empleaba el primer método. Este método es bien conocido y ha sido probado numerosas veces. El conservadurismo en los cables submarinos no había autorizado modificaciones a estos probados métodos. Un cable de 500 millas, con 100 repetidores se cargaba y empalmaba a bordo en aproximadamente 15 días.

Con la llegada de los cables ópticos se ha replanteado la cuestión. Son numerosos los factores que hacen complicados los empalmes a bordo una vez cargado el cable y los repetidores por separado: por un lado el espacio disponible es muy escaso y las condiciones de trabajo no son muy idóneas para realizar numerosos empalmes a la vez. Asimismo los empalmes en fibras ópticas requieren que el sistema esté alimentado, lo cual complica el poder realizar más de un empalme a la vez, adicionalmente no puede conseguirse un ambiente limpio como existe en la factoría donde se ha fabricado el cable.

Parece, por tanto, que es más conveniente completar y empalmar el sistema en la factoría, medir y comprobado su buen funcionamiento, cargarlo.

La carga se complica sobre todo en el momento de cargar los repetidores, pero al ser estos, no muy numerosos, esta dificultad queda mitigada.

### Plan de carga

Algunos días antes del comienzo del embarque, el responsable nombrado elabora y edita un "Plan de carga" . Este plan de carga debe ser conocido por todas las personas que participan en el, su control será ejecutado desde la sala de transmisión en buques cableros o desde la sala de control en otros buques y 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. Estas medidas dependerán de los requerimientos del propietario y serán específicas de cada tipo de cable.

**Comienzo de la carga**

***- Caminos de cable y contadores***

La primera operación a realizar antes de comenzar la carga es colocar los caminos de cable. Generalmente el cable viene perpendicular al buque por lo que es necesario colocar una curva de rodillos a bordo. Todos los materiales utilizados, tales como canaletas, rodillos, pastecas, etc. deberán presentar sus superficies perfectamente redondeadas para no dañar al cable.

Se revisará todo el camino que ha de llevar el cable, asegurándose que se respetan los radios mínimos de curvatura y que no hay superficies cortantes, rugosas o vértices que puedan dañar la cubierta del cable. Se procurará que el cable se almacene seco para evitar deslizamientos durante el tendido.

***- Carga de los repetidores/regeneradores***

Cuando los regeneradores vienen unidos a la sección deben ser cargados con mucho cuidado y a pequeña velocidad. Deben ser observados a lo largo de todo su recorrido procurando que no se produzca ningún golpe. Una vez estibados en la cubierta se observarán los detectores de golpes, que generalmente traen adosados, con el fin de comprobar si han sufrido algún impacto fuerte.

Debe ser comprobada su posición en la cubierta, debiendo ser estibados en el sentido correcto que se haya determinado y dejando suficiente longitud de cable a ambos lados para poder ser movidos si fuera necesario.

Si las características del repetidor/regenerador lo indicasen serán puestos a

tierra, revisándose las conexiones. Así mismo si fuese necesario se cubrirán con una tienda de lona con el fin de mantener la temperatura que especifique el constructor. Esta temperatura será mantenida por medio de acondicionadores de aire y se controlará tomando medidas periódicas de ellas y llevando un registro de sus valores.

***- Carga del cable***

Las secciones de cable deben estibarse todas en el mismo sentido, procurando que el cable entre en el tanque por el centro, es decir encima del cono central.

Los extremos de las secciones bajarán por un lateral del tanque y se amarrarán con cabos. El cable se irá colocando procurando que quede perfectamente junto, sin dejar huecos entre las vueltas y evitando que estas se "monten". Se puede colocar algún tipo de separación (plásticos) entre los diferentes "platos". Cuando un cable tenga que cruzar entre dos "platos" se colocarán unas piezas de madera o plásticos de forma triangular, a ambos lados del cable, con el fin de protegerle.

Cualquier elemento que se utilice para proteger el cable, ya sea de madera, plásticos ó metálicas deberán tener todas sus formas redondeadas, no habrá nada en los tanques que pudiera dañar el cable, causándole desperfectos en su cubierta. Se evitarán salientes donde el cable, debido a cualquiera de sus movimientos, pudiera engancharse.

*Cambio de tanques:* Cuando es necesario cambiar el tanque de estiba del cable, se realizará dejando suficiente longitud entre ambos tanques para permitir movimientos. Se dejará el extremo alto amarrado a un lateral y se parará mientras el personal cambia de tanque y coloca el extremo bajo en el otro tanque.

*Marcas en el cable:* Normalmente las secciones de cable vienen con marcas de diferentes colores, las cuales nos indican los Kms. de las secciones y otros puntos singulares. El código de colores elegido y la periodicidad de las marcas deberá ser conocido por todo el personal que participe en las operaciones de carga.

Se vigilará con especial cuidado que todos los cables que queden sobre la cubierta estén perfectamente identificados y ordenados, se evitarán los cruces con el fin de que los extremos que tengan que salir antes queden por encima de los que tengan que salir después. Cualquier fallo o error en la disposición de los extremos provocará graves problemas a la hora del tendido.

*Empalmes:* Si hubiera que realizar algún empalme durante la carga, se dejaría suficiente longitud de cable sobre la cubierta para poder realizarlo, sus extremos se marcarán convenientemente con etiquetas, y se continuaría la carga.

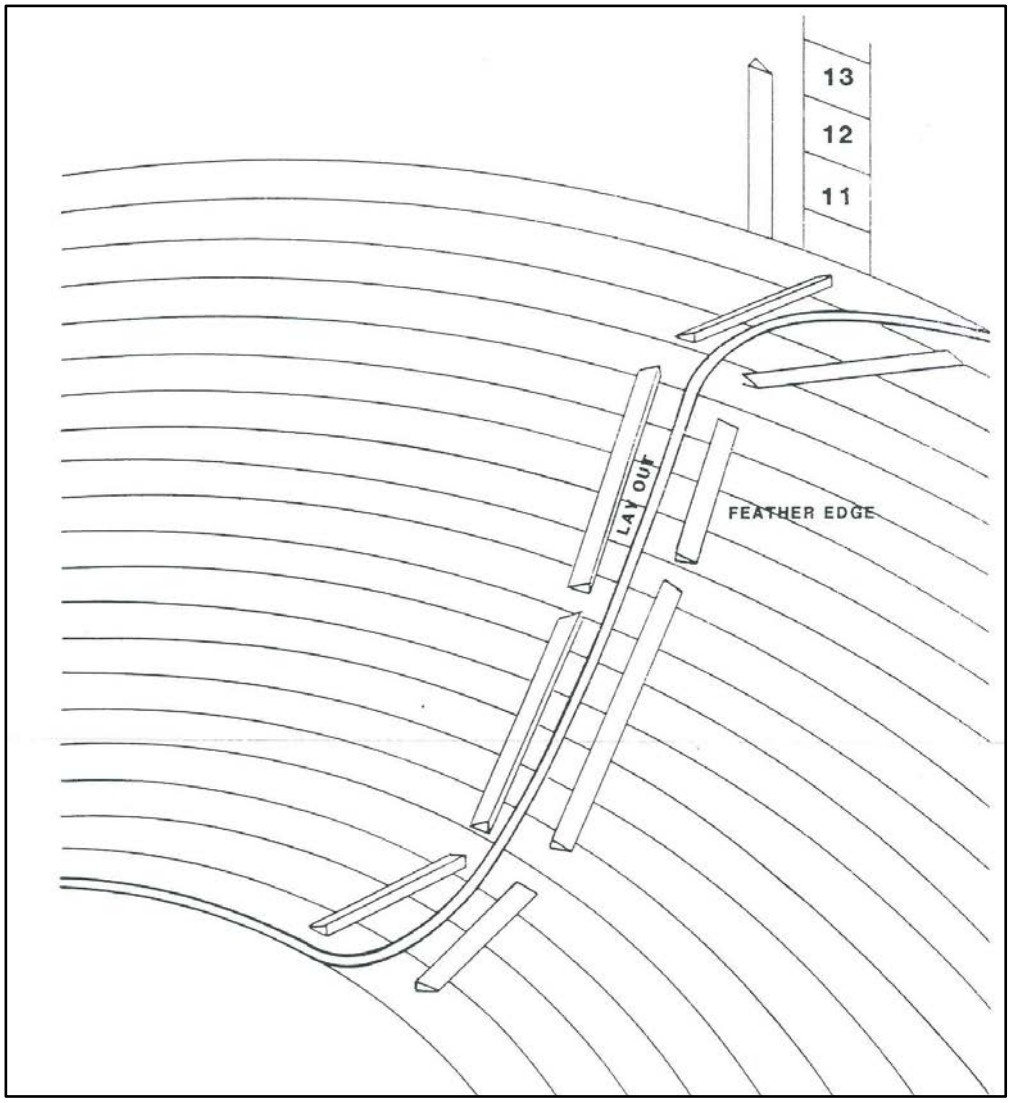



*Fig. Diagrama de estiba en tanques con protecciones entre platos de cable.*

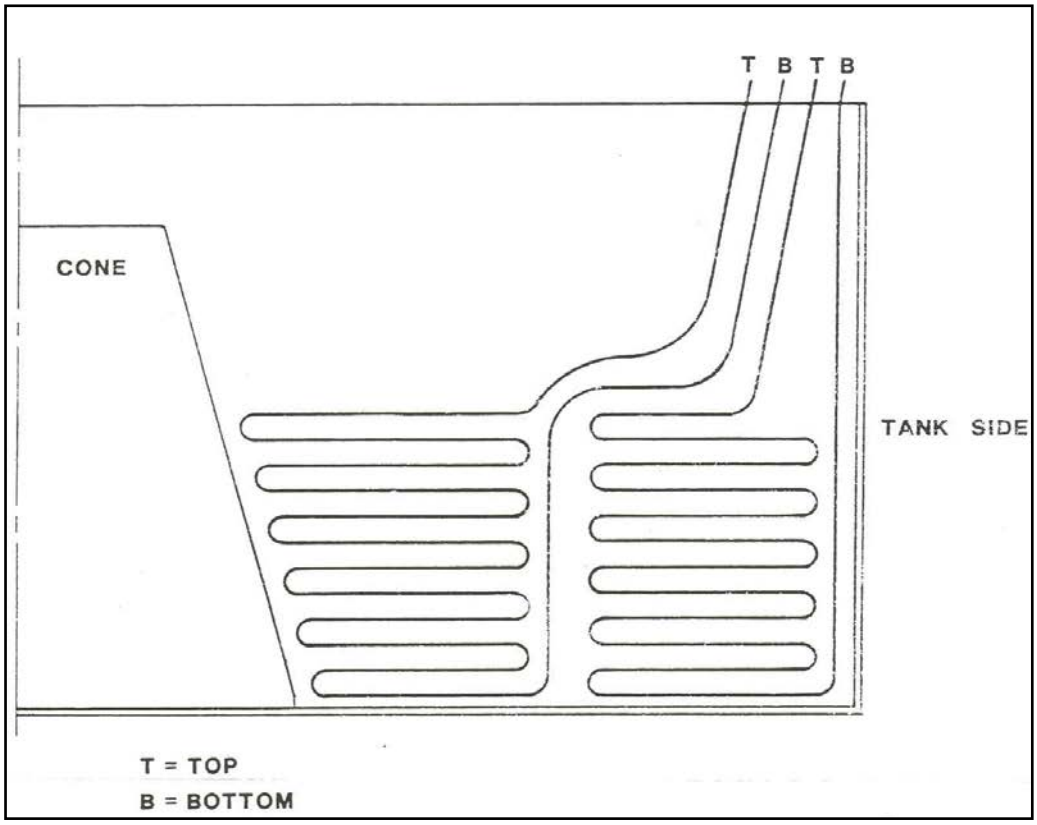



*Fig. Disposición y separaciones de estiba en un tanque de cable.*

**Fin de la carga**

Una vez finalizada la carga, y después de realizadas las modificaciones oportunas, ya se conocen las longitudes reales de las secciones de cable y del total del sistema.

Con estas longitudes y datos conocidos se puede realizar el diagrama de líneas del sistema provisional, y se pueden realizar cálculos mas reales para realizar el tendido, tales como holguras, velocidades de tendido, posición de las transiciones, empalmes, etc.

*Medidas sobre el sistema cargado*: Se realizarán las medidas que especifique el fabricante sobre todo el sistema cargado, así como de todo el cable de repuesto y de los repetidores/regeneradores. Antes de zarpar el buque, debe tenerse la completa seguridad de que todos los elementos cargados se encuentran en perfectas condiciones de funcionamiento.

Se desmontarán todos los caminos de cable que se hayan dispuesto para realizar la carga y se trincarán convenientemente los repetidores/regeneradores, con el fin de que no se vean afectados durante el tránsito.

### 9.2 Tendido de cables submarinos

Por norma general un tendido viene definido por los trabajos de instalación de un cable submarino, junto con sus elementos asociados tales como; empalmes, transiciones, repetidores, regeneradores, etc. Desde dos puntos situados en ambas playas o entre dos puntos cualesquiera en la mar. En las operaciones de tendido el cable puede ser simplemente tendido en el fondo y en ocasiones debe ser enterrado.

Para la realización de un tendido de cable submarino es necesario realizar una programación exhaustiva de todos los factores que van a influir en su desarrollo.

Durante el estudio de un nuevo cable o de una reparación, 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 tiene por objeto permitir al cable adaptarse al fondo marino, evitando la formación de cocas por exceso de cable o las suspensiones por defecto del mismo.

Una vez comenzado el tendido de un cable es esencial el asegurarse que siga bien la ruta elegida y que el cable es tendido con la holgura necesaria para obtener una buena adaptación al fondo marino.

La operación de tendido de un cable óptico no difiere sustancialmente de las operaciones de tendido de un cable coaxial, tanto si se entierra como si no, la novedad está en las cajas de distribución y en las medidas de seguridad y control a bordo.

Dado el menor tamaño del cable óptico, podremos tender hasta tres veces más cable que con cable coaxial.

El control del tendido ha de ser más estricto. Por un lado hemos de procurar que el cable se acomode lo más posible al fondo y evitar todo tipo de suspensiones que pongan en peligro la seguridad del cable.

Además de un control más exacto del tendido, hay otros factores de seguridad que hemos de tener en cuenta en el caso del cable óptico. Para tender el cable es necesario alimentar el sistema durante el tendido, tal y como se hace con los cables coaxiales, pero, entre ambos tipos de cables hay una diferencia: los diseños actuales del cable de fibra óptica no tienen conductor exterior. En el caso del cable ligero tan

solo de 6 a 10 mm de polietileno aíslan de una corriente capaz de electrocutar a un hombre. Si el cable es armado la propia armadura sirve de pantalla.

El cable saldrá de los tanques del buque por medio de la Máquina Lineal, que lo va tendiendo generalmente por la popa, acomodándose al fondo. Este método es el empleado en aguas profundas utilizando cable ligero, o en aguas poco profundas con cable armado.

*La Holgura*

La holgura con la que se tiende el cable en cada momento debe ser la que ha sido calculada para realizar el tendido y conseguir su adaptación al fondo. Toda desviación puede tener consecuencias sobre la fiabilidad del sistema, o sobre la del tendido. La holgura ha sido calculada normalmente para que la longitud del cable a tender permita seguir el relieve del fondo sin excedentes.

La disminución de la holgura tiene el riesgo de que se puedan producir suspensiones entre los diferentes puntos altos del fondo marino. Estas suspensiones ponen en peligro la duración de la vida del cable por varias razones:

- Sobre los fondos marinos donde la actividad pesquera es importante, estas suspensiones favorecen el enganche del cable por los aparejos de pesca.
- En las zonas de corrientes, el cable que no reposa sobre el fondo puede ser puesto en movimiento, con el consiguiente peligro de desgaste, así los fenómenos de abrasión pueden aparecer al nivel de los puntos de contacto con el fondo.

El aumento de la holgura entraña también problemas, si el cable es armado, el tendido con una holgura muy grande puede provocar la formación de cocas. Estas cocas no se detectan generalmente durante el tendido, pero en el caso de tensiones posteriores sobre el cable (recuperación para reparación, enganche por un barco de pesca, etc..) existe el riesgo de que se provoquen averías por el estrangulamiento de estas cocas (kink).

La cantidad de cable a tender está predeterminada, pero si en el momento del tendido falta cable se podrá actuar de la siguiente forma:

- Tender menos cable: esto supone reducir la holgura, lo que es perjudicial.
- Modificar la ruta. Esto puede tener también consecuencias nefastas.

### 9.3 Dragas de corte y recuperación de cables.

Según las operaciones a realizar en ciertas fases de las distintas operaciones es necesario realizar dragas de corte o dragas de recuperación según sea el caso.

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.

**Operaciones previas:** En principio determinaremos si en función de la profundidad, holgura del cable y proximidad de algún empalme final es o no necesario realizar una draga de corte antes de proceder a la draga de recuperación. Se estudiarán los vientos y corrientes reinantes, a fin de decidir el rumbo de la draga, lo más perpendicular posible al cable, y a poder ser, de mayor a menor fondo. Sin embargo las condiciones meteorológicas en el momento de ir a realizar la draga, serán quienes definirán el rumbo de la misma.

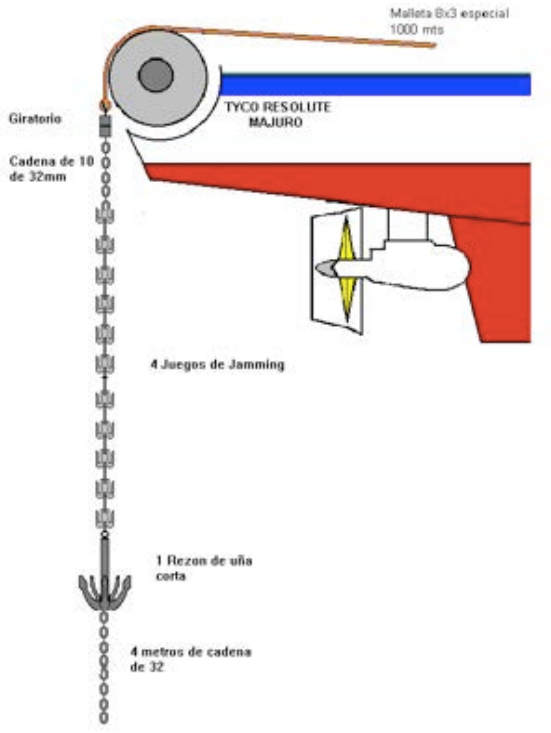



*Fig. Diagrama de una draga de recuperación.*

**Longitud de la línea de draga:** A tenor de los datos de sondas que se tengan en la documentación, o bien, después de realizar un sondeo, se determina la longitud de la draga. Para ello se utilizan las tablas siguientes:

(Para velocidad buque = 1 nudo)

| PROFUNDIDAD EN METROS | LONGITUD DRAGA EN METROS |
|---|---|
| 50 | 250 |
| 100 | 380 |
| 150 | 470 |
| 200 | 550 |
| 250 | 630 |
| 300 | 710 |
| 350 | 785 |
| 400 | 860 |
| 450 | 930 |
| 500 | 1000 |
| 550 | 1065 |
| 600 | 1130 |
| 650 | 1195 |
| 700 | 1260 |
| 750 | 1325 |
| 800 | 1390 |
| 850 | 1455 |
| 900 | 1520 |
| 950 | 1580 |
| 1000 | 1640 |
| 1250 | 1940 |
| 1500 | 2240 |
| 1750 | 2540 |
| 2000 | 2840 |
| 2250 | 3135 |
| 2500 | 3430 |
| 2750 | 3720 |
| 3000 | 4010 |
| 3250 | 4305 |
| 3500 | 4600 |
| 3750 | 4890 |
| 4000 | 5180 |
| 4250 | 5475 |
| 4500 | 5770 |
| 4750 | 6060 |
| 5000 | 6350 |

**Punto de comienzo de arriado de draga y línea de enganche**: En líneas generales, tanto para aguas someras como para aguas profundas, el punto de comienzo de la draga, sea de corte o de recuperación, viene dado por la diferencia entre la longitud de la draga y la profundidad en el punto del cable que se haya

establecido para enganchar. La línea de enganche estará, aproximadamente a una distancia más allá de la línea de cable, casi igual a la profundidad.

**Composición de la draga:** En función de la longitud de la draga, se utiliza una línea de draga compuesta, de manera general, por malleta de 8x3 y malletas de 6x3, hasta obtener la longitud, con grilletes giratorios y hammerlocks entre cada malleta. En caso de utilizar el rezón Detrenching Grapnel se utiliza malleta de 8x3 especial. En cuanto a los rezones, se utiliza la Raya (Flat Fish) con cuchillas y testigos para caso de corte. Para las dragas de recuperación se decide en función del tipo de cable y fondo, cuales son los rezones más adecuados. Los rezones se conectan a una cadena de 32 mm de 10 mts que a su vez se conecta mediante grilletes con giratorios a la malleta de 8x3. Si se cree que el cable está enterrado, o el terreno es fangoso, es conveniente añadir más peso mediante otros rezones por detrás de los que vayan a enganchar. El “Detrenching Grapnel” se utilizará, si procediera y si así se acordara previamente, en caso de cable enterrado.

**Arriado de la draga:** En aguas someras; Una vez esté el buque en el punto de comienzo de arriado de la draga, haciendo el rumbo efectivo de la misma y con una velocidad aproximada de 1 nudo, se comienza a arriar la draga con una velocidad de arriado que, una vez que el rezón esté en el fondo, no exceda la velocidad del buque, a fin de evitar que se amontone en el fondo. En caso de aguas profundas; el comienzo de arriado se anticipa al comienzo de la marcha avante del buque, hasta qué los rezones estén próximos a llegar al fondo, momento en que se comienza a mover el buque en la dirección de la draga, una vez el buque ya ha cogido arrancada, se continúa arriando hasta la longitud de draga previamente determinada, a partir de ahí el arriado continuará como en aguas someras.

**Realizacion de la draga y corte / enganche del cable:** Cuando la draga comienza a estirar, especialmente a gran fondo, se notará una tendencia a disminuir la velocidad del barco, por lo que es necesario ajustar la velocidad para conseguir la velocidad establecida, ello implicará un aumento de la tensión que, gradualmente, va disminuyendo hasta quedar estabilizada en la tensión de dragado (variable según profundidad, rezones y tipo de fondo). Durante la draga se controlan las tensiones en los dinamómetros y registrador, especialmente cuando esté próxima la línea de enganche. Cuando se enganche el cable se apreciará un paulatino aumento en la

tensión y una tendencia a disminuir en la velocidad del buque, es el momento de diferenciar si tratamos de una draga de corte o una de recuperación:

*Draga de corte:* en este caso continuaremos avanzando en la dirección de la draga, la tensión continuará aumentando y llegará un momento en que observaremos una caída brusca de tensión, esto significará que el cable se ha cortado. Una vez estimado que se ha cortado el cable, bien por confirmación de la estación terminal o por la mencionada caída de tensión, viraremos la draga lo más rápido posible, dejando ir el buque hacia atrás o virando 180º, según convenga, y, una vez que los rezones estén a bordo, la rotura de los testigos nos dará la evidencia del corte. Si los testigos aparecen intactos se repetirá el proceso.

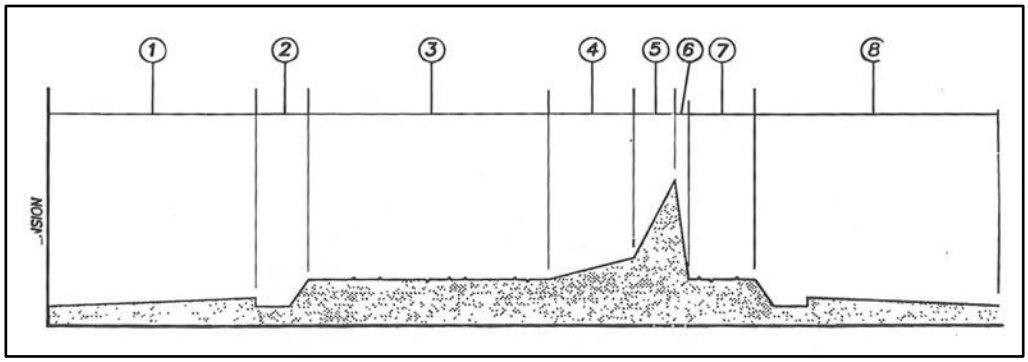



*Fig. Esquema de tensiones en una draga de corte de un cable.*

1) Tensión relativa representando el peso de la draga tal y como se va largando (de ahí el que el peso vaya subiendo conforme se larga más).

2) La draga ha llegado al fondo y se reduce la tensión al descansar sobre el fondo.

3) Incremento de tensión al clavarse en el fondo, los saltos y valles en esta etapa representan piedras y diferentes composiciones del fondo.

4) Incremento gradual de tensión, posible enganche de cable.

5) Fuerte incremento de tensión, el cable no admite mas snack y se tensa.

6) Fuerte caída de tensión, el cable ha sido cortado.

7) Tensión normal de fondo.

8) Decremento de tensión al subir la draga a bordo.

*Draga de recuperación:* una vez que se haya visto que el aumento de tensión es debido al enganche del cable, se procede a recuperar la draga, manteniendo siempre tensión hasta que los rezones con el cable enganchado despeguen del fondo. Al comenzar a virar la draga se debe maniobrar con el buque de modo que dejándonos ir hacia popa, la draga llame siempre de *spring* hasta que los rezones despeguen del fondo, a partir de ahí siempre a pique y con la velocidad adecuada para evitar la rotura del cable. Si es en gran fondo podemos optar por dejarnos ir hacia atrás, o bien virar el barco 180º, con lo que la draga nos llamaría de proa, siendo esta la única diferencia. Las condiciones meteorológicas o la maniobrabilidad del buque indicarán cual puede ser la más adecuada.

**Cable a bordo, abozado y corte del mismo. Paso de puntas a la cubierta de cables:** Cuando los rezones salen del agua con el cable enganchado, se continúa virando cuidadosamente para evitar que el cable zafe, hasta tenerlos en cubierta, y facilitando en caso necesario la maniobra moviendo el buque para evitar sobretensiones. Una vez que el cable está en cubierta, se continúa virando hasta dejar la distancia suficiente para poder abozar los dos lados, una vez hecho esto se toma la tensión en un lado con la máquina lineal, quedando el otro abozado a cubierta, zafamos los rezones virando del lado que tenemos en la máquina lineal y aflojando de la malleta con los rezones. Una vez desconectados los rezones, ya podemos pasar a la otra máquina el extremo que estaba abozado en cubierta, quedando asi la tensión en los dos lados sobre las máquinas lineales, procediendo a continuación a cortar el cable a ambos lados del rezón y cerca de las bozas, haciendo firmes con cabo los chicotes a las malletas, para así pasarlos mejor por los dinamómetros, tambores y máquinas lineales. Una vez realizadas todas estas operaciones se procede a virar el supuesto extremo largo, pasándolo al interior de la cubierta de cables, seguidamente se virará el extremo corto que será estibado una vez realizadas medidas, si fuere necesario, en un tanque de cables previamente indicado. Durante el paso del cable por los tambores se deberá prestar atención a las cuchillas de los tambores para evitar dañar el cable.

**Reparación con draga de corte y recuperación de ambos lados**: Cuando se efectúe una draga de corte, posteriormente será necesario realizar una draga de recuperación a cada lado, procediendo de la forma que acabamos de describir. El primer lado a recuperar en este caso será el lado supuesto sin averías. El proceso de

recuperación de ambos lados es el ya descrito anteriormente. Al recuperar el primer lado, una vez que el cable llega a bordo, se abozan los dos extremos, se corta el cable y se procede a pasarlo a la cubierta de cables para realizar pruebas y medidas. Una vez realizadas las pruebas se vira el extremo corto y se estiba en el tanque que indique el Jefe de Cables. El extremo bueno una vez saneado, se sella y se emboya, procediendo a recuperar el otro lado. Hay que dejar del punto de enganche al corte una distancia de aproximadamente el fondo, para evitar que al virar la draga el cable vaya resbalando por el rezón, sin embargo, con algunos rezones se pueden dejar distancias más cortas. Una vez recuperado el otro lado y después de repetir el mismo proceso, se comienza el Empalme Inicial en la punta saneada.

**Corte y recuperación de cable con ROV:** En operaciones con el ROV a bordo, se puede decidir en la reunión de coordinación que el ROV realice el corte y la recuperación del cable. Para ello se dará una tira desde el buque a la herramienta de enganche del ROV, unida por ligadas con cinta de fricción de fácil rotura, al umbilical. La tira se puede dar bien al inicio de la inspección, bien una vez finalizada ésta y subir el ROV a bordo. Tanto el momento de arriar el ROV con la tira, como la maniobra posterior de separación y recuperación del ROV se decidirá con el TEAM LEADER del ROV. Una vez cortado y enganchado el extremo de cable deseado, el ROV se separará del cable y se recuperará, el buque seguirá las evoluciones del ROV en combinación con el TEAM LEADER, virando el seno de la tira en algún momento de la operación para evitar que se líe con el ROV. Una vez que el ROV se encuentre en cubierta, se virará la tira hasta tener el cable a bordo.

**Recuperación de un Repetidor:** Cuando se esté recuperando un Repetidor y éste llegue a cubierta., pueden ocurrir dos casos:- Si el Repetidor pasa por los tambores, se continuará virando, manteniendo siempre tensión para evitar que el repetidor caiga mientras va dando las vueltas en el tambor. Una vez de que pase por la M/L se le llevará a su lugar de estiba.- En caso de que el Repetidor no pase por el tambor, se procederá a abozar el cable repetidas veces hasta pasarlo a la cubierta de cables y luego se le llevará a su lugar de estiba.

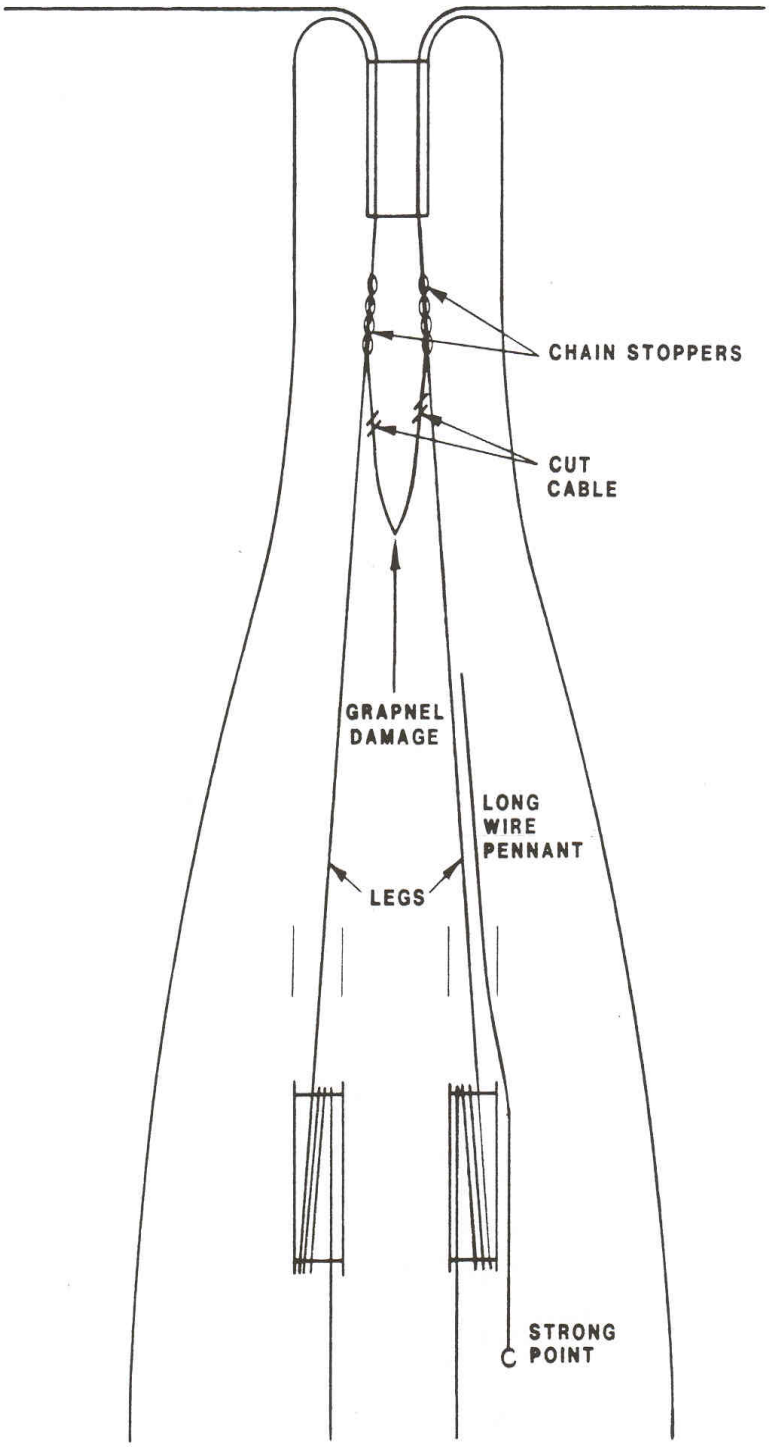



*Fig. Draga de recuperación de un cable dañado (Poca profundidad).*

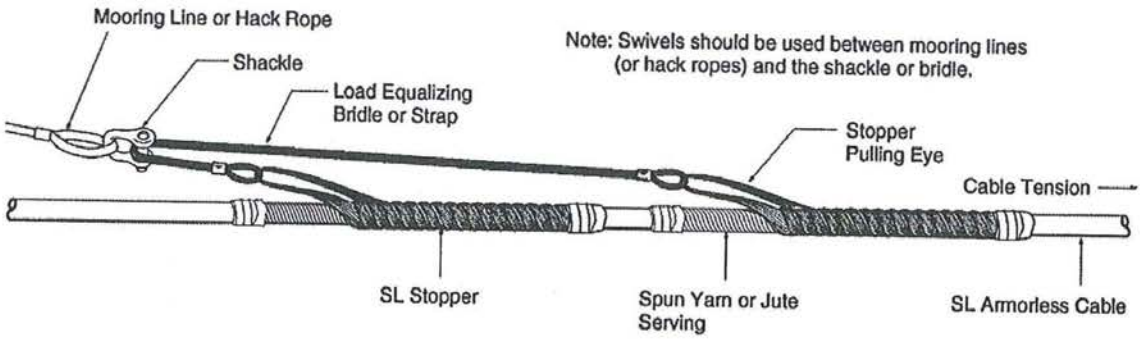



*Fig. Retenida para hacer firme un cable SL17 a cubierta.*

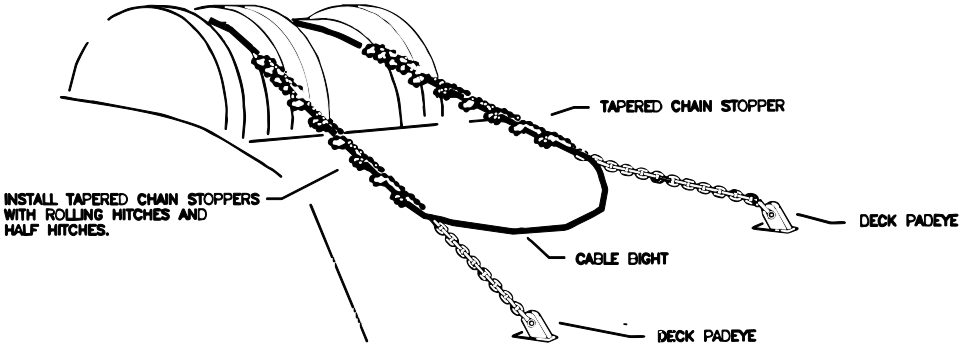



*Fig. Retenidas aplicadas a un cable recuperado.*

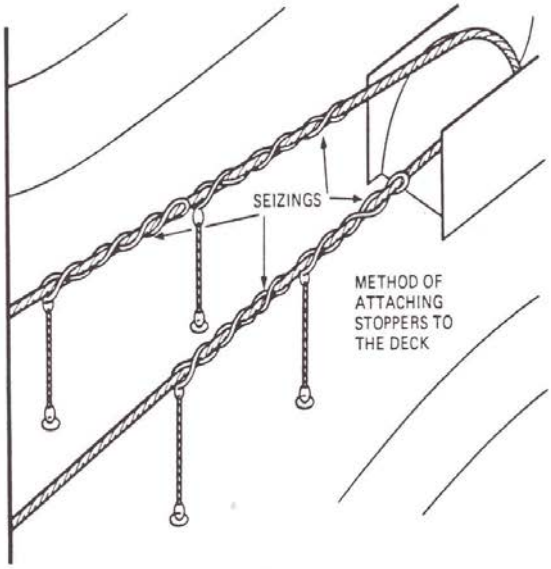



*Fig. Método de aplicación de retenidas.*

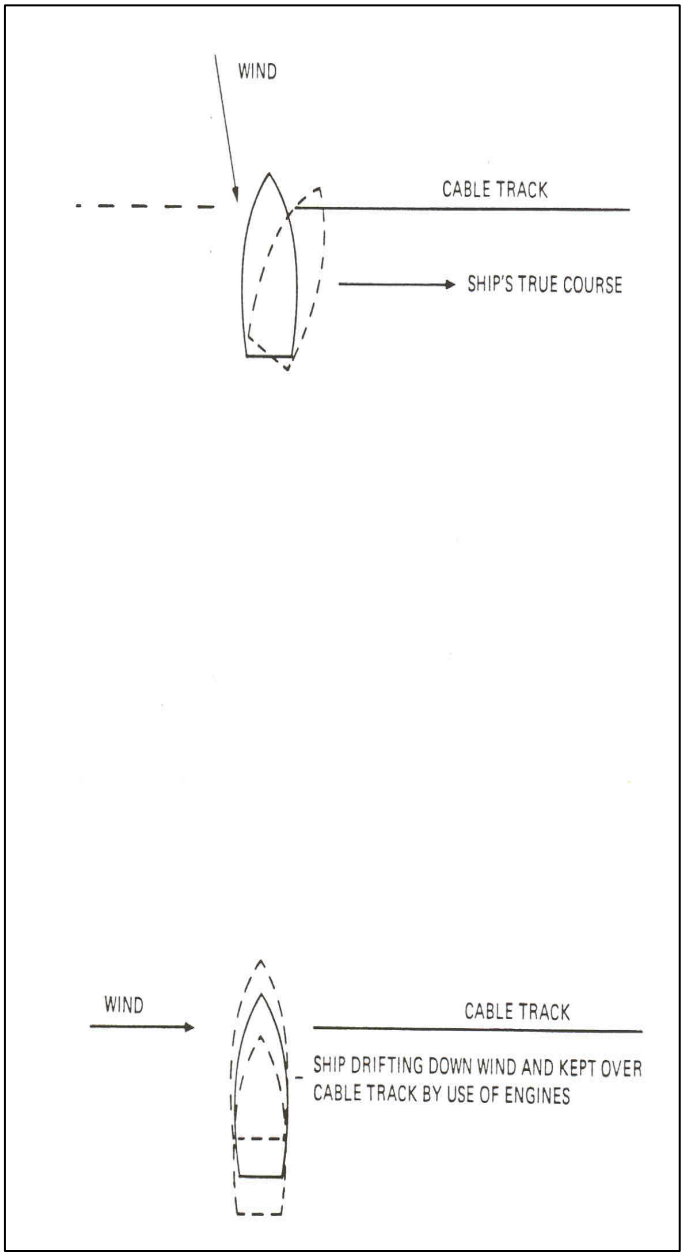



*Fig. Control del buque durante la recuperación.*

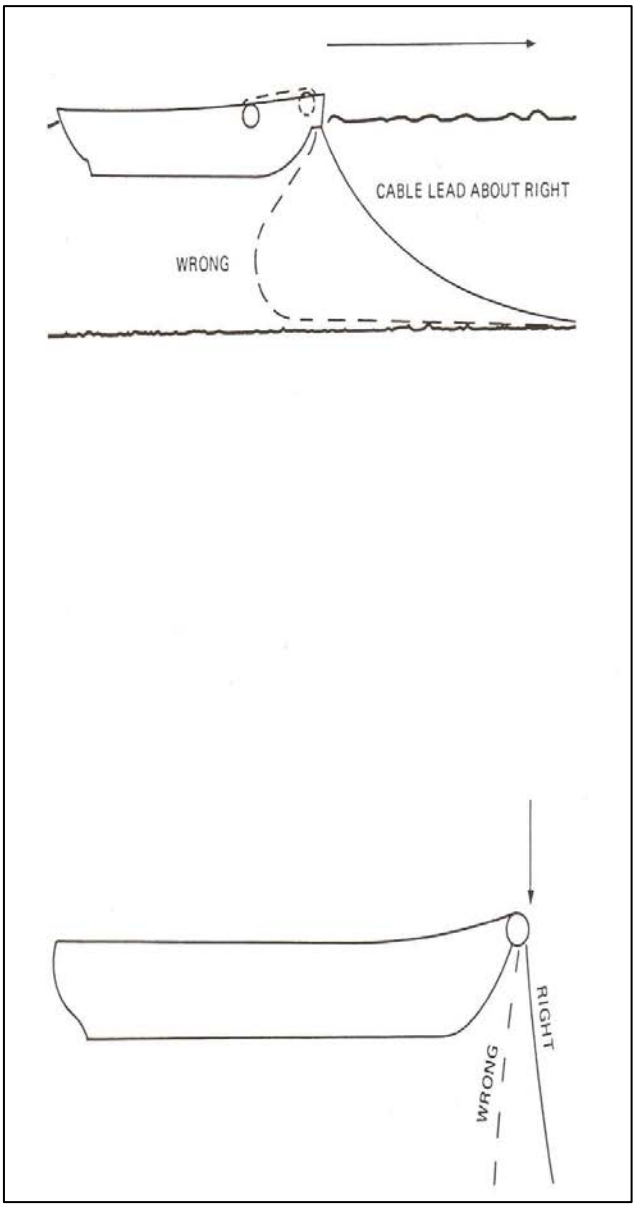



*Fig. Diagrama del extremo del cable durante su recuperación.*

**Material de dragado**

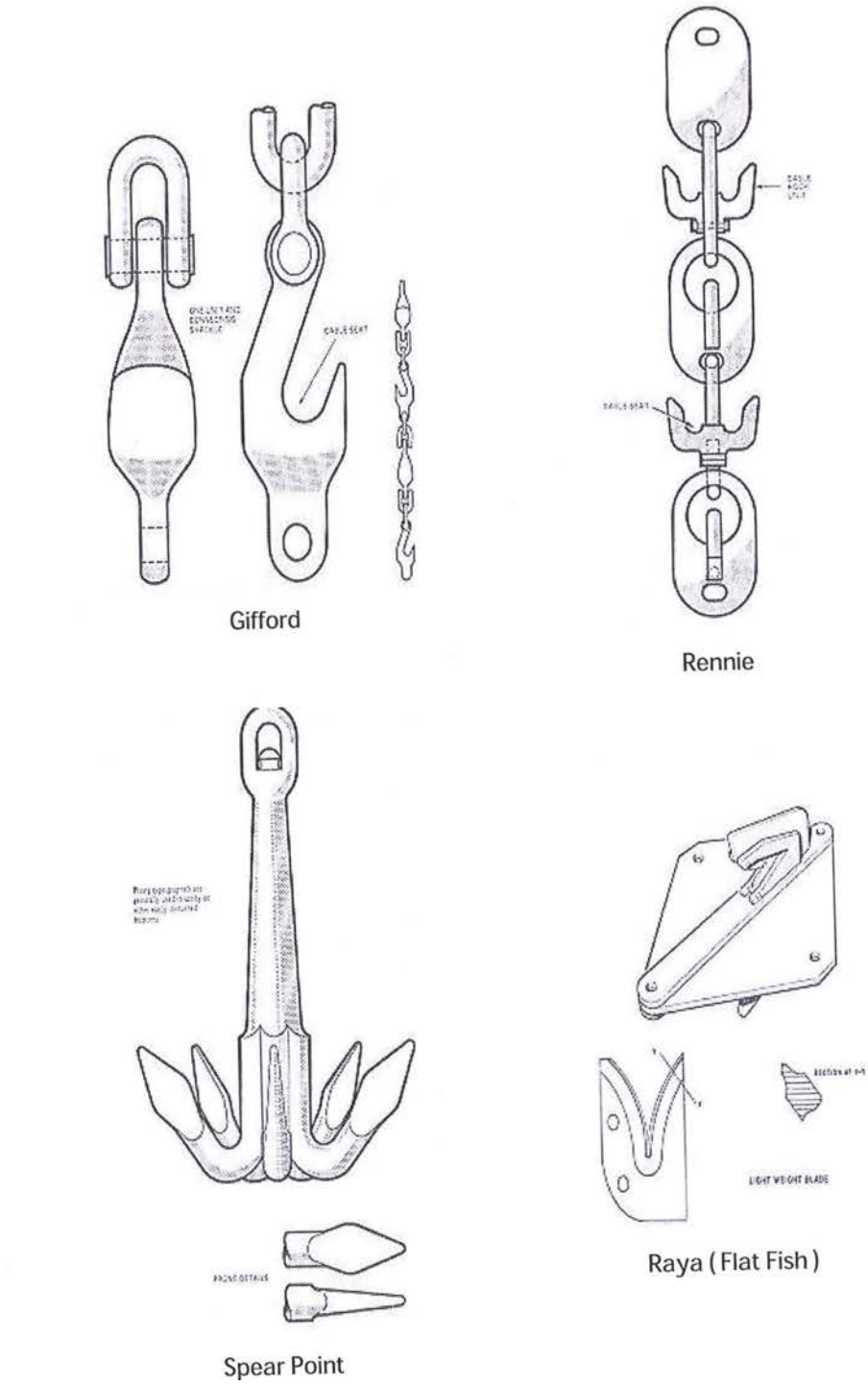



*Fig. Material para realización de dragado de recuperación y corte de cables.*

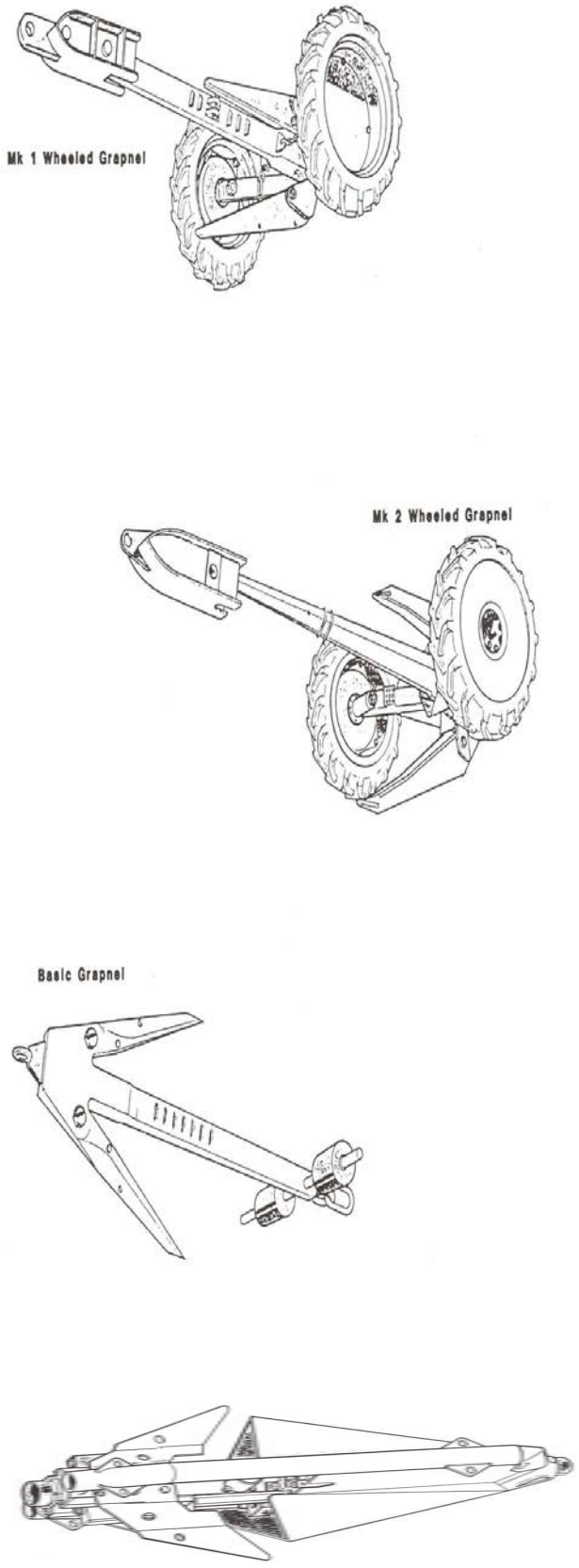



*Fig. Rezones de dragado para recuperación de cables enterrados.*

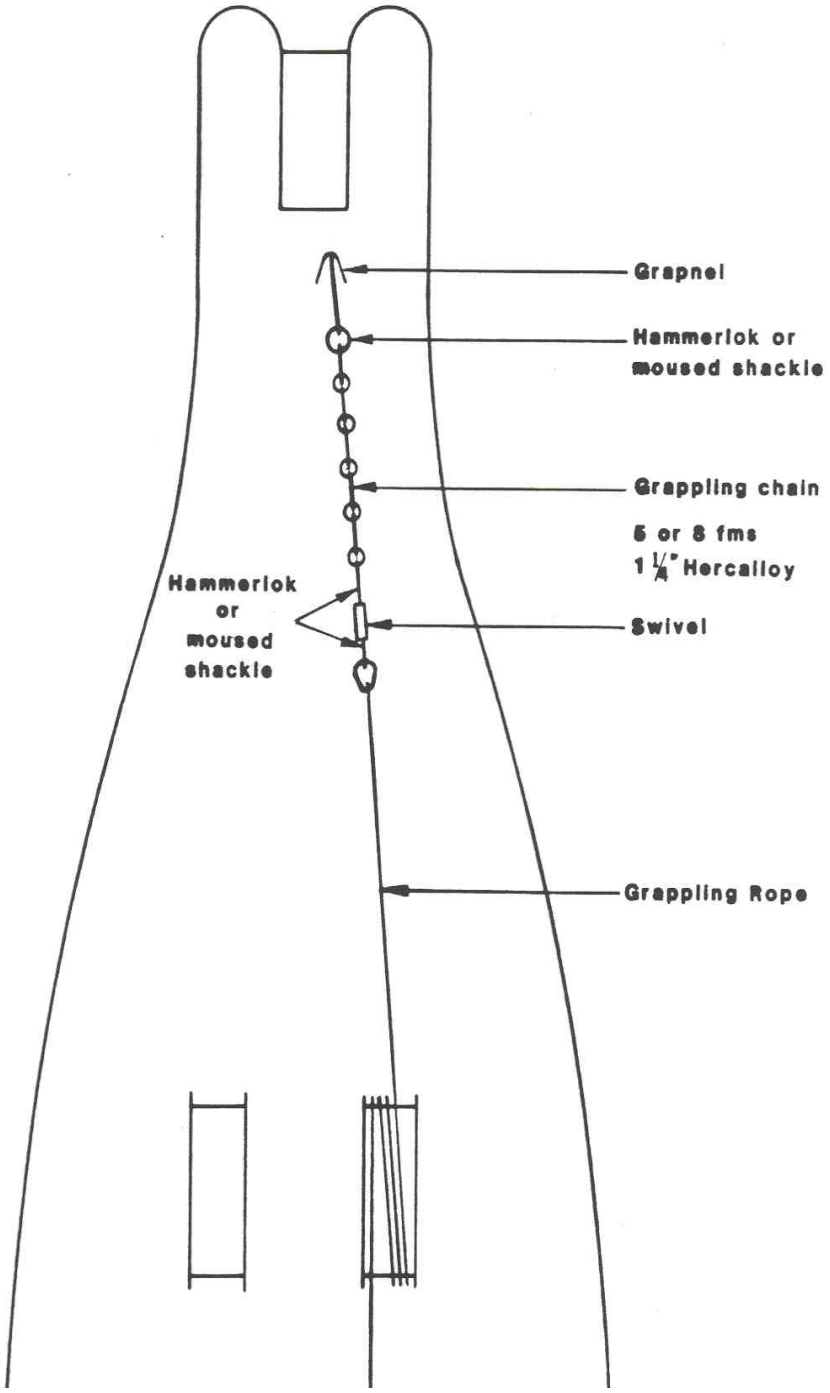



*Fig. Diagrama de composición de una draga de recuperación.*

**Diferentes composiciones de dragas:**

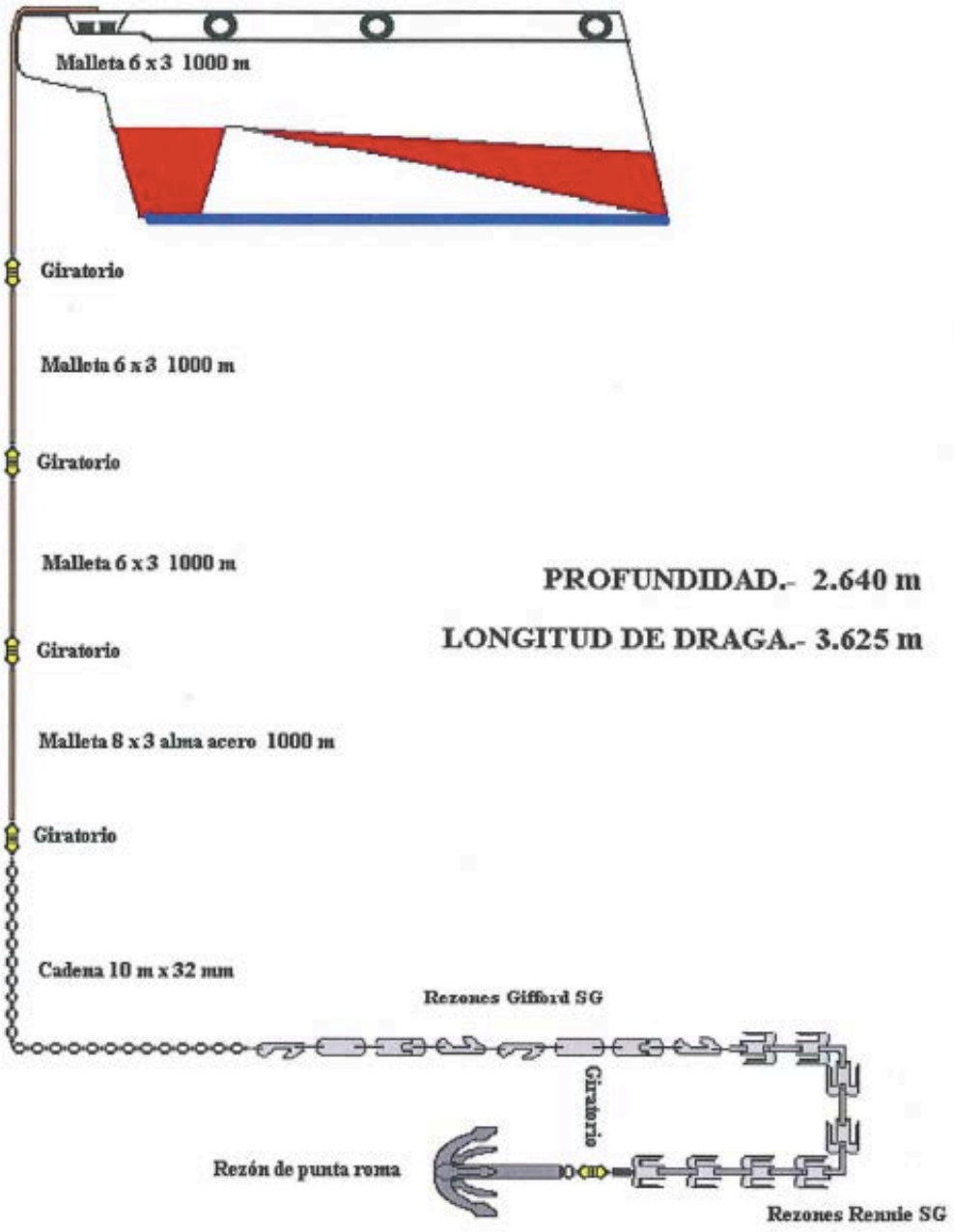



*Fig. Composición 1. Draga de recuperación.*

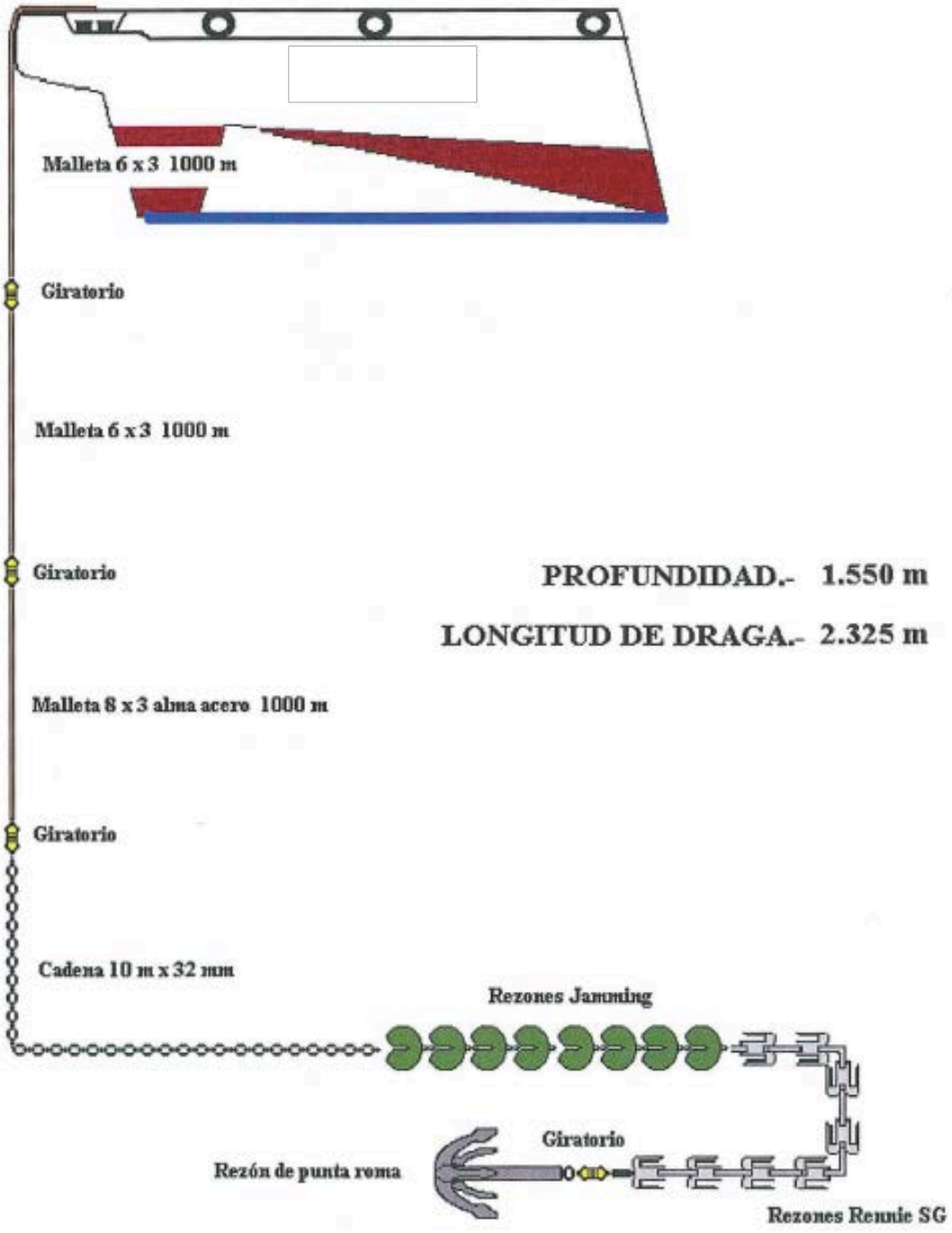



*Fig. Composición 2. Draga de recuperación.*

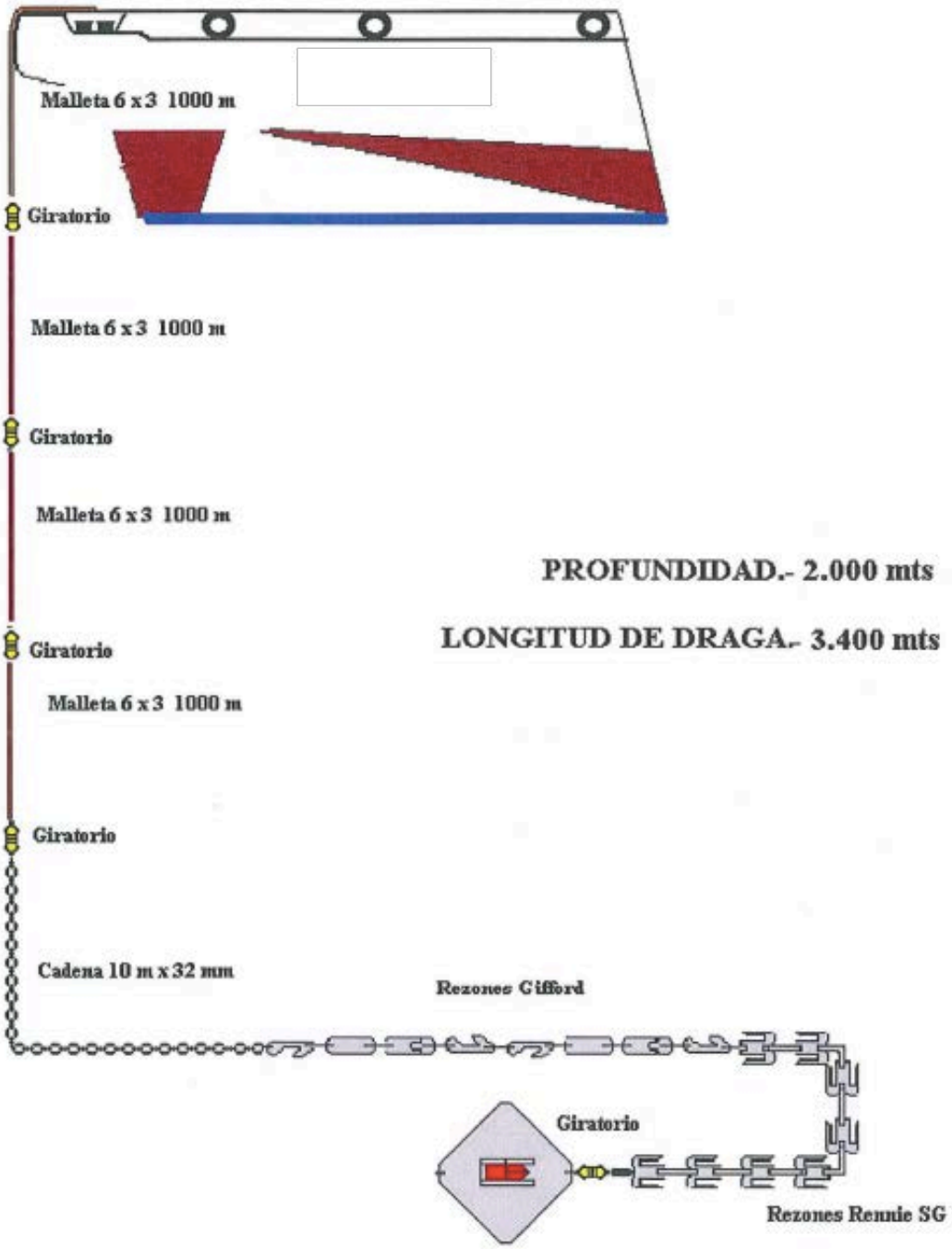



*Fig. Composición 3. Draga de recuperación o corte con Raya.*

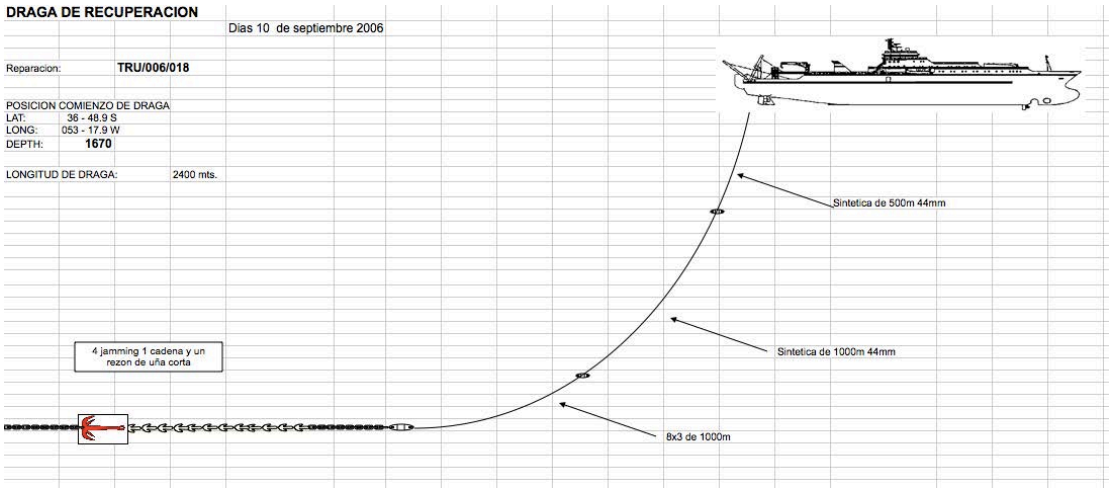



*Fig. Disposición de una draga de recuperación.*

| ROPE TYPE | SIZE (mm) | BREAKING LOAD (tonnes) | % STRETCH @ 25% B.S. | WEIGHT IN AIR (kg/100M) | WEIGHT IN AIR (tonnes/NM) | WEIGHT IN S.W. (tonnes/NM) | VOLUME (CuFt/NM) | VOLUME (CuM/NM) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BRITISH | 28 | 18.0 | 22.5 | 48.6 | 0.889 | 0.090 | 85 | 2.393 |
| ROPES | 32 | 22.0 | 22.5 | 63.5 | 1.161 | 0.117 | 110 | 3.126 |
| NYLON | 36 | 27.0 | 22.5 | 80.4 | 1.470 | 0.148 | 140 | 3.956 |
| BRAIDLINE | 40 | 36.0 | 22.5 | 98.8 | 1.807 | 0.182 | 172 | 4.884 |
| BRITISH | 28 | 15.2 | 10.0 | 59.7 | 1.092 | 0.281 | 85 | 2.393 |
| ROPES | 32 | 19.8 | 10.0 | 77.9 | 1.425 | 0.366 | 110 | 3.126 |
| TERYLENE | 36 | 26.2 | 10.0 | 98.8 | 1.807 | 0.465 | 140 | 3.956 |
| BRAIDLINE | 40 | 32.4 | 10.0 | 122.0 | 2.231 | 0.574 | 172 | 4.884 |
| MARLOW | 28 | 19.0 | 7.0 | 55.3 | 1.011 | 0.260 | 85 | 2.393 |
| ROPES | 32 | 24.0 | 7.0 | 72.8 | 1.331 | 0.342 | 110 | 3.126 |
| POLYESTER | 34 | 27.4 | 7.0 | 76.5 | 1.399 | 0.360 | 125 | 3.528 |
| SUPERLINE | 36 | 34.0 | 7.0 | 92.2 | 1.686 | 0.434 | 140 | 3.956 |
| | 40 | 38.0 | 7.0 | 110.0 | 2.012 | 0.517 | 172 | 4.884 |
| GRAPPLING | ROPES | | | | | | | |
| 8x3 SPEC | 53 | 45.7 | 0.0 | 389.0 | 7.114 | 3.839 | 303 | 8.574 |
| 8x3 | 53 | 27.5 | 0.0 | 221.0 | 4.042 | 1.316 | 303 | 8.574 |
| 6x3 | 41 | 21.3 | 0.0 | 157.0 | 2.871 | 0.932 | 181 | 5.131 |
| 4x3 | 32 | 14.2 | 0.0 | 105.0 | 1.920 | 0.749 | 110 | 3.126 |

*Fig. Tabla de características físicas de las malletas.*

| CHAIN SIZE (inches) | DECIMAL EQUIVALENT (inches) | METRIC (mm) | S.W.L. (tonnes) | PROOF LOAD (tonnes) | WEIGHT PER FTHM (kg) | WT/FTHM IN SEA WATER (kg) | WT/m IN SEA WATER (kg) | WT/100 FM IN SW (tonnes) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9/32 | 0.281 | 7 | 1.5 | 3.14 | 1.92 | 1.66 | 0.91 | 0.17 |
| 3/8 | 0.375 | 10 | 3.2 | 6.42 | 3.99 | 3.45 | 1.89 | 0.34 |
| 1/2 | 0.500 | 13 | 5.4 | 10.91 | 6.77 | 5.85 | 3.20 | 0.59 |
| 5/8 | 0.625 | 16 | 8.0 | 16.41 | 10.50 | 9.08 | 4.97 | 0.91 |
| 3/4 | 0.750 | 20 | 12.5 | 25.69 | 16.00 | 13.84 | 7.57 | 1.38 |
| 7/8 | 0.875 | 22 | 16.0 | 32.21 | 19.88 | 17.20 | 9.41 | 1.72 |
| 1 | 1.000 | 25 | 20.0 | 40.06 | 25.38 | 21.96 | 12.01 | 2.20 |
| 1 1/4 | 1.250 | 32 | 32.0 | 65.65 | 42.36 | 36.64 | 20.05 | 3.66 |

HAMMERLOK SHACKLES

| CHAIN SIZE (inches) | DECIMAL EQUIVALENT (inches) | METRIC (mm) | SHACKLE SIZE (mm) | SHACKLE SIZE (inches) | WEIGHT (kg) | WEIGHT IN S.W. (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9/32 | 0.281 | 7 | 8.7 | 3/8 | 0.1 | 0.1 |
| 3/8 | 0.375 | 10 | 13.2 | 1/2 | 0.3 | 0.3 |
| 1/2 | 0.500 | 13 | 17.3 | 11/16 | 0.7 | 0.6 |
| 5/8 | 0.625 | 16 | 21.4 | 7/8 | 1.0 | 0.9 |
| 3/4 | 0.750 | 20 | 25.0 | 1 | 1.7 | 1.5 |
| 7/8 | 0.875 | 22 | 27.9 | 1 1/8 | 2.7 | 2.3 |
| 1 | 1.000 | 25 | 31.0 | 1 1/4 | 4.0 | 3.5 |
| 1 1/4 | 1.250 | 32 | 37.0 | 1 7/16 | 7.1 | 6.1 |

*Fig. Tabla de características físicas de las cadenas y grilletes.*

## 9.4 Arriado y recuperación de boyas para operaciones de cables.

En muchas situaciones de reparación y tendido de cables submarinos es necesaria la utilización de boyas oceánicas. Éstas sirven para fondear el extremo del cable y posteriormente recuperarlo de la forma mas sencilla posible

En función de la profundidad y del estado y previsión de las condiciones meteorológicas, se decidirá la boya a utilizar, teniendo en cuenta las siguientes definiciones:

- Carga mínima: la mínima carga a utilizar para trabajar en buen tiempo.
- Carga máxima: la recomendada para trabajar en zonas donde haya corrientes fuertes.
- Carga de mal tiempo: la máxima carga a utilizar en condiciones de mal tiempo.

**Tipos de boyas:**

**Boya tipo A:** Es la utilizada en aguas profundas en las que hay fuertes corrientes, o en el caso de tener que dejarla por mucho tiempo. La experiencia demuestra que la utilización de esta boya es prácticamente inusual.

**Boya tipo B:** Para utilizar en aguas profundas y poco profundas con mal tiempo o fuertes corrientes. Al ser mayor facilita su localización, tanto visual como en el radar, a más distancia.

**Boya tipo C:** Para utilizar en aguas poco profundas o profundas en condiciones de buen tiempo. Tiene el inconveniente en tendidos largos de que su localización es a menos distancia que la tipo B, debido a su menor tamaño.

**Boya tipo D:** Para aguas poco profundas. Puede ser sustituida por una poliboya en condiciones óptimas de buen tiempo. aunque si en la zona hay actividad pesquera y el buque se aleja algo de la boya, es posible que desaparezca.

Para la composición del orinque se utiliza cadena, malleta y estacha sintética, todo ello combinado en función de la profundidad y de la carga requerida, utilizando grilletes giratorios en las conexiones entre malletas y sintéticas o con cadena.

Cuando se utiliza sintética hay que tener en cuenta el estiramiento de la misma al definir la longitud del orinque. La longitud del orinque, incluyendo el Side Rope, no será nunca inferior a la profundidad, sino siempre algo más, pero no en

exceso, ya que ello dará lugar a mayor radio de giro. Siempre se ajusta al final, antes de conectar la retenida.

Según el tipo de fondo y el tiempo se utilizarán uno o más champiñones para afirmar el orinque al fondo. Estos se conectan con cadena a la cadena del principio del orinque, la cadena normalmente es de 22 mm. Para no dañar el cable se coloca un cabo de fondo (Ground Rope) entre el cable y la cadena del principio del orinque. Su longitud puede ir desde los 50 m hasta lo que se crea conveniente, dependiendo de la profundidad, tipo de cable, reparación, etc. Si se va a dejar la boya durante mucho tiempo, es conveniente que el Ground Rope sea lo suficientemente largo como para permitir engancharlo mediante una draga por si se perdiera la boya.

El ***Side Rope*** es el cabo que conecta la boya con el orinque, y será de la longitud necesaria para ir desde el varadero de la boya hasta las roldanas de proa y poder hacer la conexión.

El rabo de la boya puede ser de alambre o sintético, con flotadores, de una longitud suficiente como para permitir engancharlo desde la proa con un grampin y con la suficiente resistencia como para poder virar de él la boya desde el agua hasta el varadero.

***Tendido del cable, cabo de fondo (ground rope), orinque y fondeo de la boya.***

La boya está previamente aparejada, así una vez sellado el extremo del cable, se abozará este al Ground Rope comenzando entonces a tender cable, Ground Rope y orinque.

En función de la profundidad y por tanto del cable, se tenderá éste, así como el cabo de fondo en la dirección que se considere más adecuada teniendo en cuenta una posible draga y el tendido desde el otro extremo.

Si la profundidad es poca, se tira un poco del cable y el Ground Rope (Cabo de fondo) y se comienza a arriar el orinque, maniobrando con el buque para que el orinque nos vaya llamando a pique. Cuando tengamos en la proa la longitud del orinque estipulada, que previamente se ha conectado a una retenida, se engrilleta el Side Rope y se continúa arriando retenida hasta que se considere oportuno el cortarla, teniendo en cuenta que el orinque debe llamar un poco hacia el costado en el

que tenemos situada la boya. Una vez cortada la retenida y cuando la boya comienza a abrir del buque, maniobramos para separarnos dejándola libre.

En gran profundidad, se tenderá el cable y el cabo de fondo o Ground Rope, comenzando de seguido a arriar el orinque, trabajando en el sentido del cable, a fin de que éste y el Ground Rope queden bien tendidos, poco antes de que tengamos en la proa el extremo del orinque y el comienzo de la retenida, maniobraremos con el buque para llevar el orinque a pique. Cuando el extremo del orinque esté en la proa y antes de engrilletar el Side Rope, se verá si los champiñones han tocado ya o no fondo, por si es necesario ajustar la longitud del orinque. Esto se comprueba con la longitud de orinque arriada, la sonda y la tensión (se aprecia una caída de la misma en el momento de tocar fondo). Una vez que los champiñones ya han tocado fondo y que tengamos en la proa la retenida engrilletada al orinque, conectaremos el Side Rope y se arriará la retenida, maniobrando con el barco para que nos llame un poco hacia el costado donde esté situada la boya. Cuando se vea que todo está bien, se corta la retenida y se maniobra con el barco para separarse de la boya, hasta que nos hayamos alejado una distancia prudencial.

Tanto en aguas profundas como en poco profundas, se anotará la posición en el momento de arriar la boya, comprobándola nuevamente una vez que nos hayamos separado de la misma.

***Recuperacion de la boya***

Al ir a recuperar la boya se nos pueden presentar dos casos, que vallamos tendiendo cable o no. En el primer caso se debe tener en cuenta la longitud del orinque y el cabo de fondo, para llegar a la boya teniendo a bordo una longitud de cable similar o superior, además el hecho de ir tendiendo cable restringirá la capacidad de maniobra del buque. Si no se va tendiendo cable, el buque conserva toda su capacidad de maniobra. En ambos casos nos aproximamos a la boya tomando como referencia el rabo de la misma, que nos indica como trabaja el viento y/o la corriente.

Se efectuará la aproximación a una velocidad conveniente, ya sea tendiendo cable o no, hasta estar próximos a la boya, momento en el cual se irá reduciendo de acuerdo con las condiciones de viento, mar y tensión si fuere el caso.

La aproximación se realizará a ser posible perpendicular a la boya (el rumbo efectivo) y acercándose a ella, si es posible, teniendo hacia nosotros la punta del rabo de la boya. Cuando se esté muy próximo a la boya, se cambiará el rumbo para que nos venga cerca del costado por donde se quiere recuperar la boya, la dejaremos a la altura de la amura y se enganchará el rabo de la boya con los grampines previamente preparados para ello.

Una vez enganchado el rabo de la boya, se engrilleta con el alambre del Chigre de boyas, maniobrando para acercar la boya a la altura del varadero correspondiente y una vez situada la boya en el varadero se conecta el cabo de recuperación a la cadena de la boya preparada para ese fin, disparando la otra y pasando todo el peso del orinque a las roldanas de proa mediante el cabo de recuperación que estaba ya preparado, procediendo a virar todo el orinque y el cabo de fondo hasta que llegue el cable a bordo. Al principio, después del Side Rope, llegará a bordo el trozo de retenida que hayamos utilizado para arriar la boya, el cual se desconectará y se continuará virando el orinque.

Mientras el o los champiñones no lleguen a bordo, se notará que la tensión es bastante alta, debido a su peso y a la resistencia que, debido a su forma, ejercen al ser virados. Una vez los champiñones a bordo, se desconectarán del orinque y se continuará virando el cabo de fondo (Ground Rope) hasta que el chicote del cable llegue a bordo.

Durante todo el proceso de virado se mantendrá el orinque a pique, controlando las tensiones para evitar dañar el cable y quedando éstas reflejadas en los registradores de tensión de la máquina lineal. Si estamos tendiendo cable iremos arriando y aguantando, según vaya pidiendo mientras se vira y controlando también la tensión del cable que estamos tendiendo. Las tensiones máximas admisibles varían según el tipo de cable submarino y sus propias características físicas.

Una vez el cable a bordo, se pasa hasta la zona donde se va  a realizar el Empalme Final.

**Composiciones de los distintos tipos de boyas con sus cargas.**

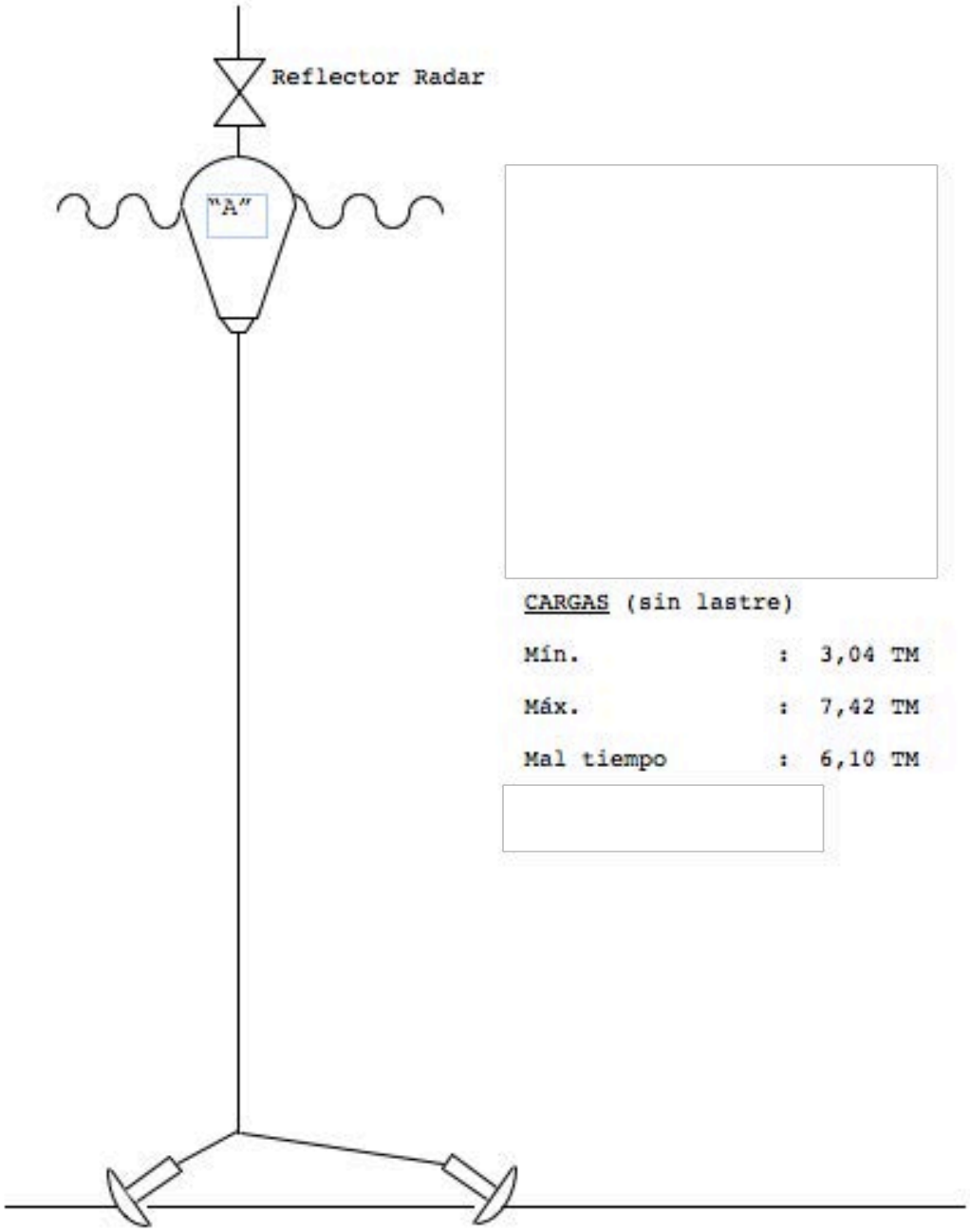



*Fig. Boya tipo A.*

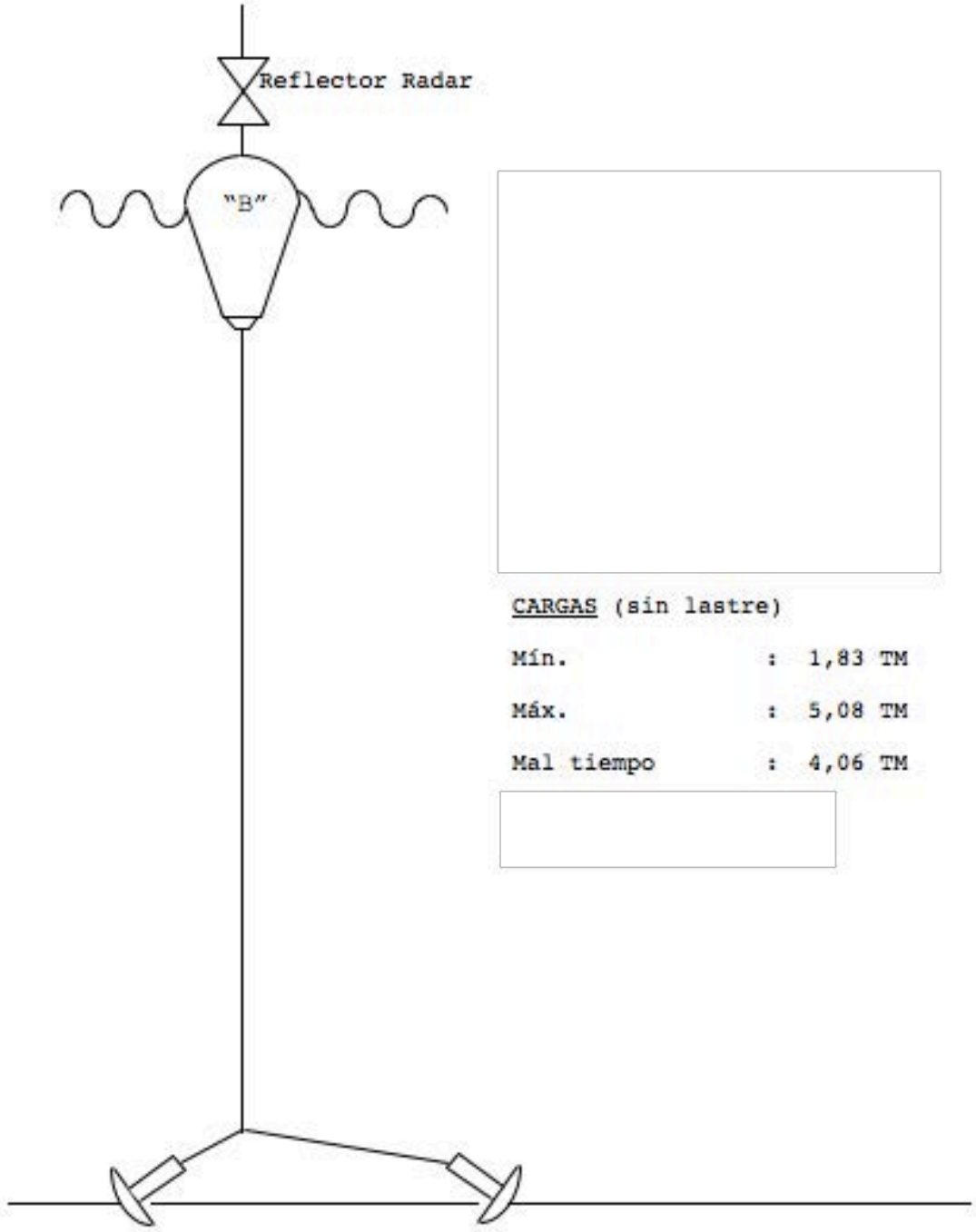



*Fig. Boya tipo B.*

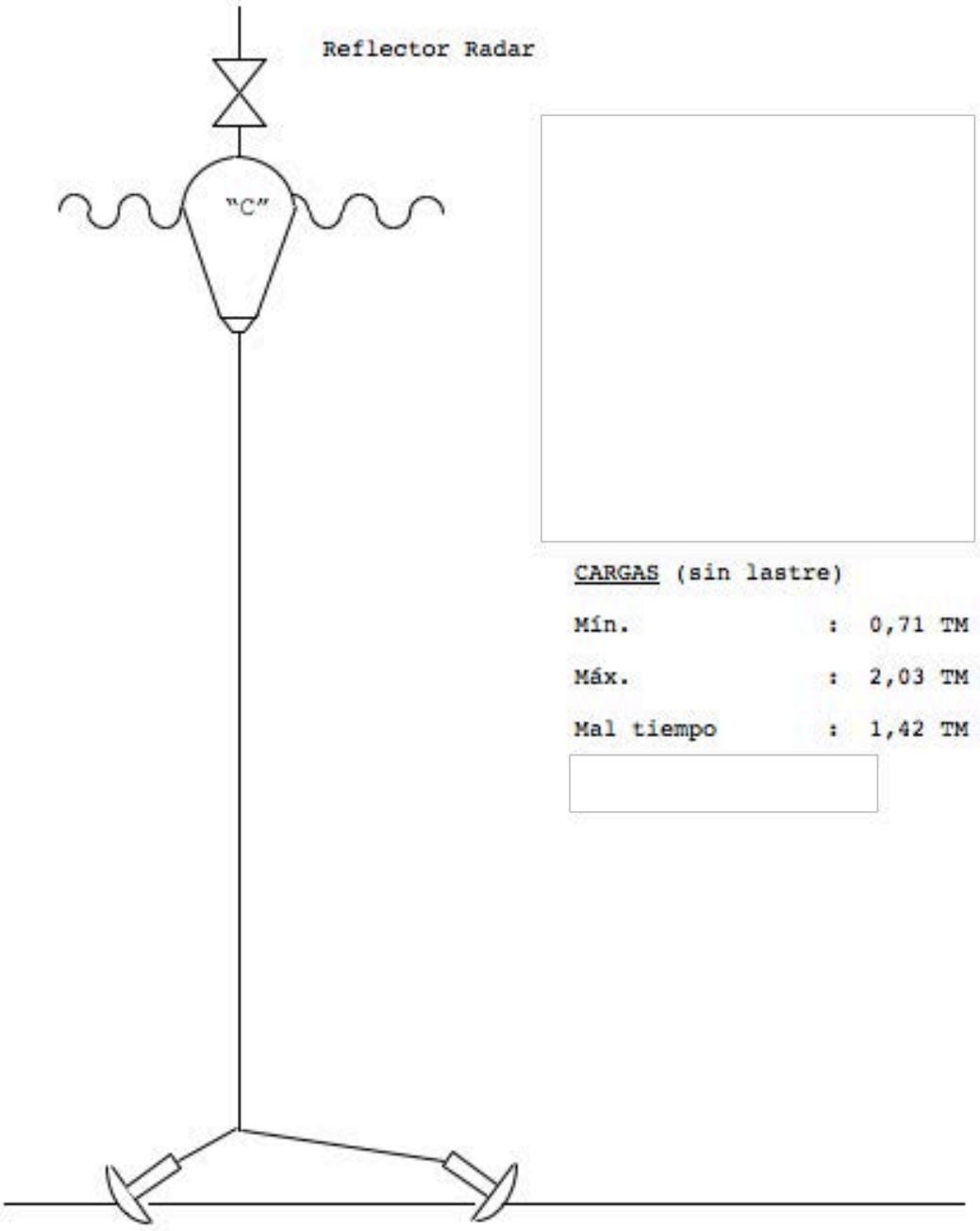



*Fig. Boya tipo C.*

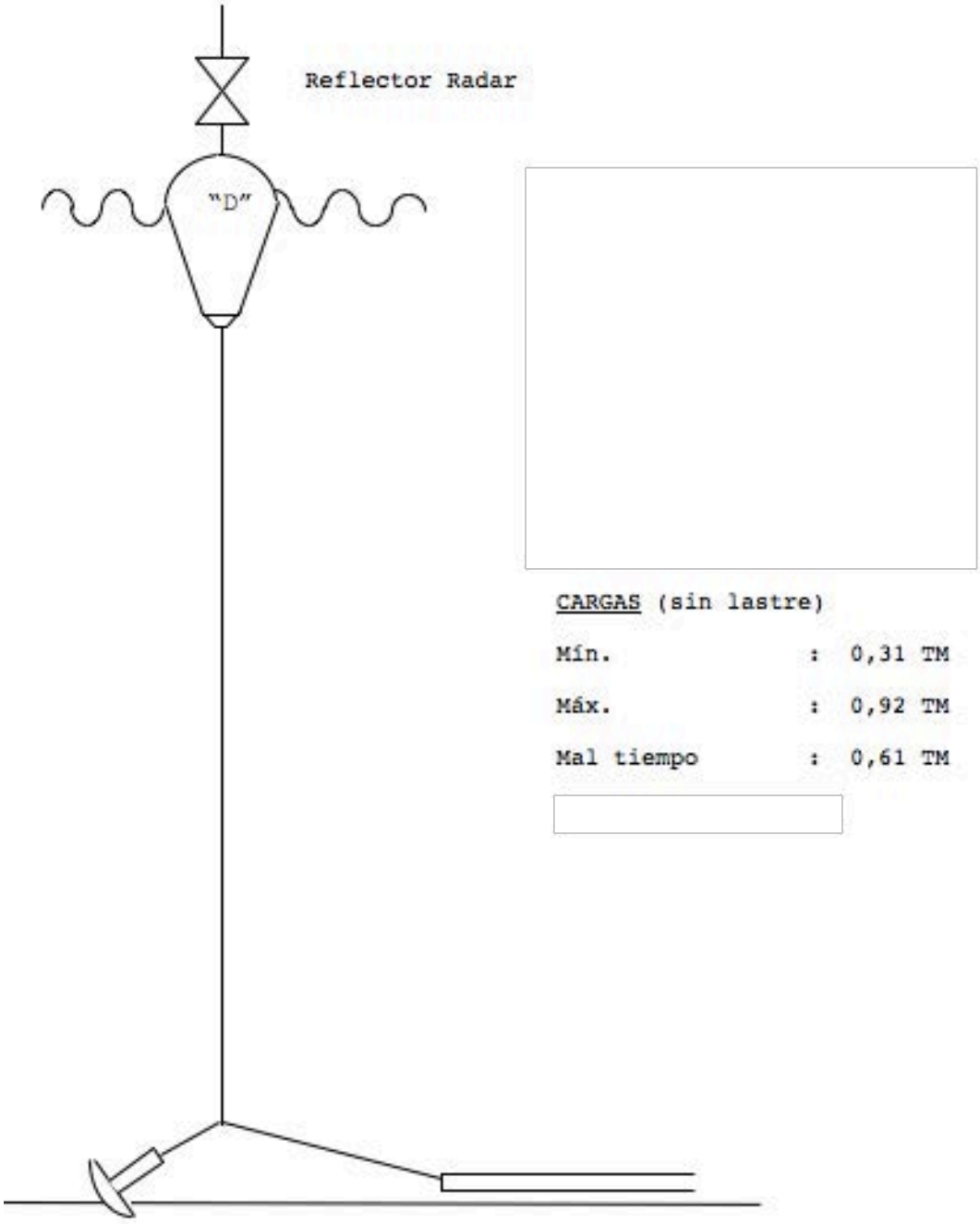



*Fig. Boya tipo D.*

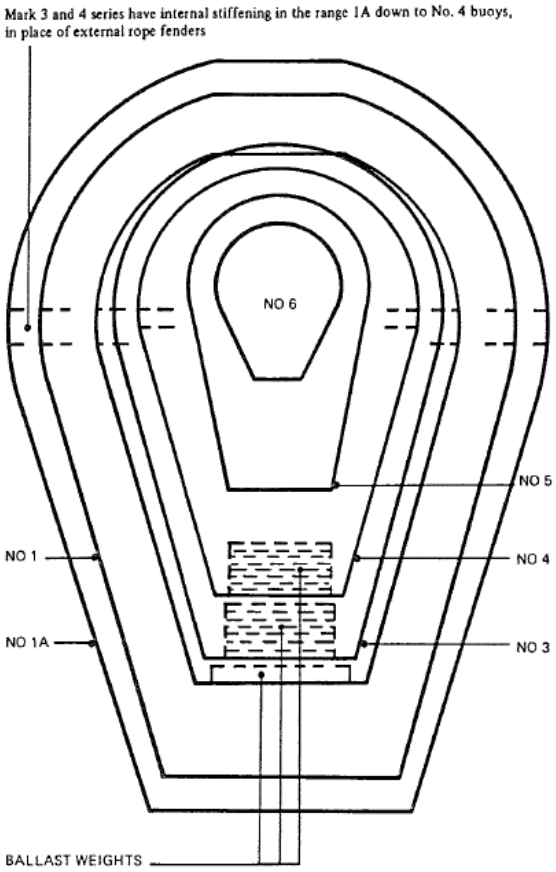



*Fig. Diferentes formas y tamaños de boyas.*

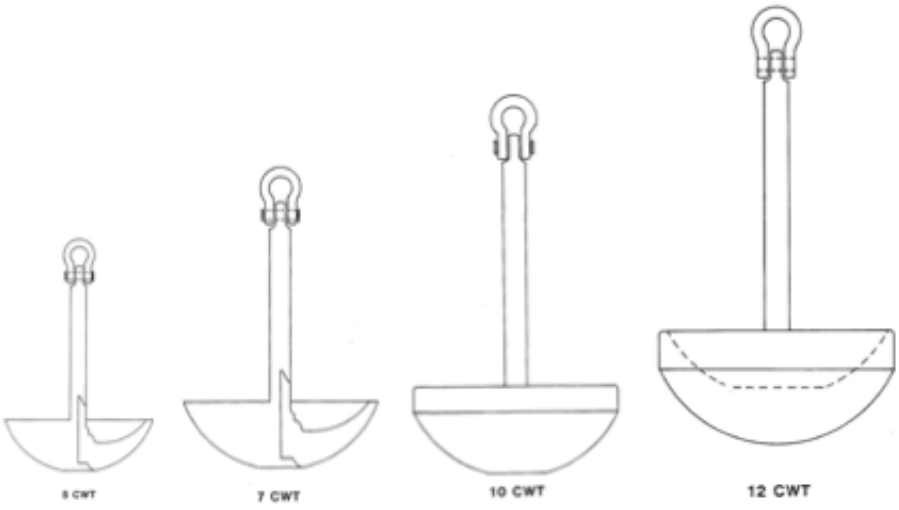



*Fig. Diferentes tamaños de anclas de hongo o champiñón.*

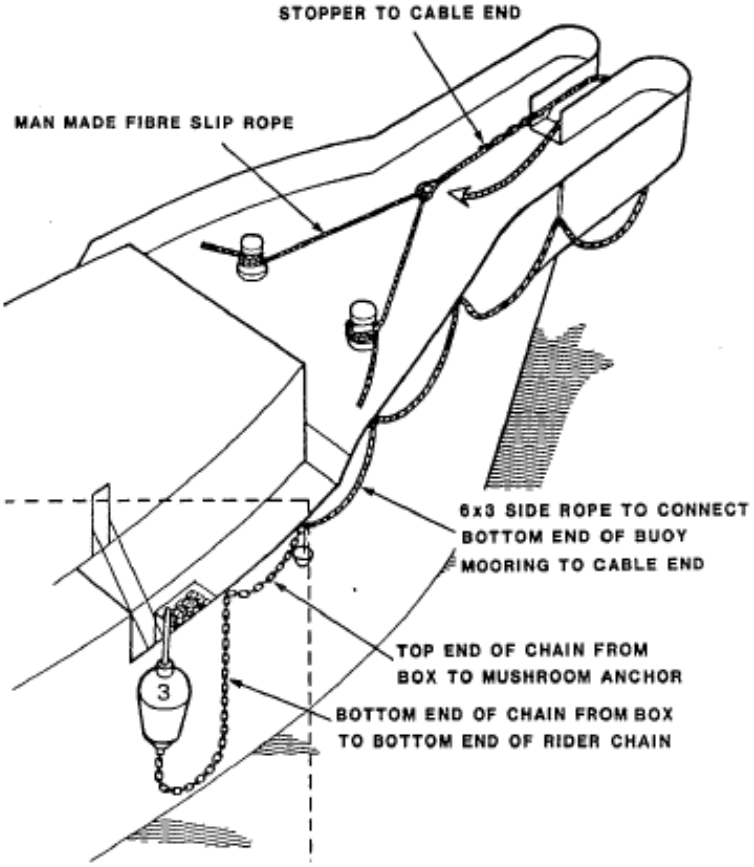



*Fig. Arriado de boya en aguas poco profundas.*

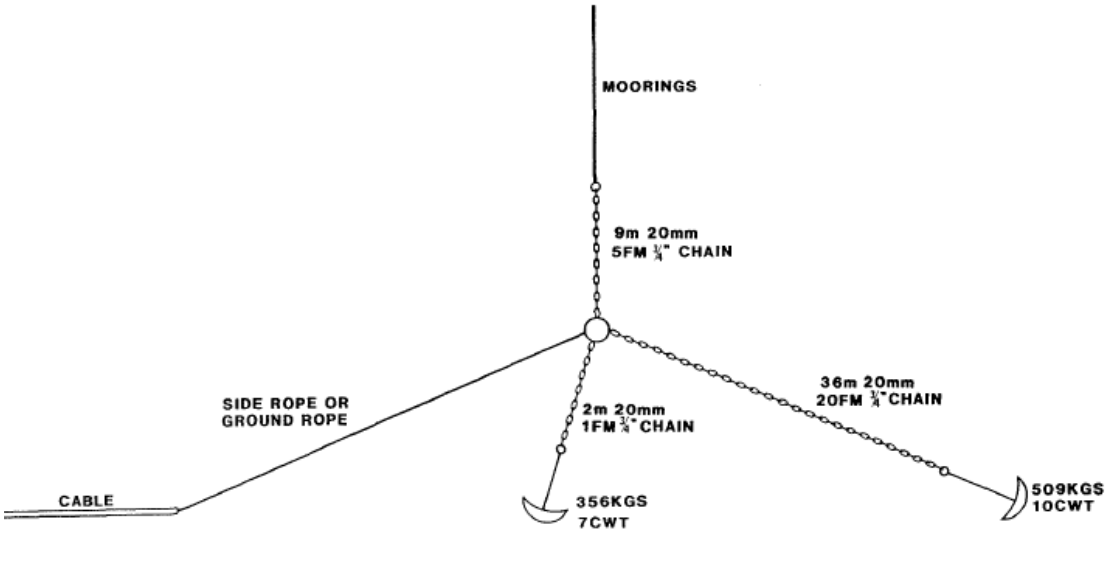



*Fig. Disposición de las anclas de hogo o champiñón.*

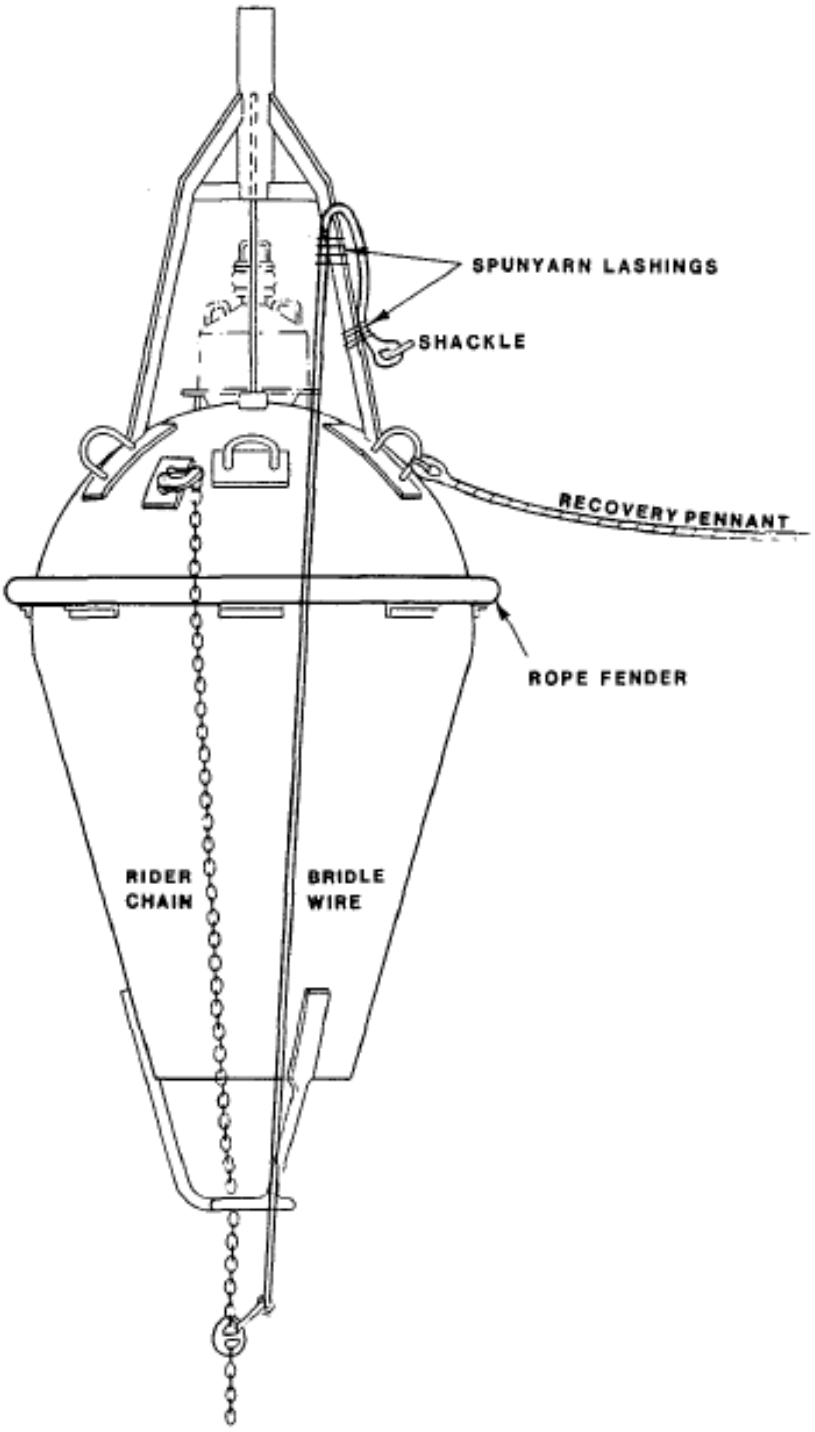



*Fig. Diagrama de una boya de un buque cablero.*

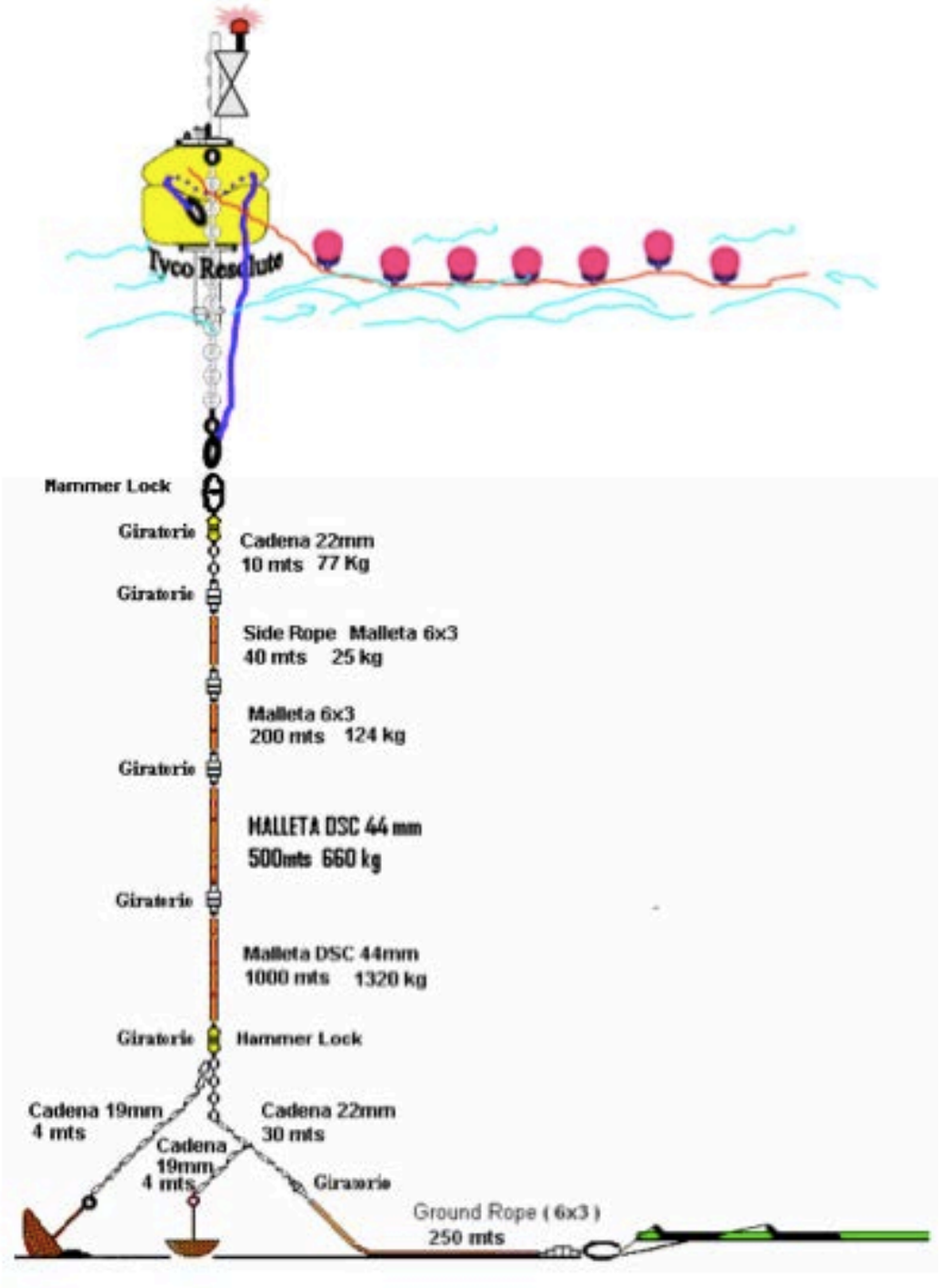



*Fig. Diagrama completo de una boya tipo C.*

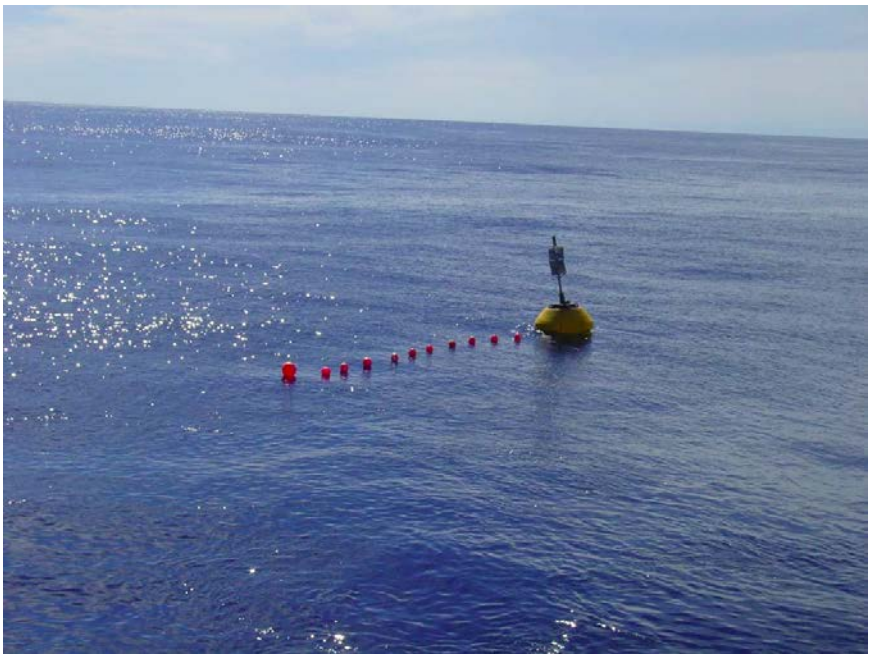


*Fig. Boya fondeada.*

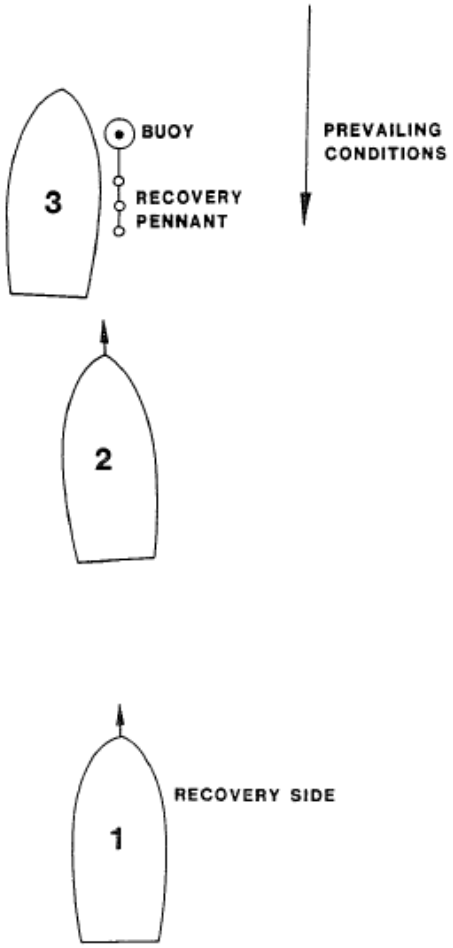



*Fig. Maniobra de acercamiento a una boya.*

| Buoy Size | Total Displacement of Buoy | Gross Weight of Buoy | Total Floating Capacity | 1 Sea Working | 2 Minimum Sea Load | 3 Maximum Sea Load |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1A Mk 3 | 13.0Tons<br>13.2Met.Tons | 1.75Tons<br>1.78 | 11.25Tons<br>11.42 | 6.0Tons<br>6.1 | 3.0Tons<br>3.04 | 7.3Tons<br>7.42 |
| 1AL Mk 4 | 13.0Tons<br>13.2Met.Tons | 1.95Tons<br>1.98 | 11.05Tons<br>11.25 | 6.0Tons<br>6.1 | 3.0Tons<br>3.04 | 7.3Tons<br>7.42 |
| 1 Mk 3 | 9.5Tons<br>9.65Met.Tons | 1.5Tons<br>1.53 | 8.0Tons<br>8.15 | 4.0Tons<br>4.06 | 1.8Tons<br>1.83 | 5.0Tons<br>5.08 |
| 1L Mk 4 | 9.5Tons<br>9.65Met.Tons | 1.7Tons<br>1.73 | 7.8Tons<br>7.95 | 4.0Tons<br>4.06 | 1.8Tons<br>1.83 | 5.0Tons<br>5.08 |
| 2 Mk 3 | 4.15Tons<br>4.22Met.Tons | 1.0Tons<br>1.016 | 3.15Tons<br>3.2 | 1.4Tons<br>1.42 | 0.7Tons<br>0.71 | 2.0Tons<br>2.03 |
| 2L Mk 4 | 4.15Tons<br>4.22Met.Tons | 1.15Tons<br>1.17 | 3.0Tons<br>3.05 | 1.3Tons<br>1.37 | 0.7Tons<br>0.71 | 2.0Tons<br>2.03 |
| 3 Mk 3 | 3.2Tons<br>3.25Met.Tons | 0.52Tons<br>0.53 | 2.68Tons<br>2.73 | 1.2Tons<br>1.22 | 0.6Tons<br>0.61 | 1.6Tons<br>1.63 |
| 3 Mk 4 | 3.2Tons<br>3.25Met.Tons | 0.52Tons<br>0.53 | 2.68Tons<br>2.73 | 1.2Tons<br>1.22 | 0.6Tons<br>0.61 | 1.6Tons<br>1.63 |
| 4 Mk 3 | 1.65Tons<br>1.68Met.Tons | 0.42Tons<br>0.426 | 1.23Tons<br>1.25 | 0.6Tons<br>0.61 | 0.3Tons<br>0.31 | 0.9Tons<br>0.915 |
| 4 Mk 4 | 1.65Tons<br>1.68Met.Tons | 0.42Tons<br>0.426 | 1.23Tons<br>1.25 | 0.6Tons<br>0.61 | 0.3Tons<br>0.31 | 0.9Tons<br>0.915 |
| 4 Mk 6 | 1.65Tons<br>1.68Met.Tons | 0.42Tons<br>0.426 | 1.23Tons<br>1.25 | 0.6Tons<br>0.61 | 0.3Tons<br>0.31 | 0.9Tons<br>0.915 |
| 5 Mk 3&4 | 0.475Tons<br>483 Kilograms | 0.155Tons<br>157Kgs | 0.32Tons<br>325Kgs | 0.16Tons<br>162Kgs | 0.08Tons<br>81Kgs | 0.24Tons<br>244Kgs |

*Fig. Tabla de características de flotabilidad de las boyas.*

## 9.5 Tendido del empalme final

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

En primer lugar explicaremos brevemente la forma de proceder antes de la realización del mismo, para una mejor comprensión a la hora de explicar la forma de proceder en el arriado del empalme final.

Una vez los dos extremos de cable en cubierta, se aboza uno de ellos en cubierta, se sacan las vueltas del tambor, se coloca la pata en el tambor y se hace firme al cable, bien por medio de una boza preformada o bien trenzándola al cable si este es armado. Se toma la tensión en la pata, se desconecta de cubierta y se arria poco a poco hasta tener la punto del cable en la posición requerida para el empalme.

Se repite la misma operación con el otro extremo de cable, quedando todo listo para el comienzo del empalme final.

Durante la ejecución del empalme se colocan bazas de seguridad en ambos lados y se maniobra con el buque para que las tensiones sean mínimas y que los cables llamen en la dirección en que han sido tendidos a fin de evitar la formación, de cocas.

Cuando el empalme está listo para ser arriado se comienza en la proa a dar ligadas a las patas en ambos lados, arriando a continuación los dos cable poco a poco, dando ligadas a medida que se va arriando.

Cuando el extremo de cada pata va a llegar a la máquina lineal, se engrilleta una retenida a cada una y una vez estén las conexiones de las retenidas a proa de los dinamómetros, se engrilletan ambas patas a una sola retenida, continuando arriando poco a poco, hasta que el seno llegue al agua.

Mientras se realiza esta operación el buque va moviéndose despacio en sentido perpendicular a la línea del cable, ayudando así a que el seno del empalme final salga bien extendido llamando por largo.

Cuando el seno del empalme esté en el agua se continúa arriando retenida y maniobrando con el buque para que el seno quede bien tendido en el fondo.

Una vez arriada la longitud de retenida que se haya estipulado, se corta en cubierta o en caso de utilizar gancho disparador, se dispara el mismo soltándose la

retenida y finalizando la operación, no sin antes esperar a que llegue la confirmación de las estaciones terminales de que la reparación ha sido satisfactoria.

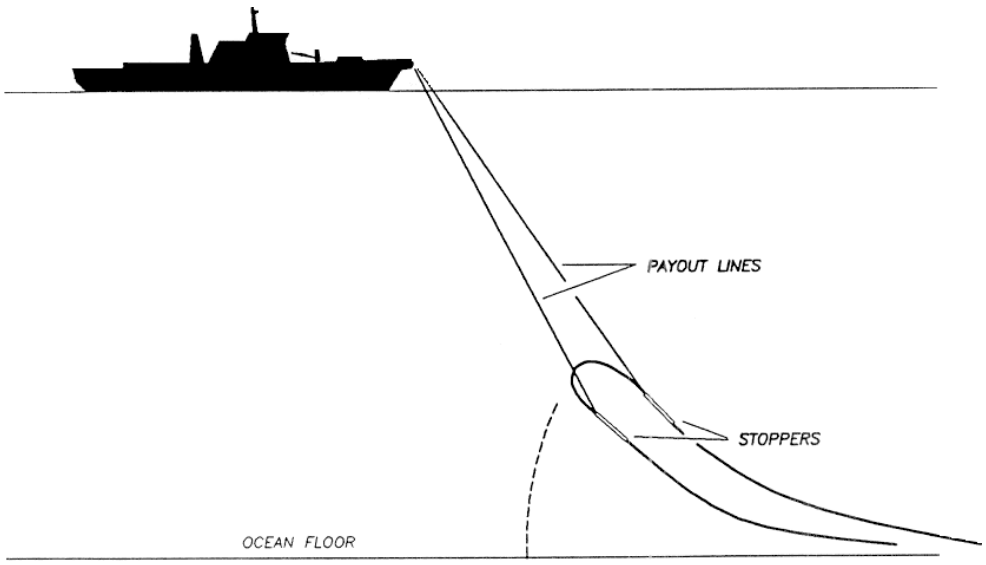



*Fig. Tendido del empalme final en aguas poco profundas.*

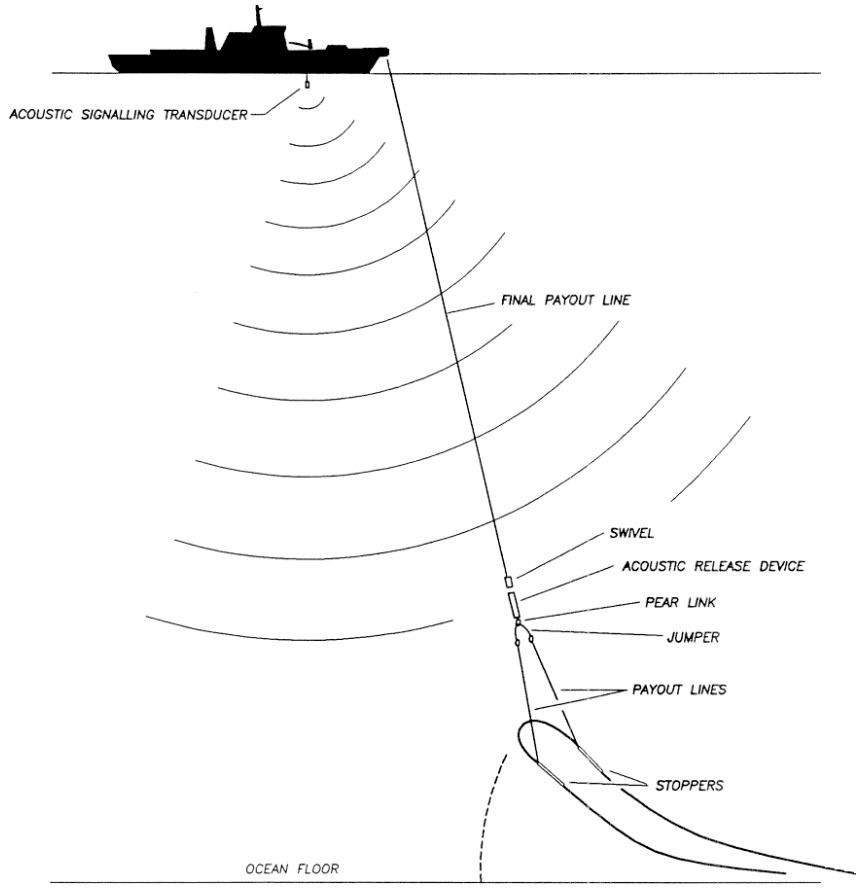



*Fig. Tendido del empalme final con gancho disparador.*

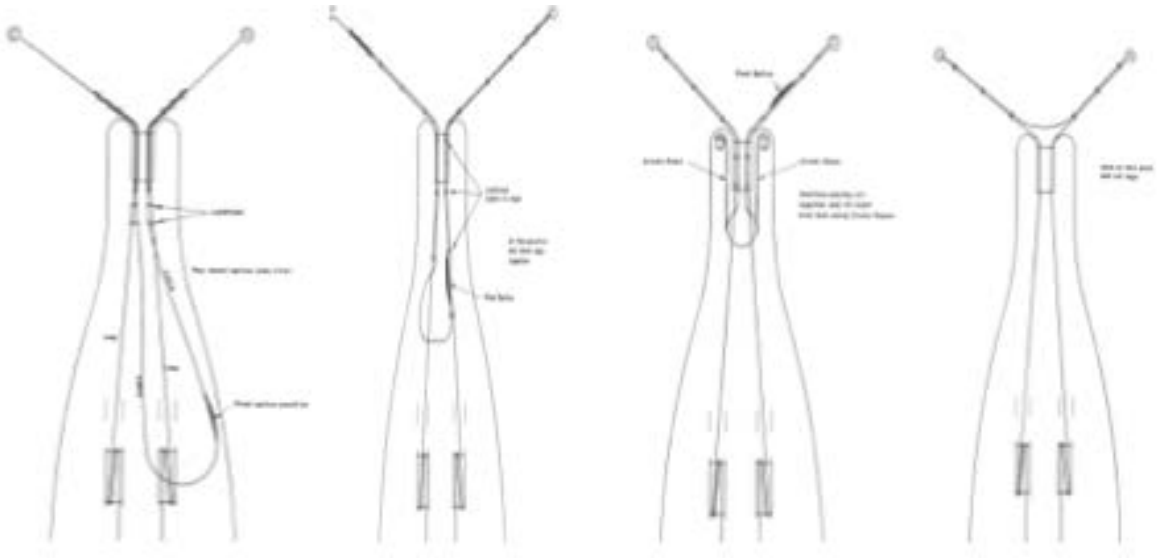


*Fig. Tendido de un empalme final.*

## 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.

En todos los sistemas, ya sean de cables coaxiales o de fibra óptica, es necesario realizar una serie de trabajos previos y durante los tendidos en las respectivas playas, que necesitan del suministro de ciertos medios técnicos y humanos, para llevar a buen fin dichos trabajos.

Normalmente todos los trabajos necesarios para el amarre del cable submarino en la playa, se desarrollan en un solo día, comenzando al amanecer.

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.

**Inicio del tendido de una instalación de cable submarino de fibra óptica en una playa (shore End).**

El personal de tierra prepara el lugar donde ira conectado el cable. Con ayuda de excavadoras se prepara una zanja para alojar el cable desde la orilla hasta el punto de conexión en tierra.

*Fig. Zanja para alojar el cable.*

El barco se posiciona en modo DP lo más cerca posible de la costa y permanecerá en una posición estacionaria durante el tendido. Esta distancia dependerá del calado en la zona así como de las condiciones meteorológicas, corrientes, marea, etc. Por medio de una embarcación auxiliar se lleva el chicote del cable de fibra óptica desde el barco hasta la playa.

Muchas veces esta operación se realiza con ayuda de un mensajero, un cabo fino para “unir” la playa con el buque. Se une el cabo al cable mediante un giratorio, y una vez esté el cabo en la playa, se hace pasar por una polea anclada en un lugar fijo de la playa, de esta manera un tractor o similar, amarrado al extremo del cabo, tira de este mediante carreras sucesivas a lo largo de la playa, haciendo así llegar el cable submarino (amarrado al cabo y suspendido cerca de la superficie mediante una serie de boyas o flotadores atados a unas piolas) hasta su introducción en la cámara de amarre.

El cable submarino termina en el BMH (Beach Manhole) que es una cámara en la playa donde se empalma el cable submarino al terrestre. Además en dicha cámara se conecta también la tierra de la telealimentación.

*Fig. Beach Manhole.*

Debe llevarse un ligero exceso de cable hasta la playa con el fin de evitar posibles suspensiones, este exceso se mantendrá en la playa en forma de zigzag.

Si las características de la playa presentasen dificultades para el movimiento de tractores, se podría utilizar un remolcador, que tirarla del cabo perpendicular a la playa.

*Fig. Chicote del cable llevado a tierra por la embarcación auxiliar.*

Después de hacer firme el cable en tierra se procede a cortar las piolas de los flotadores. Esto se realiza por medio de buzos que las van cortando empezando desde la orilla hasta llegar al barco. De esta forma el cable queda tendido sobre el fondo. durante esta operación el buque podrá ir soltando o recogiendo pequeñas longitudes de cable, con el fin de que éste se adapte perfectamente al fondo del mar.

El cable debe de ser observado por los buceadores al posarse en el fondo y confirmar su correcto posicionamiento, advirtiéndonos de posibles suspensiones y eliminándolas en la medida de sus posibilidades.

La parte del tendido comprendida entre la posición del buque y la línea de costa es enterrada por medio de los buzos. La técnica utilizada suele ser utilizando unas “pistolas” que inyectan agua a muy altas presiones, de esta forma se va creando una zanja y se entierra el cable. Esta operación es bastante lenta y costosa y puede llevar semanas de trabajo.

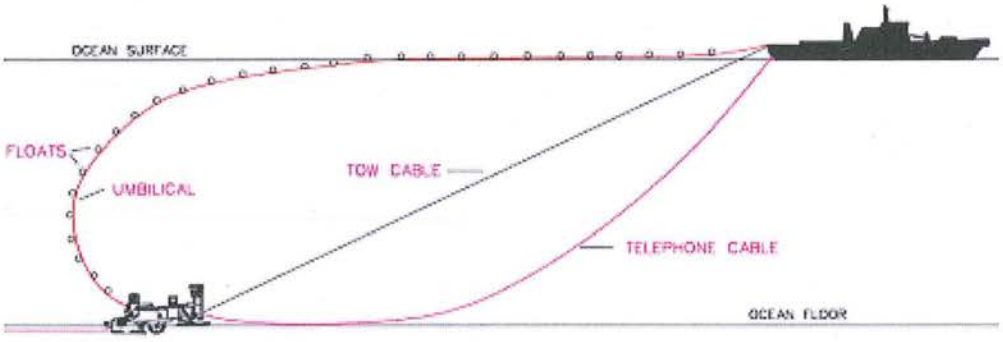
Debe ponerse especial cuidado en no formar cocas o lazos en el cable. Para esto el buque debe de mantener un cierta tensión positiva sobre el cable, tensión controlada por la maquina lineal de popa. (Normalmente los tendidos en playa se realizan por la popa).

Una vez cortados los flotadores, el barco esta preparado para el arriado del arado y para comenzar el enterramiento del cable. Salvo que nos encontremos en profundidades inferiores a 20 metros, en cuyo caso tenderíamos en superficie hasta llegar a esa cota, que es en la que habitualmente se arría el arado.

Con el arado en el fondo, el barco comienza a moverse a una velocidad comprendida entre 0.2 y 1 nudo. El arado está “unido” al barco por medio de un tiro de acero y un cable de fibra óptica denominado umbilical. A través del umbilical el arado envía datos al barco como pueden ser tensiones, profundidad de enterramiento, profundidad del arado, rumbo, etc. La longitud de tiro que se arría depende de la profundidad de trabajo.

Al terminar el enterramiento se sube el arado a cubierta. El siguiente paso es el sellado del final del cable telefónico para que no penetre agua al estar en el fondo marino. Una vez sellado se coloca un peso de cemento en el extremo del cable y se larga por la popa. De esta forma termina lo que se denomina por tendido en playa.

*Fig. Arriado del Arado para realizar el enterramiento del cable.*




Enterramiento con Arado

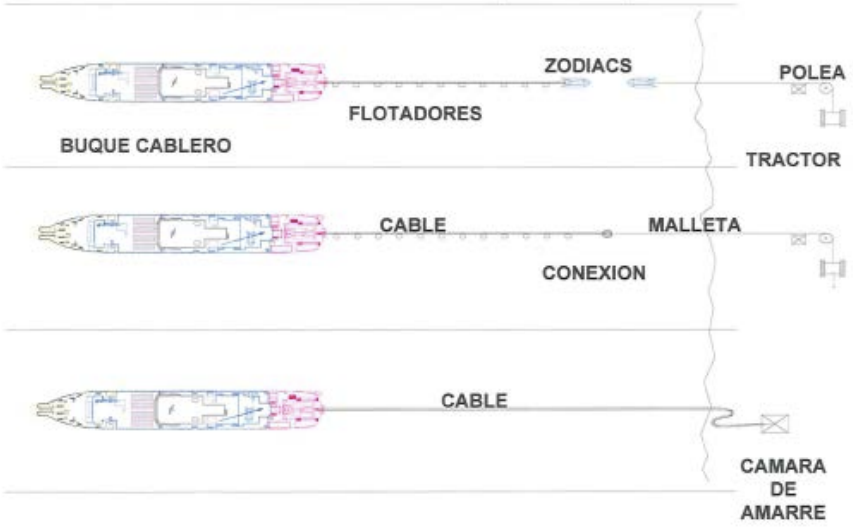



*Fig. Diagramas de tendido en playas.*

## 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, dentro de los límites prácticos, de tal manera que la instalación de un cable no va a ser obstaculizada por este tipo de acontecimientos.

Por tanto se pretende que al finalizar la operación se hayan alcanzado los siguientes objetivos a lo largo de la ruta:

- Limpieza de todos los cables fuera de servicio en un pasillo de 500 metros a cada lado de la ruta prevista.
- Limpieza de cadenas, estachas, artes de pesca, o cualquier otro equipo que haya sido ejecutado, perdido o abandonado.
- Declarar segura para un arado de inspección o de enterramiento la ruta al momento de terminar la limpieza.

La navegación por la ruta a seguir se efectuará en el mismo sentido en el que esté planeado el enterramiento. En casos excepcionales de condiciones desfavorables se podría realizar la limpieza de ruta en sentido contrario al previsto, aunque esto dependerá en gran medida de la información suministrada por el sondeo previo.

A tenor de los datos de sondas que se tengan, se determinará la longitud de la línea de draga que se irá variando a medida que también varía la profundidad.

Para ello se utiliza la tabla citada con anterioridad en el apartado de dragas de corte y recuperación.

Los rezones a utilizar varían en función del tipo de fondo. Es necesario que la cadena de rezones tenga la mayor penetración posible en el fondo, por lo que se usarán siempre que sean posibles las siguientes configuraciones:

- Terrenos arenosos/arcillosos: Gifford + Punta de Lanza + Rennie.
- Terrenos con rocas o poco sedimento: Gifford + Rennie + Punta lanza.

En casos excepcionales puede ser necesario el uso del Detrenching Grapnel (Rezón de grandes dimensiones dotado de ruedas que lo asemejan a un arado convencional) para recuperar un cable abandonado y enterrado, este rezón requiere la utilización de una malleta con una tensión de rotura superior a 40 Tons y sólo es factible usarlo en terrenos con sedimentos de más de 1 metro y sin dunas, o en terrenos arcillosos.

*Fig. Detrenching Grapnel*

La draga se recuperará siempre que existan indicaciones en la tensión (medida en un dinamómetro dispuesto en cubierta) de un posible enganche. No obstante en caso de que no existan variaciones de tensión, la draga se virará regularmente para inspección de la misma.

Siempre que existan cables telefónicos submarinos en servicio, oleoductos u otro tipo de cables o tuberías, se recuperará la draga 500 metros antes de su posición y se arriará 500 metros pasada la misma.

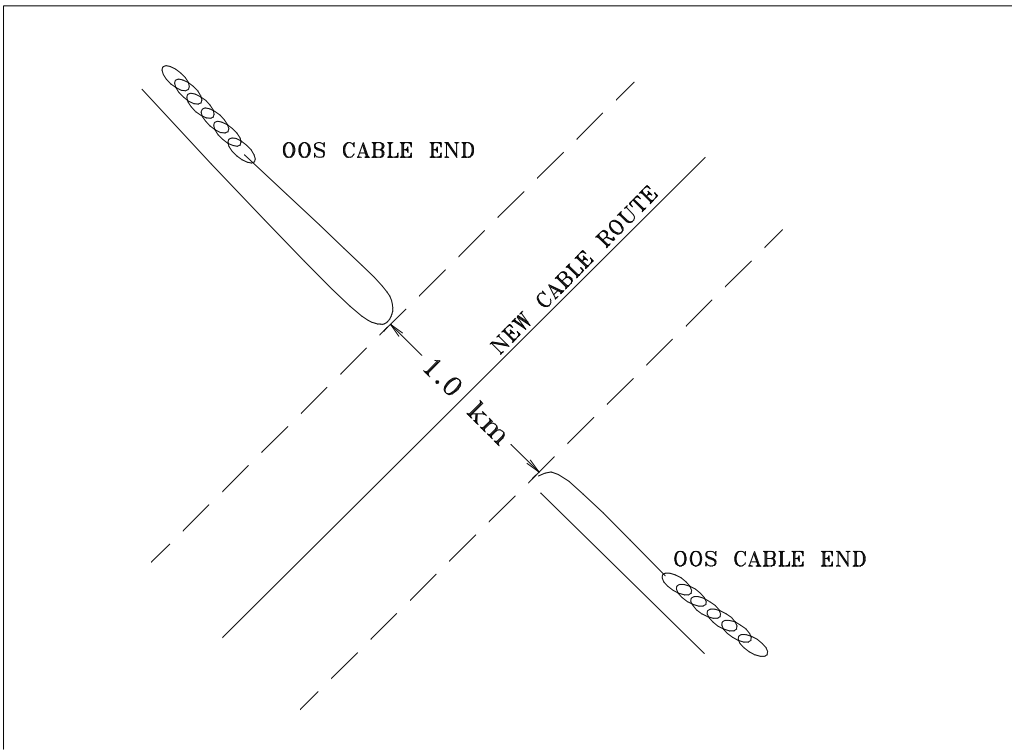



*Fig. Diagrama de limpieza de ruta.*

[8] Ref. B: [1][2][3][4][5][7][8][10][11][12][14][17][18]

*[1]* ***C. E. Roden.*** *"Submarine cable mechanics and recommended laying procedures".*
*[2]* ***TSSL TEMASA.*** *"Carga y transporte de cables submarinos".*
*[3]* ***TSSL TEMASA.*** *"Draga y recuperación de cable submarino"/"Arriado y recuperación de boyas".*
*[4]* ***TyCOM.*** *"Limpieza de ruta".*
*[5]* ***TyCOM.*** *"Tendidos en playa de cables submarinos".*
*[7]* ***TyCOM.*** *"Vessel Loading Work Instructions".*
*[8]* ***TYCO*** *"Route clearance and pre lay grapnel run operations".*
*[10]* ***TYCO.*** *"Beach Pull & Shore End Installation".*
*[11]****TCSC.*** *"Cable Operations Manual". Secciones 7, 8 y 11".*
*[12]* ***C. Orozco.*** *"Submarine cable operations and cable ships operations".*
*[14]* ***G.V. Castro.*** *"Tendido y reparación de cables submarinos".*
*[17]* ***DTRE. DTSM.*** *"Généralités sur les cables sous-marins et les navires cabliers".*
*[18]* ***SCO****. "Submarine Cable Operations Manual".*

## 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.

Cualquier alteración durante el tendido, sobre la ruta elegida tendrá las siguientes consecuencias.

Toda desviación entraña una variación en la distancia a recorrer, esta distancia deberá ser compensada posteriormente con una modificación, ya sea del trazado o de la holgura del tendido.

El perfil del fondo de la nueva ruta puede ser diferente del perfil inicial, y en este caso, se corre el riesgo de que el cable no se pose perfectamente en el fondo.

Seleccionar una ruta a través de un océano parece en principio no entrañar problemas, pero no es así en realidad. A menudo se ignora la topografía del fondo marino y los rigurosos agentes físicos que operan bajo la superficie del mar. Observando, por ejemplo, el mapa topográfico del Océano Atlántico descubrimos la existencia de una cordillera de 2000 Kilómetros de ancho con cañones y montañas de más de 6000 metros de altura. Islandia y las Islas Canarias son la parte superior de alguna de estas montañas que sobresalen de la superficie del mar. Lo mismo que en tierra, el proceso de sedimentación y erosión también ocurre, solamente que los agentes que intervienen en la atmósfera submarina son diferentes.

La energía de las mareas, las olas y las corrientes submarinas son capaces de transformar rápidamente el perfil del fondo marino.

Tampoco hay que olvidar la necesidad de localizar y recoger un determinado cable para la reparación sin dañar accidentalmente a otro cable.

Otros factores que también hay que tener en cuenta son:

- Cables telegráficos abandonados
- Cables militares
- Cables de energía
- Áreas de pesca
- Zonas de fondeo

- Prospecciónes Petrolíferas
- Gaseoductos y Oleoductos
- Áreas de vertidos
- Minas abandonadas
- Zonas de separación de tráfico
- Aguas jurisdiccionales

Conviene señalar también que es práctica usual el considerar que las zonas más seguras para un sistema submarino son siempre las de mayor profundidad. Las razones son claras si pensamos que de esta forma mantenemos el cable alejado del alcance de las operaciones de pesca y anclaje de barcos que representan un serio peligro para la vida del sistema. Además, en las aguas muy profundas los agentes físicos están muy atenuados, no existen variaciones de temperatura y los riesgos de erosión y sedimentación son muy bajos.

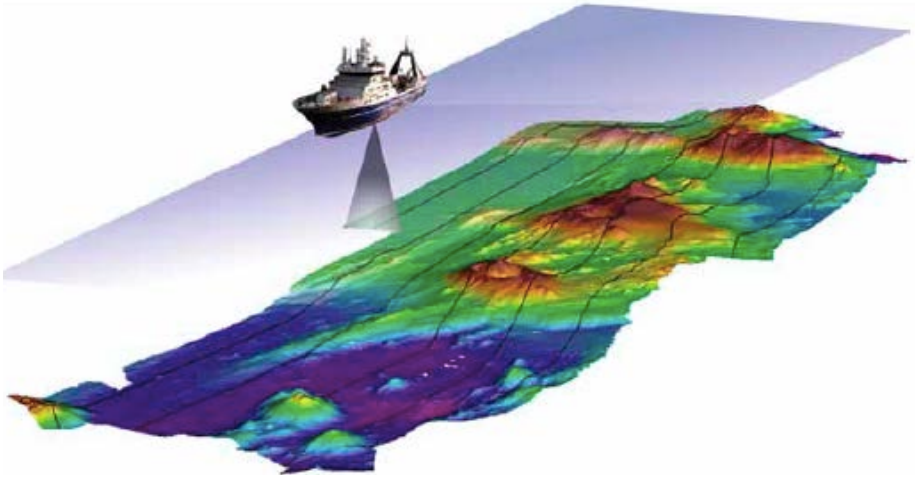


*Fig. Buque realizando trabajos batimétricos.*

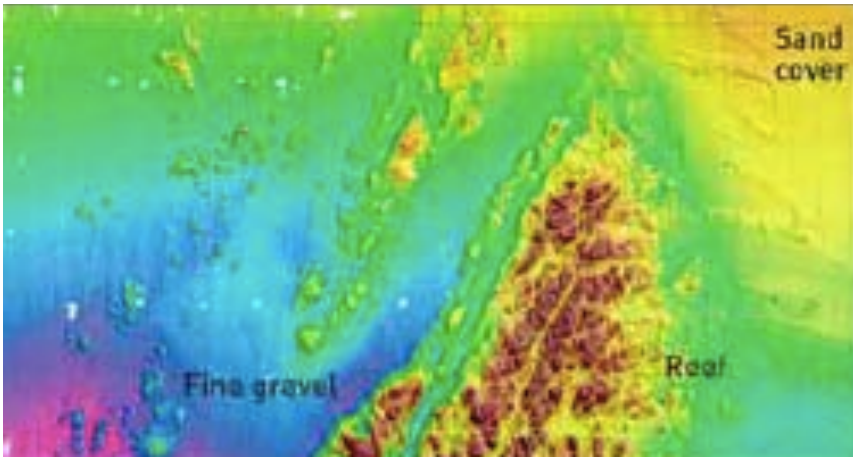
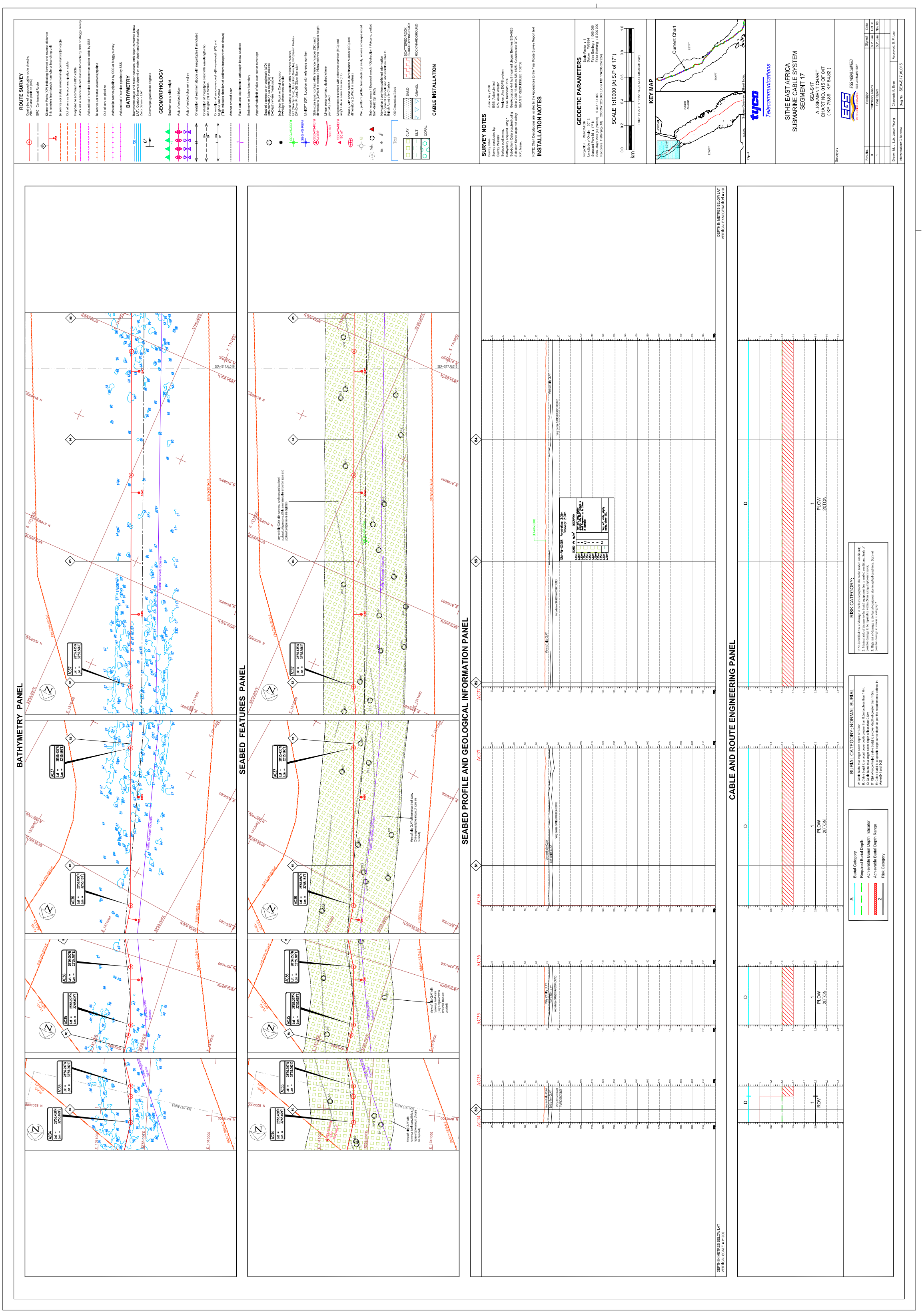
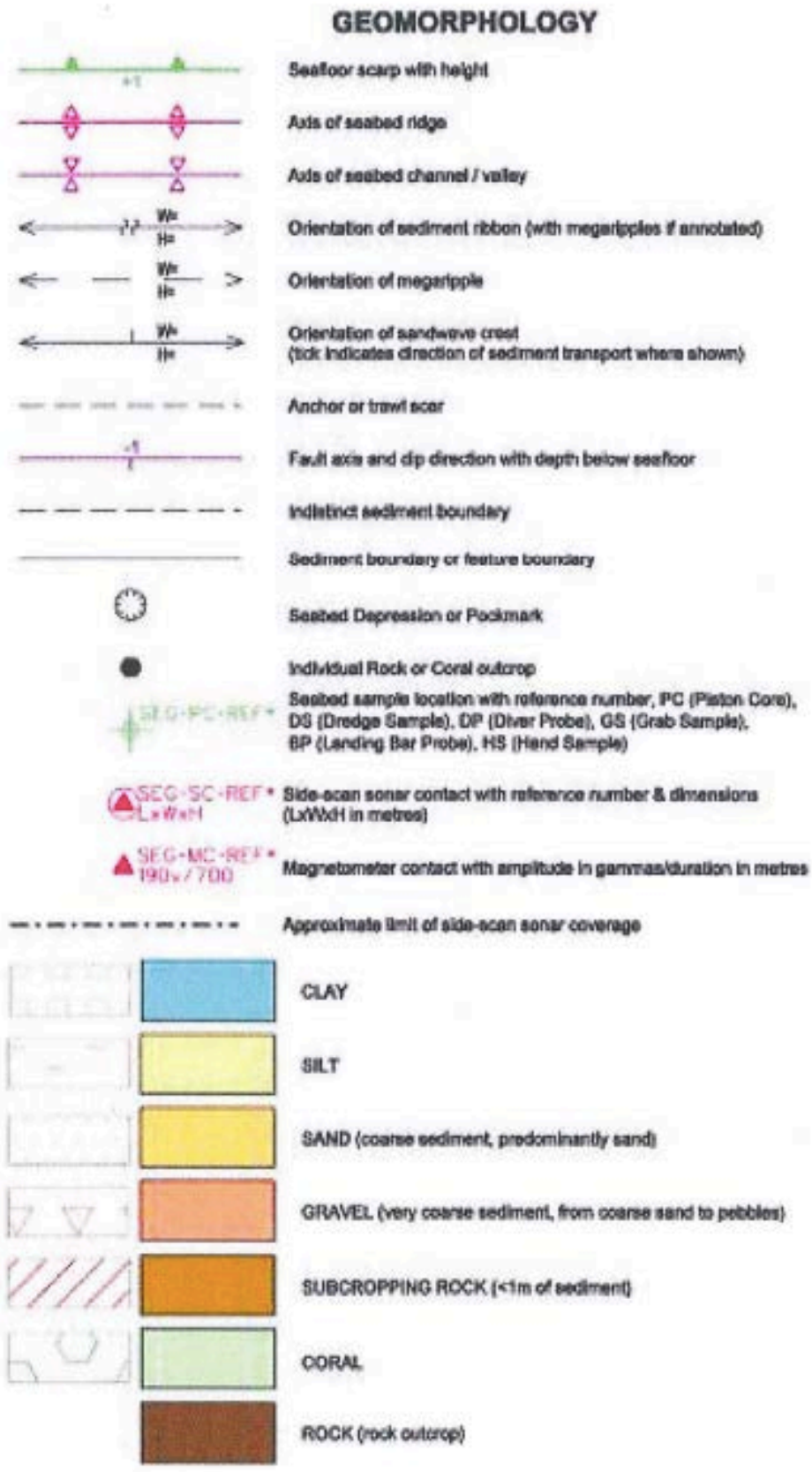


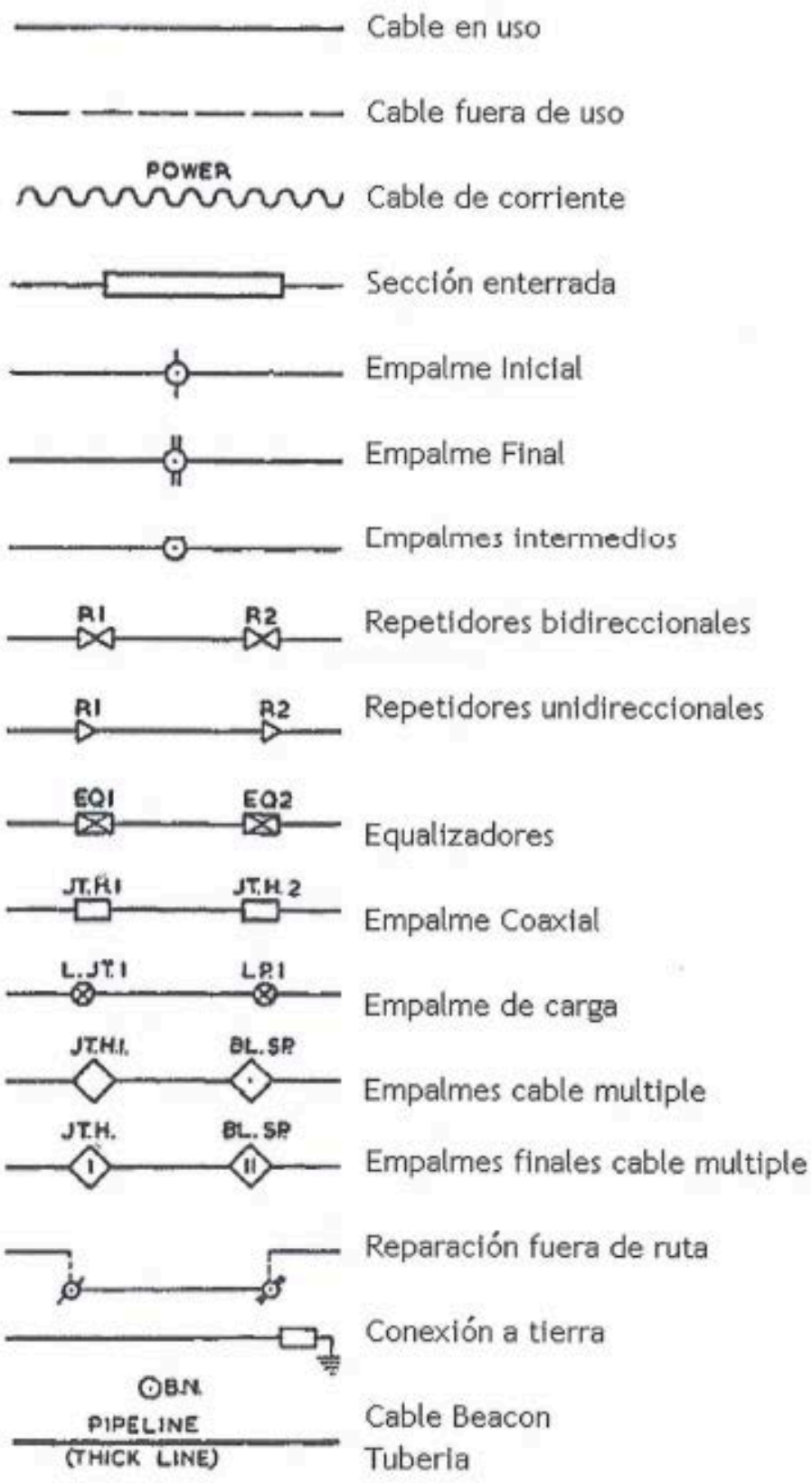

*Fig. Interpretación de imagen del fondo.*

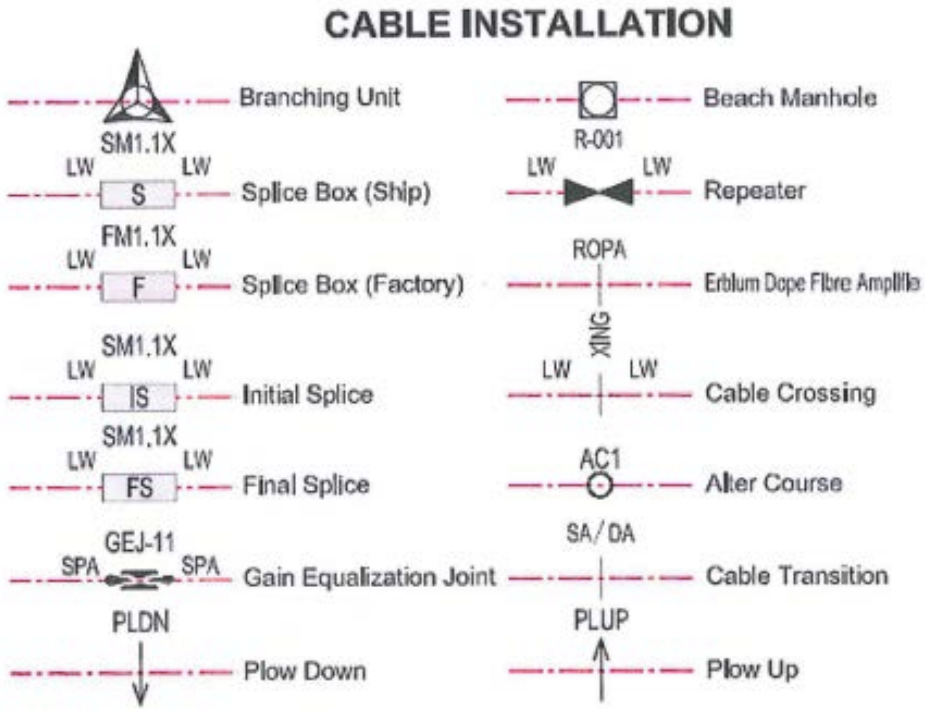
## *Batimetrías:*



*Simbología en cartas*


GEOMORPHOLOGY
Seafloor scarp with height
Axis of seabed ridge
Axis of seabed channel / valley
Orientation of sediment ribbon (with megaripples if annotated)
Orientation of megaripple
Orientation of sandwave crest
(tick indicates direction of sediment transport where shown)
Anchor or trawl scar
Fault axis and dip direction with depth below seafloor
Indistinct sediment boundary
Sediment boundary or feature boundary
Seabed Depression or Pockmark
Individual Rock or Coral outcrop
Seabed sample location with reference number, PC (Piston Core),
DS (Dredge Sample), DP (Diver Probe), GS (Grab Sample),
BP (Landing Bar Probe), HS (Hand Sample)
SEG-SC-REF *
LxWxH
Side-scan sonar contact with reference number & dimensions
(LxWxH in metres)
SEG-MC-REF *
190s / 700
Magnetometer contact with amplitude in gammas/duration in metres
Approximate limit of side-scan sonar coverage
CLAY
SILT
SAND (coarse sediment, predominantly sand)
GRAVEL (very coarse sediment, from coarse sand to pebbles)
SUBCROPPING ROCK (<1m of sediment)
CORAL
ROCK (rock outcrop)


Cable en uso
Cable fuera de uso
POWER
Cable de corriente
Sección enterrada
Empalme Inicial
Empalme Final
Empalmes intermedios
R1
R2
Repetidores bidireccionales
R1
R2
Repetidores unidireccionales
EQ1
EQ2
Equalizadores
JT.H.1
JT.H.2
Empalme Coaxial
L.JT.1
L.P.1
Empalme de carga
JT.H.1.
BL.SP.
Empalmes cable multiple
JT.H.
BL.SP.
I
II
Empalmes finales cable multiple
Reparación fuera de ruta
Conexión a tierra
B.N.
PIPELINE
(THICK LINE)
Cable Beacon
Tuberia




[9] Ref. B: [14][15][16]

*[14]* ***G.V. Castro.*** *"Tendido y reparación de cables submarinos".*
*[15]* ***Curso de O&M*** *"Gestión y Comercialización del cable submarino".*
*[16]* ***UNEP-WCMC. Carter L.; Burnett D.; Drew S.; Marle G.; Hagadorn L.; Bartlett-McNeil D. And Irvine N. "****Submarine Cables and the Oceans. Connecting the World".*

## Capítulo 11. Relación con el Medio Ambiente

El total de cables en los océanos ronda el millón de kilómetros. En términos de tamaño se puede decir que el cable es pequeño en diámetro variando entre los 17 y 50 mm 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.

El proceso de evualuación del impacto ambiental resume los procedimientos para evaluar estas interacciones mencionadas anteriormente.

### Evaluaciones de impacto ambiental

En algunos países, las regulaciones y leyes nacionales requieren un análisis de los efectos del proyecto del cable de fibra óptica en el medio ambiente. El informe que posteriormente se produce comúnmente se llama evaluación del impacto ambiental.

La amplitud del contenido, nivel de detalle y el tiempo obligados a efectuar una EIA en relación con una propuesta de un proyecto de cable submarino varía considerablemente de un país a otro país. Sin embargo, el principio de la evaluación de un proyecto y su efecto sobre el medio ambiente está bien establecido en Europa, Australasia, América del norte y partes de Asia y África.

El propósito de una evaluación es garantizar que cualquier efecto ambiental del tendido de cables y mantenimiento sean tenidos en cuenta antes de la autorización prevista para poner un cable en el fondo del mar.

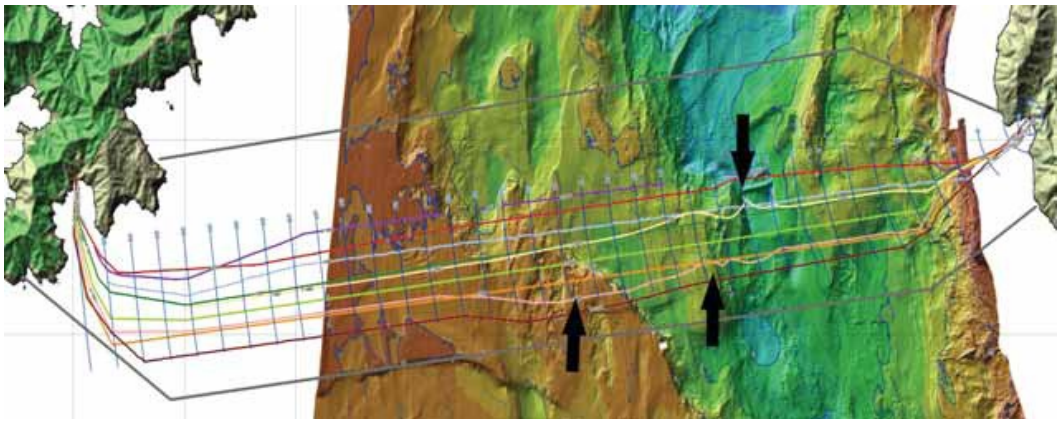


*Fig. Cables de alimentación y telecomunicaciones tendidos sobre el fondo marino. Fuente: Transpower Nueva Zelanda, Seaworks y NIWA.*

En la imagen anterior se muestran cables de alimentación tendidos sobre el fondo marino del estrecho de Cook, Nueva Zelanda, debido a la presencia de roca y el constante movimiento de sedimentos por potentes corrientes de mareas hacen impráctico su enterramiento. Están protegidos por una zona de protección legal del cable (los límites son las líneas grises en la imagen multihaz). Aún así, los cables fueron desplazados (flechas) debido a la pesca ilegal.

Un EIA formal normalmente tiene cinco componentes:

1. Descripción de la operación propuesta;

2. Descripción del medio receptor (cubriendo todos los factores físicos, geológicos, biológicos y antropo-socio económicos);

3. Evaluación de los posibles efectos sobre el medio ambiente;

4. Evaluación de las medidas necesarias para mitigar/reducir los efectos a un nivel medioambientalmente aceptable (por ejemplo espaciales o temporales limitaciones,

reemplazo, restablecimiento o restauración de entornos afectados);

5. Evaluación de las medidas de vigilancia necesarios para asegúrese de que la magnitud del efecto (mitigados o otros sabios) se mantiene en un nivel aceptable.

Esta documentación es generalmente seguida por un resumen menos técnico, que presenta una sinopsis de 'fácil lectura' para su consulta. Así como una evaluación de los datos existentes, un EIA puede requerir de estudios de campo que involucran mapeo de los fondos marinos y muestreo de sedimentos, rocas, fauna, flora y bioquímica.

**Cables sobre el lecho marino**

Los cables modernos generalmente están enterrados en el fondo marino en zonas donde la profundidad del agua llega hasta los 1,500 m como medida de protección contra las actividades humanas. Sin embargo, algunos cables de aguas poco profundas se pueden colocar en el fondo del mar en zonas inadecuadas para el enterramiento, por ejemplo rocas o arenas movedizas. Para profundidades mayores de 1,500 m, el cable se tiende en la superficie del suelo marino.

**Interacciones físicas**

Los cables tendidos en superficie pueden interactuar físicamente con el fondo del mar bajo influencias naturales o humanas. Las plataformas continentales normalmente están expuestas a las olas y corrientes, incluyendo flujos de mareas que mueven sedimentos y entierran, exponen o incluso socavan el cable. Socavar es significativo, el cable en suspensión puede vibrar bajo los movimientos del agua. Tales acciones pueden desgastar las rocas donde apoya la suspensión del cable. Suspensiones observadas de California indican que la abrasión de las rocas ocurre principalmente en zonas de actividad frecuente de olas en aguas con profundidades de menos de 20 m (Kogan et al., 2003, 2006); las abrasiones oscilaron entre 6 y 45 cm de ancho. Donde las suspensiones se mantuvieron mucho tiempo pudieron ser colonizadas por incrustaciones marinas que pueden biológicamente cementar el cable en los puntos de suspensión en las rocas.

Los cables se someten a entierro temporal o permanente. Donde las rutas atraviesan zonas de ondas de arenas móviles, el enterramiento tiene lugar a medida que la cresta de la onda pasa a través del cable.

*Fig. Cable submarino tendido en superficie que ha servido como un sustrato para el crecimiento de la epifauna. Fuente: Nigel Irvine.*

La pesca de arrastre y las anclas de los barcos pueden desplazar los cables y/o dañarlos (NOAA, 2005). Para protegerlo contra tales percances, los cables rutinariamente están enterrados bajo los fondos marinos. Donde el enterramiento es inviable se establece una zona de protección de cable donde están prohibidas las actividades humanas potencialmente dañinas (ACMA, 2007; Transpower y Ministerio de Transporte, 2008). Dichas medidas sólo son tan buenas como su

aplicación, que puede entrañar la vigilancia constante, incluyendo buques patrullas y monitoreo electrónico de todos los movimientos de los buques. Desde el principio el diálogo con otros usuarios de los fondos marinos, con la debida educación pública sobre la importancia de los cables submarinos, es también una medida eficaz de protección.

**Cables enterrados en el fondo marino**

La instalación de cables en el fondo del mar puede perturbar la medio ambiente bentónico. Comparado con otras actividades offshore como la pesca de arrastre de fondo, el fondeo y dragado, los disturbios relacionados con el enterramiento de cable están limitados, y es un procedimiento no repetitivo, a menos que un cable se haya dañado.

El desmantelamiento y recuperación de un sistema también puede ocasionar disturbios bentónicos, pero de nuevo es de alcance limitado y relativamente infrecuente, reflejando la vida útil de un cable de fibra óptica en 20 – 25 años. Los siguientes apartados examinan el tipo y grado de perturbación de los fondos marinos asociado con la instalación del cable, mantenimiento y desmantelamiento, seguido por una breve descripción de la recuperación de los fondos marinos.

**Disturbios de los fondos marinos**

**- Limpieza de ruta.**

Antes de la instalación, la ruta de cable es limpiada de cualquier posible escombro mediante el remolque y arrastre de una draga (NOAA, 2005; MS1 Consultores ambientales, 2002). Esta herramienta penetra 0.5 – 1.0 m en el blando sedimento y generalmente no se utiliza en zonas rocosas. De acuerdo con las modernas prácticas, la ubicación de la draga es cuidadosamente monitorizada para asegurar que el enterramiento sigue la ruta que ha sido limpiada por la draga, tan cerca como sea posible para que el cable se instale en una zona libre de escombros.

**- Arado**

Cuando un arado pasa a través de los fondos marinos, la reja abre una zanja, inserta el cable y permite que el sedimento lo tape (Allan, 1998). En las zonas

costeras se utilizan arados especiales para disminuir la perturbación, por ejemplo, en praderas de hierbas marinas (Ecoplan, 2003). También se minimiza el impacto perforando conductos a través de los cuales el cable puede pasar, en zonas costeras biológicamente sensibles (Austin et al., 2004). En la plataforma continental, el enterramiento de hasta 1 m de profundidad en sedimentos blandos a firmes, suele deja una franja labrada de 0.3 m de ancho en la que el cable está totalmente cubierto. Sin embargo el enterramiento en sustratos firmes puede ocasionar solo el parcial cierre del surco, con sedimento depositado en los márgenes del surco (NOAA, 2005).

Los patines donde apoya el arado también puede dejar su huella en el lecho marino, particularmente en las zonas de sedimentos blandos. Potenciales efectos son la compactación de sedimentos y la desaparición de la fauna marina. En general, la franja de alteración producida por parte del arado y patines en los fondos marinos es de 2 m a 8 m de ancho, dependiendo del tamaño del arado.

*Fig. Tiburón cocodrilo.*

En la imagen anterior se muestra el tiburón cocodrilo (Pseudocarcharias kamoharai) es una especie pequeña que crece más de 1 m de largo. Se encontraron dientes incrustados en el cable de las Islas Canarias y fue el principal motivo de los fallos en el sistema. Fuente: National Marine Servicio de pesca, NOAA.

**- Jetting**

Este método se usa para enterrar los cables que están ya tendidos. Algunos sistemas utilizan una combinación de arado y jetting para el enterramiento. También se utiliza para enterrar secciones reparadas. El enterramiento posterior al tendido se basa en un ROV equipado con chorros para licuar el sedimento debajo del cable, lo que le permite hundirse a una profundidad especificada. La anchura de las zonas

perturbadas asociadas con el chorro (licuefacción y redeposición de sedimentos gruesos) suele ser de unos 5 m. (Ecología y medio ambiente, 2001), pero el lignito fino y la arcilla pueden ser dispersados más lejos. Los organismos que están dentro de la zona de licuefacción pueden dañarse o ser desplazados (NOAA, 2005).

**- Reparación de cable**

Aproximadamente el 70 por ciento de todos los fallos en el cable asociados a una agresión externa son causados por la pesca y la actividad de barcos en profundidades menores a 200 m. (Kordahi y Shapiro, 2004). Por consiguiente, los cables están enterrados para su protección, una acción que junto con una mayor conciencia de otros usuarios de los fondos marinos, ha producido una marcada caída en el número de fallos por 1.000 kilómetros de cable. Sin embargo, todavía se producen daños que requieren reparación.

**- Retirada del cable**

Cuando los cables llegan al final de su vida útil de diseño o se convierten en redundantes debido a los avances tecnológicos, su eliminación del fondo del mar puede ser una opción a ser considerada. En el caso de un cable enterrado, su eliminación puede resultar en un desequilibrio del ecosistema.

En esencia, cuando un cable se retira del el fondo del mar, altera los sedimentos y la fauna bentónica asociada. El grado de alteración está estrechamente relacionado con el tipo de sustrato, con sedimentos arenosos y fangosos blandos sufren poco o no tienen impacto, en cambio fondos de arcilla dura pueden crear irregularidades topográficas producidas por fragmentos de material expulsados durante la retirada del cable. Para fondo rocoso, un cable se coloca generalmente en la superficie si no pueden evitarse afloramientos. En ese contexto, el cable puede soportar una epifauna que se perdería durante un procedimiento de recuperación. Entonces se puede considerar prudente dejar el cable en su lugar con el fin de preservar la epifauna.

**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. Además, la única alteración asociada con el tendido del cable se limita principalmente a una franja de entre 5 – 8 m de ancho. Para la comparación, las redes de arrastre de fondo y las operaciones de pesca de arrastre son repetitivas y más extensas (National Research Council, 2002; UNEP, 2006).

Una sola puerta de arrastre puede tener decenas de metros de ancho, barriendo grandes zonas del fondo marino en una sola operación y probablemente sea llevada a cabo varias veces en el mismo lugar a lo largo de un año. Según lo observado por NOAA (2005), un solo impacto, tal como un enterramiento de cable, es preferible a continuos, múltiples o recurrentes impactos.

[10] Ref. B: [16]

*[16]* ***UNEP-WCMC. Carter L.; Burnett D.; Drew S.; Marle G.; Hagadorn L.; Bartlett-McNeil D. And Irvine N. "****Submarine Cables and the Oceans. Connecting the World". Biodiversity Series.*

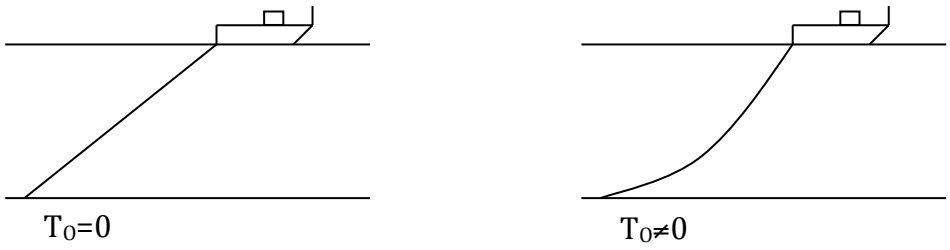
## Capítulo 12. Cálculos

### Descripción

Los siguientes cálculos son referidos a los tendidos en superficie de cable de fibra óptica. Las fórmulas están obtenidas del C. E. Roden ”Submarine Cable Mechanics and Recommended Laying Procedures” Bell Telephone Laboratories.

### Configuración del cable en línea recta

Durante las operaciones de tendido el barco navega a una velocidad constante arriando cable a una velocidad también constante. En esta situación estas dos configuraciones son posibles.




El objetivo al tender el cable es tener un valor de tensión en el fondo de 0.

$$Ts = To + wh$$

*w* = peso del cable

*h* = profundidad en el punto donde toca el cable el fondo

*To* = Tensión en el fondo

*Ts* = Tensión observada a bordo

### Cable en el agua

La forma del cable en el agua está descrita por las propiedades del cable y la velocidad del buque (Vs). La constante hidrodinámica (H), (grado x nudo) determina las propiedades del cable. Depende de los siguientes factores:

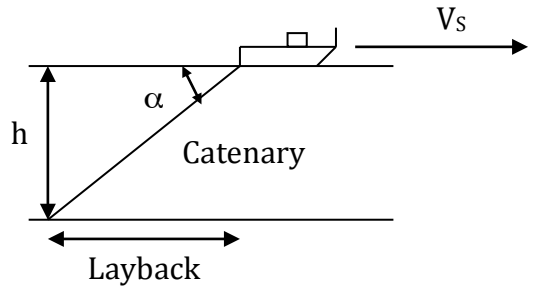
- Coeficiente de arrastre

- Densidad del agua

- Diámetro del cable

- Peso del cable por metro

No es fácil determinar el coeficiente de arrastre por lo tanto se calcula de forma empírica experimental.




La relación entre los parámetros anteriores está descrita en las siguientes fórmulas, donde **α** es el ángulo crítico.

$$\alpha = H / Vs$$

Conociendo el ángulo **α** nos permite calcular la longitud del cable en el agua así como el "layback":

$$\text{Layback} = H / \tan \alpha$$

$$\text{Longitud de catenaria} = H / \sin \alpha$$

La propiedad fundamental de la constante hidrodinámica es la que describe la propiedad de hundimiento del cable. Para determinar la velocidad de hundimiento del cable expresamos la H en radiantes x nudo.

$$Us = H \times \pi / 180$$

El tiempo en el cual el cable toca el fondo será:

$$Ttd = H / Us \times 30.9$$

[11] Ref. B: [1][19][20]

*[1] **C. E. Roden.** "Submarine cable mechanics and recommended laying procedures".*
*[19] **R. Pelagos.** "Surface Laying Mathematics Made Easy".*
*[20] **R. Muñoz.** "Cable laying practices, fundamental principles and procedures for the surface laying of submarine cable".*

## Capítulo 13. Conclusiones

Los sistemas de cables submarinos de fibra óptica constituyen hoy en día un soporte indispensable para las comunicaciones en todo el mundo. La gran mayoría del tráfico de datos de telecomunicaciones en el mundo utilizan este medio y solamente una pequeña parte es transmitida vía satelital.

Todos estos proyectos no serían posibles sin la participación de los buques cableros para llevar a cabo la instalación y reparación de los cables submarinos.

Estos barcos no son excesivamente rápidos, pero sí de gran potencia, ya que están pensados para el transporte de varios miles de kilómetros de cable.

El sistema de posicionamiento dinámico utilizado en estos buques es indispensable para este tipo de operaciones para asegurar la exactitud en los tendidos. Estos sistemas son prácticamente iguales a los utilizados en otros tipos de buques DP como pueden ser abastecedores, oceanográficos, dragas, etc. pero comprenden una serie de peculiaridades, como son el empleo de dinamómetros los cuales miden la tensión ejercida sobre el cable, para el cálculo de las fuerzas que actúan sobre el buque, lo cual es utilizado para mantener la posición.

El DP ha sido un gran avance en este sector (teniendo en cuenta que no hace tantos años la posición se mantenía utilizando las anclas del buque), pues este tipo de buques deben ser fácilmente maniobrables a muy bajas velocidades, mantener una posición fija bajo duras condiciones meteorológicas y seguir una ruta predeterminada con una precisión de centímetros.

El tendido de un cable submarino es un proceso complejo, altamente preciso y delicado, el cual requiere una maquinaria específica y unos equipos especiales para controlar los parámetros del tendido del cable en todo momento.

También es de vital importancia el mantenimiento de los mismos en caso de roturas o averías en los diferentes elementos que los componen. Debido esto existen acuerdos entre diferentes clientes para el mantenimiento de estos sistemas (acuerdos ACMA, MECMA, etc.).

En cuanto al impacto medioambiental se puede resumir que en comparación con otras prácticas marítimas y pesqueras es bastante escaso.

## Capítulo 14. Glosario

Las definiciones dadas están relacionadas específicamente con la industria del cable submarino y pueden no definir todo el espectro del significado general o uso de los términos.

A

active rudder. Term for a ship's rudder with a powerful motor-driven propeller mounted to give thrust in the direction of the plane of the rudder blade; aids the ship to maneuver more precisely, particularly at slow speed and in close quarters.

armor. Steel in the form of wires or tapes applied to the outside of cables.

armor, double. The application of two layers of armor wire.

armor, single. The application of a single layer of armor wire.

armor, tape. Steel tape applied for protection of cable intended for direct burial on land; tape armor.

armor wire. Zinc-coated mild or high-tensile steel wire of various gauges for the protection of -and to provide tensile strength for- seacables.

armored cable. Cable with an outside layer or layers of armor wires or tapes to provide tensile strength during the laying operation, and protection while resting on the sea bottom.

armorless cable. Cable having a stranded steel tensile strength member located inside the center conductor, and which has no outer armor.

articulated. Term used partially to describe some early designs of repeaters made up of a jointed string of water-tight containers, intended to behave mechanically somewhat like the cable into which they were inserted.

attenuation. A measure of the loss in electrical strength encountered by the signals sent through a cable, usually expressed as a function of frequency; measured between nonreactive terminations.

B

beach anchor. The hold-fast at the shore-line for a submarine cable, usually consisting of an earth-embedded strong cross member to which the armor of the shore-end cable is connected inside the beach pit.

beach pit. The excavation made to accommodate the joining of the sea and land portions of a cable system; usually finished as a concrete vault at the landing point, to accommodate the beach anchor and the beach splice.

beach splice. The junction of the land cable and shore-end cable above the water's edge at the cable landing point.

bell mouth. Name given to a device mounted above a cable tank with an opening in the form of a hyperboloid of revolution, through which cable is led from the tank to the deck.

bending radius. Term used to describe the limitation of allowable curvature of the cable.

bidirectional. Term used to describe the transmission of electrical signals in both directions simultaneously.

bow sheaves. Large free-running wheels with grooved or flat circumferences, with one, two, or more wheels side by side, mounted on a thwartship axis at the bow of cable ships, over which cable is led aboard (or overboard) to or from the cable engine and the ship's cable tanks.

bow thruster. A powerful motor-driven propeller mounted in a tunnel across the bow of the ship below the water line to swing the bow to port or starboard without any headway on the ship; also aids in maneuvering at very low speeds ahead or astern.

broad-band transmission. The transmission of a range of frequencies much wider than a voice channel, encompassing all of the voice channels in a multi channel transmission system.

buoy. A floating device of nearly spherical shape, overboarded with an anchor and line, to mark a certain geographical position (marker buoy) or the position of a cable end; in the latter case the buoy is physically connected (rope, chain) to the cable.

burial, direct. The installation of land cable or shore-end cable directly into the ground without conduits.

C

CCITT. Comité Consultative International de Téléphonie et Télégraphie.

cable. As related to submarine cable systems, the physical facility used for transmission of electrical signals between termini, consisting of conductors and insulants, usually in coaxial form, with provisions for tensile strength to permit laying in the sea, and exterior protection as required by ambient conditions.

cable, armored. Cable with steel wires on the outside; see armored cable.

cable, armorless. Cable without steel wires on the outside; see armorless cable.

cable attenuation. The measure of the loss in electrical strength encountered by signals sent through the cable, usually expressed as a function of frequency and measured between reactance-free resistors representing the resistive component of the cable impedance at high frequencies.

cable core. The part of the cable consisting of the center conductor and the dielectric.

cable drum. Motor-driven and power-braked large cylinder with a smooth circumference and means for fleeting; used to pick up and pay out cable; achieves friction between the cable and the drum surface by several turns of cable held back or drawn off.

cable pan. 1) A large container for holding up to twenty miles of armorless cable. For technical reasons, armorless cable is not stored in factory storage tanks; instead, each repeater section is stored in individual pans which can be submerged in a floodable test tank for making electrical measurements under controlled temperature conditions. Pans are transportable within the plant grounds and are moved one by one near to the cable ship for loading.

2) Part of a recently-achieved cable repair system, the cable repair ship being designed to have pans loaded or unloaded into or from the ship, many pans being kept charged with various configurations of cable in a depot. When called for repair, the appropriate pans are put aboard promptly, saving in some instances many hours of reaction time over conventional procedures.

cable pilot. The designation for the transmission of a supervisory pilot frequency which is inserted as close to the seacable termination as practicable and extracted likewise at the opposite terminal.

cable plow. A device which is towed over the ocean bottom making an opening in which the seacable is placed and buried; used to protect cable against commercial fishing equipment and ship's anchors.

cable, repair. Cable of lesser attenuation than the main cable, which is used in deep water repairs to permit lengthening of a repeater section without upsetting the repeater gain/cable loss relationship.

cable, shore-end. Seacable with heavy armor (single armor or double armor depending on the water depth and other conditions) for mechanical protection in shallow water, and containing shielding to reduce electromagnetic interference.

cable splice. The connection between two pieces of cable including the armor wires (as distinct from a cable joint which connects only the core); the armor wires of armored cable are normally connected by an overlay splice where the tensile strength is transferred by friction between the armor wires of the opposite cable ends.

cable, station. The piece of cable sometimes installed from the end of the land cable to the cable terminal equipment, inside the terminal station.

cable tank. Name given to the cylindrically-configured holds of cable ships; also to cable storage facilities in factories and depots.

cable transition. The junction between cable ends of different designs, e.g. from single armor to double armor or from shielded to unshielded cable.

cable terminal equipment. The apparatus installed in the terminal stations at the ends of an undersea cable system.

cable transporter. A large movable device with a motor-driven V-grooved cable sheave and a jockey wheel to keep the cable in the groove; used to transfer cable from one tank to another or to haul cable toward and into the ship during the loading operation.

cable vault. An enclosure usually located in the basement of the terminal station where the land cable enters the building and where some excess land cable may be coiled up; sometimes there is a transition between land cable and station cable in the cable vault.

cableship. A ship specially equipped for cable laying or cable repair; basic equipment comprises cable engines, hold-back gear, dynamometer, cable tanks, bow sheaves, and fault-location and test equipment.

carrier. A shortening of the term carrier frequency, to describe an electrical signal used to accomplish the translation of frequency bands.

carrier, cornmercial telecommunications. The term applied to an organization whose function is to render telecommunications service.

carrier, record. The term used in the United States to distinguish the organizations dealing with the transmission of the printed or written word only from those engaged in the telephone business.

carrier telegraphy. The transmission of telegraph signals by means of discrete frequencies allowing the utilization of a wider frequency band (e.g. voice grade channel) for many simultaneous telegraph transmissions; see also multiplex.

caterpillar gear. Industry term to describe the machinery installed on cable layers consisting of devices with two or more endless treads which run together tangentially to grip and move cable being paid out or hauled in.

center conductor. The inner conductor of the coaxial structure of seacables; comes in three configurations: solid copper wire (for armored cables), solid copper wire plus surrounding copper tapes (now obsolete), and a copper tube over a stranded steel member in armorless cable.

channel. The electrical means for a one-way transmission.

chute, stern. The name given to a structure or device located at the stern of a cable layer, to provide a guide for the passage of cable and submerged devices being overboarded, having a radius of curvature consistent with the allowable bending radius of the cable.

circuit. The electrical means for a two-way transmission.

circuit, telephone. Circuit suitable for voice or voice-frequency use.

circuit, telegraph. Circuit suitable for transmission of binary signals such as teleprinter signals, usually obtained by subdividing a voice circuit into as many as 24 or more telegraph circuits.

coaxial. Term used in the industry as a noun to designate the assembly of center conductor, insulant, and outer conductor; the portion responsible for the cable's electrical characteristics. Now obsolete.

coiling. The process of stowing cable into a cable tank, by manpower, placing the cable into flat spiral layers called flakes. -

composite center conductor. Industry term to describe a center conductor composed of a solid copper wire surrounded with several helically- applied copper tapes. Now obsolete.

conductor. Metallic (usually copper or aluminum) portion of the coaxial.

cone. The structure rising in the center of a cable tank, in the form of a truncated cone, around which the cable is coiled at the inside of a flake. The diameter of the cone at the top is commensurate with the allowable bending radius of the cable. The cone tends to stabilize the load of cable in the tank against extreme ship movement, and together with the crinoline aids in the prevention of tangles or kinks during laying.

core. The center conductor and the dielectric.

concentricity. Important mechanical characteristic of the core; a measure of the deviation of the center conductor position relative to its ideal location in the exact centerpoint of the dielectric cross-section.

conditioning. A process sometimes required to modify a circuit normally used for voice communications to make it suitable for the transmission of high-speed binary data.

confidence test. A test of several weeks duration to which repeaters are subjected before shipping in order to discover "early ailment" cases; during the test one or more critical characteristics of each repeater are continuously monitored; the repeaters may be subjected to hydrostatic pressure at the same time.

crinoline. Ring-shaped structure which surrounds the cone and which can be vertically adjusted so that its distance from the top of the cable coil can be kept virtually constant; together with the cone it forms a relatively narrow opening around the cone through which the cable is paid out smoothly.

D

deadman. Industry jargon for the beach anchor.

deep-sea cable. In the case of armored cable, that with a minimum amount of armor, sufficient to withstand the tensile forces during the laying operation but not intended for protection against physical damage which is generally considered to be almost non-existent in deep water; armorless or light-weight cable.

depth profile. The plot giving a graphic description of the water depth along a seacable route where the abscissa represents the distance along the route and the ordinate represents the water depth, usually at an exaggerated scale.

depth recorder. The instrument which makes a continuous plot of water depth versus time.

dielectric. The insulation between the inner conductor and the outer conductor of the coaxial structure of a coaxial seacable; consists usually of high-molecular polyethylene with high insulation resistance and low dissipation factor.

direct burial. The installation of land cable or shore-end cable directly into the ground without using conduits.

directional filter. A combination high-pass and low-pass filter with a common branching point; used to separate the higher and lower transmission bands of a bidirectional system.

double armor. The application of two layers of armor wires to a cable, usually done to provide a high order of abrasion resistance, and also high breaking strength to resist parting by dragging anchors and trawls.

drag coefficient. Relates drag forces on a towed cable to towing velocity and cable diameter; mostly determined by towing tests.

draw-off gear. The hold-back gear becomes the draw-off gear when picking up.

E

equalization program. Sequence of events to determine the required ocean block equalizer characteristics during the laying operation and the assembly or adjustment or selection of the equalizer networks; related to system tests during laying.

equalizer, ocean block. Assembly of networks placed in a water-tight enclosure and inserted in the cable, which reduce the level deviations accumulated over an ocean block; typically they are assembled or adjusted on board the ship during the laying operation; mechanically they are practically identical to repeaters.

equalizers, terminal station. Adjustable networks for equalization and control of transmission parameters properly controllable at the ends of the system.

equalizer assembly. Operation on board a cable-laying ship where equalizers are assembled during the laying operation after their characteristics have been determined by computation.

equalizer section. The length of a repeater section containing an ocean block equalizer.

expansion matrix. A computation procedure which reflects the nonlinear gain behavior of bidirectional repeaters with a common amplifier for both directions of transmission; permits the establishment of the margin of a system against nonlinear singing.

extrusion. The process of applying the insulant in hot plastic cover to the center conductor as it passes through the extrusion machine; also the process of applying the outer jacket on armorless or lightweight cable.

F

FIT. A unit which is used to indicate the reliability of a component or device; one FIT corresponds to a failure rate of $10^{-9}$/hour.

facility. A term used broadly to describe those things which are used for telecommunications service.

fairlead. A shipboard device for guiding the movement of cable from or to the tank and to or from the deck, cable engines, and sheaves, configured to restrain the bending of the cable to the allowable bending radius.

fathom. 1/1000 of either a nautical or cable mile; approximately 6 feet.

fault location. Procedure of electrical tests made from a terminal station or a cable ship to determine the location (and sometimes the cause) of system malfunction.

feather edging. Industry term for boards of triangular cross-section that are placed alongside cable crossing turns of a flake in a cable tank to avoid the undesirable concentrated compressive stresses occasioned by cables crossing at right angles under heavy weight from successive flakes above.

final splice. Cable junction between the seaward end of the previously installed shore-end cable and the bitter end of the cable in the cable laying ship. The final splice concludes the cable laying operation.

first splice. Cable junction between the seaward end of a previously installed shore-end cable and the first end of the cable in the cable laying ship. The first splice commences the cable laying operation.

five-wheel gear. Industry term to describe the pay-out engine developed in England about 1950 to enable laying of rigid repeaters; five sheaves in the same vertical fore-and-aft plane with axes athwartships, around which the cable was led over-and-under, with arrangements for by-passing the repeaters around the engine on a trolley with the ship slowed to about one knot.

flake. Industry term for one spirally-laid-down layer of cable in a cable tank.

fleeting. The process of moving the turns of cable that are around a cable drum in an axial direction (sliding them over) so that cable leading onto the drum may meet the surface of the drum perpendicularly and not pile up toward the flange.

floating knife. Mechanical controlling device applied to the cable drum; its purpose is to move over the cable turns on the drum by the amount of one cable diameter per revolution of the drum, thereby making sure that the incoming cable is encountering the drum always at the same point.

flexible. Term applied to repeaters designed to behave somewhat like enlarged segments of cable, to permit their handling, storage, laying, and recovery with cable machinery not initially designed for repeatered cable systems, typified by the multicontainer articulated repeaters produced in the 1950-60 period; term also justifiably applied to those relatively short (about 3 to 1 length-diameter ratio) monocontainer repeaters to which the cable is attached by flexible couplings (gimbals, universal joints) permitting the repeater to safely pass around drums and sheaves.

floating in. The process of drawing cable from a cable ship to shore by a pulling line, the cable having floats progressively attached so that it remains near the surface until the end is made fast ashore, after which the floats are removed allowing the cable to sink to the pre-determined location.

floats, cable. Inflatable pillow-shaped plastic bags or empty metal drums for use in floating in. See also cable floats.

flooding, tar. Industry term for the application of an asphaltic tar in hot fluid state to the cable at the point of application of the armor wires, or just afterward; also applied to jute serving.

G

gain compression. Small reduction in repeater gain under traffic load conditions; only significant in systems with a large number of repeaters in tandem.

gear, cable. Industry jargon for cable machinery or cable-laying gear.

grapnel. Device to grapple (hook) the cable from a cable repair ship in order to bring it to the surface; grapnels come in different configurations, their selection for use depending upon the nature of the bottom and other considerations.

grapnel rope. Special rope connecting the cable repair ship with the grapnel during a grappling operation.

I

interlock. Circuitry and mechanical restraints which prohibit access to the high-voltage sections of cable power feed equipment until potentials are removed and cables appropriately and safely terminated.

J

jacket. The outer coating of high-density polyethylene on an armorless or light-weight cable; also a coating of an appropriate elastomer on individual armor wires, such as polyvinyl chloride or neoprene, as an erosion inhibitor.

Jockey wheel. A wheel small in diameter compared to the sheave upon which it "rides", whose purpose is to maintain the cable firmly in the groove of the sheave.

joint, cable. The union of the center conductor and the dielectric of two sections of core.

jute bedding. One or more layers of jute yarn between the outer conductor and the armor layer so that the coaxial is not damaged during cable armoring and cable handling.

jute serving. A layer of jute yarn on top of the armor to give more corrosion protection to the armor wires, to resist any tendency of displacement of the wires during handling or laying, and to reduce slippage of cable on the cable drum.

knitted armor wire. The preparation of the armor wires with coverings of organic (such as cotton) or inorganic (such as nylon) fibers, for purposes related to the overall cable design.

knot. One nautical mile per hour.

M

machinery, cable. Industry term to define the apparatus on board ship for the pick-up and pay-out of cable.

main cable. The major portion of a total cable system represented by the part usually laid in the deeper reaches of the route, to distinguish it from the cable configurations used to come ashore, and those that are laid across land.

mile, cable. By industry tradition, 1,855.3 meters, or 6,087 feet.

mile, nautical. Taken generally as 1,852 meters, or 6,076 feet.

monocontainer. Description of a repeater (or equalizer) configuration that consists of a single chamber to which the cable is attached, either flexibly or inflexibly.

multichannel. A term used to describe a transmission system in which many circuits are operating simultaneously with much commonality of frequencies and apparatus.

multicontainer. Description of a repeater (or equalizer) configuration consisting of several "containers" coupled end-to-end flexibly, to which the cable connects at the end containers; also called articulated.

multiplex. The modifier applied to telephony or telegraphy to indicate the build-up of a wide transmission band from many narrower ones, or the simultaneous transmission of many discrete circuits with commonality of facilities.

multi-wheel gear. Description of a laying engine consisting of a number of pairs of pneumatic-tired wheels running tangent to each other and all in the same vertical fore-and-aft plane, each pair pressed together so as to grip the cable as it is led between them in a straight line, equipped with drive and brake mechanisms that limit the shear forces, and arranged so that each pair may be successively parted to allow the passage of a repeater.

mushroom anchor. An anchor with special characteristics, the head of which is a portion of a hollow iron sphere, from about latitude 50º and on up, with the stock affixed inside at the “pole”. Placed in mud or sand it strives to bury itself, and is used principally as a buoy anchor or a mooring anchor.

N

nautical mi1e (cable). Unit of measure for cable, by industry tradition taken as 1,855.3 meters, or 6,087 feet.

nautica1 mi1e (general). Unit for measuring oceanic distances and water depth, 1,852 meters, or 6,076 feet.

nonlinear singing. A possible defect in long systems having a high number of repeaters with common amplifiers for both directions of transmission; nonlinear singing may occur if there is an irregularity in the system resulting in surplus gain and if the nonlinear singing margin of the repeaters is insufficient.

noise band, system. A frequency band outside the regular transmission band which is monitored continuously for the occurrence of excessive system noise.

O

ocean block. Portion of a seacable system between equalizers, typically consisting of 10 or more repeater sections and 2 equalizer half-sections.

ongoing interface. The junction between the seacable system and the facilities of the telecommunications network on shore.

order wire circuit. One or more service telephone channels between terminal stations using frequency bands located outside the regular transmission bands.

outer conductor. Copper or aluminium tape surrounding the dielectric; generally helical copper in the case of armored cable, longitudinal copper or aluminum for armorless cable.

outer jacket. Plastic jacket on top of the outer conductor of armorless cable, consists of high-density polyethylene, with or without pigment.

overlay splice. A means of preserving the continuity of the strength and protection of the armor wires at a cable junction, by cutting the coaxials shorter than the armor, and after conclusion of the joint, restoring the wires beyond the joint over the undisturbed wires of each section of cable.

P

PDR. Precision Depth Recorder; an instrument with a higher order of accuracy, and usually much larger chart trace, than the regular ship's echosounder, which, using the echosounder's pulse transmission and echo reception, produces a depth profile of desirable accuracy and size.

pan. Containers for cable; see cable pan for details.

parachute. Device sometimes affixed to repeaters during their transit from rest aboard the cableship to deployment over the stern, opening to form a drogue in the water, intended to slow the repeater sink rate to match the cable subsidence.

pay-out. The process of dispensing cable from a cable ship.

pay-out engine. On a cab1e laying ship, which 1s usually equipped with cable engines fore and aft, the after engine, used for laying long lengths of cable over the stern.

piano wire. Synonymous to taut wire; payed out during cable laying for precise measurement of distance travelled.

pick-up. The process of inboarding cable into a cable ship from the sea bed.

pilot, cable. Supervisory frequency inserted near the termination of the seacable and extracted likewise at the other end.

pilot, system. Supervisory frequency inserted and extracted near the ongoing interface.

pit, beach. The excavation just above the water's edge to accommodate the junction of the sea and land portions of cable, and the beach anchor.

plate dynamometer. A tension-measuring device, by which the cable's straight line trajectory from engine to sheave (or chute) is slightly distorted by the cable sliding over a raised plate resting on a load cell, the output of which gives a measure of tension.

polyethylene. The thermoplastic synthetic polymer which, in a highly refined state, is used, in high molecular weight form, for cable insulant, and in high density form, for cable jacket material.

polythene. British designation for polyethylene.

potential, earth. The difference in potential between the earth's surface at the terminals of a cable system.

power feed equipment. Equipment designed to energize the in-water portion of a sea cable system; normally consists of a constant current source of high reliability and double redundancy.

power separation filters. Networks designed to separate the energizing current from the transmission signals; located in repeaters, equalizers, and the power feed equipment.

pressure coefficient of attenuation. Change of attenuation per increment of a pressure unit (psi, kg/cm2); the pressure coefficient itself may be a function of pressure and frequency.

Q

quadrant. Portable mechanical guide consisting of a framework carrying many grooved rollers, which has the shape of a quarter circle; used during cable loading or cable transfer in order to guide the cable through a 90-degree change of direction.

R

RFI. Radio frequency interference. The intrusion of unwanted signals into the cable, for which shielding is required.

recorder, depth. That part of an echosounder which produces a continuous plot of the depth versus time.

reel, shipping. Device upon which short lengths of cable are "spooled" for transportation, and used to facilitate placement on land.

repair cable. Cable of lesser attenuation than the main cable, used in deep water repairs to permit lengthening a repeater section without upsetting the repeater gain/cable loss relationship.

repair repeater. One of a group of spares manufactured concurrently with the production of the system repeaters, whose circuitry permits its substitution for any repeater in the system.

repeater. Electronic device whose purpose it is to amplify system transmission signals. Placed at regular intervals along the cable, they are housed in mechanical containers able to withstand the tensile stress during the laying operation and the water pressure while resting on the sea bottom.

repeater section. Length of cable between repeaters.

S

sheaves. The wheels at the bow of all cable ships and at the stern of some, over which the cable passes when entering or leaving the ship in laying or recovery operations; also variously-sized V-grooved wheels in other devices, such as cable transporters.

sheaves, bow. The two or more free-turning wheels, generally of diameter above six feet, mounted on a thwartship axis at the bow.

sheave, stern. The wheel at the stern of a cable-laying ship (as distinct from a cable repair ship which usually has no stern sheave).

shielding. The provision of materials (iron or copper tapes, lead extrusions) on the outside of the coaxial under the armor to reduce electromagnetic interference.

shore-end cable. Seacable with heavy armor (single armor or double armor depending on the water depth and other conditions) for mechanical protection in shallow water, and containing shielding to reduce electromagnetic interference.

single armor. One layer of steel wires.

slack. The length of cable paid out relative to the geographical distance along the bottom contour, the difference being expressed in percent.

splice, beach. The junction between the sea portion and the land portion of a cable system.

splice, final. The junction between the seaward end of the previously-laid shore-end cable and the bitter end of the main cable.

splice, first. Cable junction between the seaward end of a previously installed shore-end cable and the first end of the cable in the cable laying ship; the first splice commences the cable-laying operation.

splice, overlay. A procedure by which the strength of the armor wires is maintained at the junction between two sections of armored cable.

station cable. The portion of cable between the cable vault and the terminal equipment.

station, terminal. The physical plant comprising shelter, utilities, and the cable system terminal equipment.

stern chute. In laying cable over the stern, the last mechanical element cable and repeaters pass before they go into the water is the stern chute (or stern sheave); a guide element whose radius of curvature should exceed the bending radius of the cable.

stern sheave. The wheel at the stern of a cable laying ship over which the cable and repeaters are deployed into the sea.

stop band. The frequency band between the two transmission bands of a bidirectional system.

stopper. The means by which a cable can be made fast without cutting or bending; a piece of grapnel rope is attached to the cable using the overlay splicing technique; the free end of the rope is terminated in a thimble which can easily be connected to more rope or chain, anchors, etc.; other devices such as self-tightening grips are sometimes used.

storage tank. Large cylindrical tanks are located in the cable factory or depot for the storage of several types of seacable; depending on the diameter of the cable these tanks can hold hundreds of miles of cable; they can be flooded and have facilities for water circulation for temperature stabilization preparatory to electrical measurements.

supervisory equipment. Equipment located at the terminal station for the purpose of monitoring repeater performance.

surround tapes. Industry term describing the copper tapes which were helically applied to a central copper wire, to form a composite center conductor consisting of the central wire and three tapes; an obsolete configuration.

system. A term used to designate the collection of apparatus, facilities, wires, cables, or whatever, to comprise a two-directional broadband pathway for telecommunications transmissions.

system design. The proper relationship of all system parameters such as basic noise, intermodulation noise, circuit capacity, overload margin, cable characteristics, sea-bottom profi1e and temperatures, repeater characteristics, equa1ization margins, etc.

system design life. Variously stated as the useful life of a system; the period during which it is intended to be economically satisfactory to continue the system inservice, or the period over which there will be no significant deterioration of the cable or the submerged electronics; usually taken as 20 years or more.

system noise band. A frequency band outside the regular transmission band which is monitored continuous1y for detection of the occurrence of excessive system noise.

system pilot. A supervisory pilot frequency which is inserted near the ongoing interface of one terminal station and extracted near the ongoing interface of the other terminal station.

system tests during laying. Upon completion of the first splice, the first ocean block of the system is energized and transmission tests are continuously made from which required equalizer characteristics are computed; repeated for successive ocean blocks.

T

TASI. Acronym far time assignment speech interpo1ation equipment, enabling the effective expansion of the number of usefu1 voice circuits in a system.

tank, cable. The cable stowage spaces aboard a cable ship, cylindrical in form with a center cone; also at cable factories and depots, similarly for cable storage.

tape armor. Steel tapes helically applied to cable for physical protection from damage from the back filling of land cable trenches in direct-burial installations.

tar flooding. The application of asphaltic tar in a hot fluid condition to armoured cable at or near the point of armouring.

taut wire. A small-gauge high tensile steel wire which is overboarded with an anchor and payed out with controlled tension over the stern of the cable ship during the laying operations; the length of the wire is continuously measured and thus provides the exact distance between the ship and the fixed geographical starting point. This information is used to determine slack, and as a corroborative aid to navigation; also called piano wire.

terminal station. The physical plant (building, utilities) near the landing point of the seacable system, containing the terminal equipment.

terminus. The name of the place at which the terminal station is located.

test, system, during laying. Upon completion of the first splice, the first ocean block of the system is energized and transmission tests are continuosly conducted from which equalizer characteristics are computed, repeated for successive ocean blocks.

thruster, bow. The motor-driven propeller in the thwartship tunnel near the bow.

trough. A guide structure for the transit of cable and repeaters along the deck; in the cable factory, the facility for cooling the extruded core to ambient temperature.

W

wire, armor. Galvanized mild steel wires for application in one or two layares for installations relatively shallow; galvanized high tensile steel wires for application in a single layer for relatively deep water.

X

X-Ray procedure. The universal industry requirement that every joint made in the factory or aboard ship shall be X-Rayed with 3 shots rotated 120º and the results examined for voids or contaminants in the insulant before the outer conductor is applied.

## Capítulo 15. Bibliografía

*REFERENCIAS SOBRE CABLE SUBMARINO*

[1] **C.E. Roden.** (Revisado por A. O. Richardson y R.E. Frantz) *"Submarine cable mechanics and recommended laying procedures"*. Ago. 1989.

[2] **TSSL TEMASA.** *"Procedimiento de calidad"*. Edición 4. Dic. 1999.

- *"Carga y transporte de cables submarinos"*. Referencia: PTC.09.02.06.

[3] **TSSL TEMASA.** *"Procedimiento de calidad"*. Edición 4: Nov. 1999.

- *"Draga y recuperación de cable submarino"*. Referencia: PTC.09.01.02.
- *"Arriado y recuperación de boyas"*. Referencia: PTC.09.01.02.

[4] **TyCOM.** *"Procedimiento de calidad"*. Edición 5: may. 2001.

- *"Instalación con arado de cables submarinos"*. Referencia: PTC.09.02.05.
- *"Limpieza de ruta"*. Referencia: PTC.09.02.07.

[5] **TyCOM.** *"Procedimiento de calidad"*. Edición 6: may. 2001.

- *"Tendidos en playa de cables submarinos"*. Referencia: PTC.09.02.03.

[6] **TyCOM.** *"Procedimiento de calidad"*. Edición 7: may. 2001.

- *"Operaciones con ROVs"*. Referencia: PGC.09.03 .

[7] **TyCOM.** *"International construction operations & maintenance. Vessel Loading Work Instructions*" Issue 2. Mar. 2001.

[8] **TYCO Telecommunications.** *"International construction operations & maintenance. Route clearance and pre lay grapnel run operations"*. Nov. 2002.

[9] **TYCO Telecommunications.** *"Guide to Tyco Telecommunications SL17 Cable Systems Handling and Installation"*. Jun. 2002.

[10] **TYCO Telecommunications.** *"Beach Pull & Shore End Installation"*. Technical Volume, Tab 2, Section 6 & 7. Mar. 2003.

[11] **Transoceanic Cable Ship Company.** *"Cable Operations Manual"*. Ago. 1993.

- Section 7: *"Grappling operations".*
- Section 8: *"Buoy operations".*
- Setion 11: *"Final bight deployment"*.

[12] **C. Orozco.** *"Submarine cable operations and cable ships operations".*

[14] **G.V. Castro.** *"Tendido y reparación de cables submarinos"* Oct. 1999.

[15] **Curso de O&M** *"Gestión y Comercialización del cable submarino"*. Oct. 2005.

[16] **UNEP-WCMC. Carter L.; Burnett D.; Drew S.; Marle G.; Hagadorn L.; Bartlett-McNeil D. And Irvine N. "***Submarine Cables and the Oceans. Connecting the World"*. Biodiversity Series No. 31. 2009.

[17] **DTRE. DTSM.** *"Généralités sur les cables sous-marins et les navires cabliers"*. Abr. 1987.

[18] **SCO**. *"Submarine Cable Operations Manual"*.

[19] **R. Pelagos.** *"Surface Laying Mathematics Made Easy"*.

[20] **R. Muñoz.** *"Cable laying practices, fundamental principles and procedures for the surface laying of submarine cable"*. Jul. 1999.

[21] **E. Becerra y J. A. Fraile.** *"Sea Stallion 2". Nov. 2008.*

*REFERENCIAS SOBRE POSICIONAMIENTO DINÁMICO*

[22] **Captain D. J. Bray FNI.** *"Dynamic Positioning Operator Training (Monograph)"*. 2nd Edition 1999.

[23] **Captain D. J. Bray FNI.** *"The Nautical Institute DP Operator´s handbook: A practical guide". 2nd Edition. 2010.*

[24] **J. Gorman-Charlton. The Dynamic Positioning Centre.** *"DP Basic Course Manual"* Revision 4. Mar. 2009.

[25] **K.C. Shukla. The Dynamic Positioning Centre.** *"DP Advanced (simulator) Course Manual"* 1st Edition. May. 2009.

[26] **ITMA.** Italian Maritime Academy Techonologies. *"Students Reference Manual-DP Basic/Induction Course"* (rev.002).

[27**] IMCA M 182.** *"International Guidelines for The Safe Operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels"*. Mar. 2006.

[28] **IMCA M 182.** *"International Guidelines for The Safe Operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels"*. Ago. 2009.

[29] **IMO MSC/Circ.645.** *"Guidelines for vessels with Dynamic Positioning* Sytems". 6 June 1994.

[30] **IMO MSC.1/Circ.738/Rev.1.** "Guidelines for Dynamic Positioning System (DP) Operator Training". 7 July 2006.

*REFERENCIAS WEB DE CONSULTA*

- **ISCPC.** "*International Cable Protection Committee*". http://www.iscpc.org/home_spanish.htm
- **COIT.** "*Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación*". Varios artículos;
  - *"Un mundo de cables"*. http://www.coit.es/publicac/publbit/bit131/especial.htm
  - *"Las operadoras de cables submarinos y su papel en unas telecomunicaciones mundiales liberalizadas"*. http://www.coit.es/publicac/publbit/bit131/especial1.htm
  - *"La revolución Internet sobre redes de cables"*. *http://www.coit.es/publicac/publbit/bit131/especial8.htm*
  - *"Los buques cableros españoles"*. *http://www.coit.es/publicac/publbit/bit131/especial7.htm*
  - *"Sistemas submarinos sin repetidor: desafíos y tecnologías futuras"*. *http://www.coit.es/publicac/publbit/bit131/especial3.htm*
  - *"Cables submarinos de fibras ópticas"*. *http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/libroscables_submarinos_de_fibras_opticas_e0d033c4.pdf*
- **Wikitel.** "*Cable submarino*". http://wikitel.info/wiki/Cable_submarino
- **Atlantic Cable.** "*History of the Atlantic Cable & Undersea Communications*". http://atlantic-cable.com
- **TeleGeography.** *" Submarine Cable Map"*. http://www.submarinecablemap.com/
- **The Nautical Institute.** "*Dynamic Positioning*". http://www.nautinst.org/en/dynamic-positioning/index.cfm
- **Atmosferis.** "*Información sobre la industria y el tranporte marítimo*".

http://www.atmosferis.com/introduccion-al-sistema-de-posicionamiento-dinamico-dp/

- **Makai Ocean Engineering**. *"MakaiLay Cable Lay Monitoring & Control System"*
  http://www.makai.com/cable-software/makailay/
- **Fugro Pelagos "***WinFrog Integrated Navigation Software"*
  http://www.fugro-pelagos.com/winfrog.asp

## Capítulo 16. Anexos

En el CD adjunto a este trabajo se encuentran una serie de documentos de referencia que tratan temas relacionados tanto con el Posicionamiento Dinámico como con el sector del cable submarino.

Entre ellos se encuentran una serie de diagramas, planos, cuadros y hojas de cálculo que han sido recogidos para esquematizar y aportar información adicional a ciertos apartados de este trabajo.