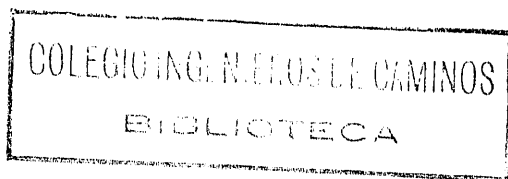


Campañas oceanográficas para proyecto y trazado de tuberías submarinas a gran profundidad^(*)



Por CARLOS LOPEZ PIÑON

Ingeniero Industrial.

El trazado de una tubería submarina exige el estudio del fondo del mar, de manera que se pueda asegurar la estabilidad de la tubería una vez tendida. Asimismo, las condiciones ambientales durante la construcción y después de la misma pueden provocar tensiones inadmisibles en la tubería, por lo que es necesario un estudio estadístico de esas condiciones ambientales.

En este artículo, describimos en detalle los métodos de investigación oceanográfica que conducen al conocimiento del fondo marino y del ambiente circundante. Nos hemos dedicado particularmente a explicar de manera sencilla el principio de funcionamiento de los equipos más utilizados en este tipo de trabajos. Con las figuras pretendemos que la exposición sea lo más didáctica posible.

Asimismo se dedica un capítulo a la organización de una campaña oceanográfica en el que se describe el orden que deben seguir los trabajos de reconocimiento.

Finalmente, se incluye una extensa bibliografía referida solamente a textos publicados y accesibles a todo el mundo. Esta bibliografía está dividida en capítulos por temas tratados y puede ser de utilidad para el que quiera profundizar en el conocimiento de lo aquí expuesto.

INTRODUCCION

La definición del trazado de una tubería submarina exige un reconocimiento detallado del terreno sobre el cual irá apoyada o enterrada la misma. Este reconocimiento debe permitir seleccionar el trazado más adecuado que garantice la estabilidad de la tubería una vez instalada en el fondo marino. Para ello, será necesario conocer la topografía detallada de la zona, así como las características geotécnicas del terreno que soportará la tubería. Asimismo, el trazado seleccionado debe reunir unas determinadas condiciones para las alineaciones y curvas en horizontal en función de las pendientes y relieves del fondo marino, de manera que se pueda concluir afirmativamente la posibilidad del tendido de la tubería.

Por otro lado, durante la construcción (la cual se efectúa desde un barco de superficie), las tensiones en el material provocadas por las corrientes

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 31 de enero de 1980.

marinas, oleaje y movimientos del barco, no deben superar un determinado valor por encima del cual se puede producir la rotura de la tubería, al acumularse las tensiones producidas a las propias del tendido (peso y configuración geométrica de la tubería sumergida). Por lo cual, es necesario conocer la meteorología de la zona, así como las fuerzas hidrodinámicas presentes en el medio marino. Además, estas fuerzas continúan actuando sobre la tubería una vez está posada en el fondo (corrientes en el fondo y olas en lugares poco profundos), pudiendo llegar a causar tensiones inadmisibles en la tubería durante su explotación, por lo que estas acciones hidrodinámicas han de ser tenidas en cuenta también a la hora de elegir el trazado de la tubería.

El conocimiento de las características citadas, exige la realización de una campaña oceanográfica destinada a definir el trazado de una tubería y el proyecto básico de instalación. Para ello, se considera el caso más general de un trazado largo (superior a 50 km.) y que alcance una profundidad apreciable (superior a los 50 m.). Para longitudes más

cortas con profundidades menores, las operaciones aquí descritas variarían sustancialmente.

Dada la brevedad del artículo, renunciamos a toda descripción física de los distintos aparatos y de los registros que se obtienen con los mismos. Asimismo, se excluyen la interpretación de esos registros y los cálculos de resistencia de tuberías que limitan las posibilidades del trazado. Nos limitamos a la descripción de los trabajos puramente oceanográficos de recogida de datos.

CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS

La extensión y el grado de precisión de una campaña oceanográfica vienen modulados por el alcance del estudio, según que éste sea un estudio previo de factibilidad técnico-económico, un estudio de ingeniería básica o un estudio de ingeniería de detalle para construcción. Nosotros vamos a suponer que la campaña oceanográfica debe ser lo más completa posible. Entonces, los reconocimientos a efectuar son los siguientes:

1. Definición de la topografía del fondo del mar.

Método utilizado:

Batimetría:

— Ecosonda.

Morfología:

— Sonar lateral.

— Inspección visual (TV y fotografía submarina).

2. Geotecnia. Geología del terreno que soporta la tubería.

Método utilizado:

Litología:

— Sparker (sísmica de penetración).

— Sondador de sedimentos.

— Toma de muestras del terreno.

Características geotécnicas:

— Toma de muestras del terreno y análisis en laboratorio.

— Medidas «in situ» (peneómetros, aparatos de corte, etc.).

3. Oceanografía física.

Método utilizado:

Oleaje:

— Boyas de medida.

Corrientes:

— Estaciones correntímetros (correntímetros).

Meteorología:

— Estaciones meteorológicas.

Mareas:

— Mareógrafos.

Salinidad y temperatura del agua:

— Botellas y batitermógrafos.

Actividad biológica:

— Toma de muestras.

En lo que concierne a la batimetría, morfología y litología, la campaña consistirá en realizar, con uno o varios barcos debidamente equipados, unas rutas predeterminadas durante las cuales los equipos de medida registran la profundidad y rugosidad del fondo marino, así como el espesor de los sedimentos superficiales.

Respecto a las tomas de muestras del terreno, registro de oleaje y corrientes, etc., las medidas son puntuales y los equipos se instalan en el lugar deseado con el apoyo de un barco.

Además, es necesario implantar un sistema de radioposicionamiento para el posicionamiento horizontal de los barcos que realicen la campaña oceanográfica, el cual permita en todo momento conocer las coordenadas geográficas de todos los registros, sondeos y tomas de muestras que se efectúen.

Analizaremos a continuación en qué consisten los reconocimientos citados y explicaremos los métodos de medida que se utilizan.

BATIMETRÍA

Las cartas batimétricas son las cartas geográficas del fondo marino, con las curvas de nivel de la superficie del fondo del mar dibujadas en ellas. Nos señalan la profundidad de todos los puntos del fondo con referencia a un nivel 0 determinado (que suele ser la superficie del agua en el momento de bajamar) (fig. 1).

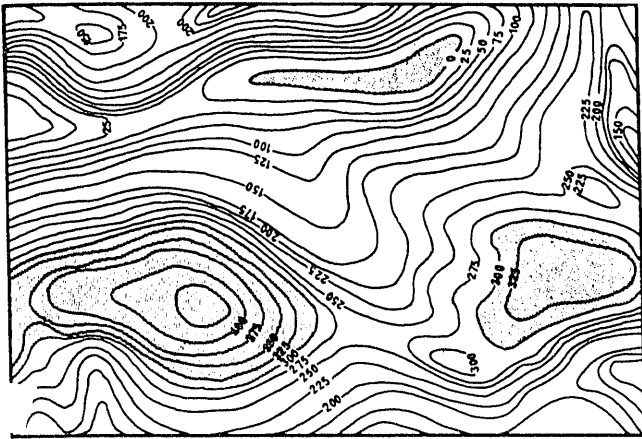


Fig. 1.—Ejemplo de carta batimétrica.

El aparato utilizado para obtener las cotas o profundidades del fondo del mar es el *Ecosonda*, el cual es operado desde un barco en la superficie del mar. El ecosonda emite un impulso ultrasónico que se refleja en el fondo del mar; el eco se recibe de vuelta en el ecosonda, se amplifica y se registra, midiéndose el tiempo, *t*, que ha tardado desde que se emitió la señal hasta que se recibió el eco. Puesto que la velocidad del sonido en el agua, *V*, es conocida (aproximadamente, 1.500 metros por segundo), la profundidad del fondo marino en ese punto es:

$$H = \frac{V \cdot t}{2}$$

Este valor se puede registrar de manera digital o gráficamente. En este segundo caso, se van gra-

bando sobre un papel las profundidades del fondo marino según avanza el buque, obteniéndose el perfil del terreno en toda la ruta seguida por el navío.

MORFOLOGIA

El ecosonda permite levantar perfiles del fondo marino. Sin embargo, no nos dice nada de la superficie que queda entre dos perfiles contiguos (que pueden estar separados desde 100 metros a un kilómetro). El reconocimiento de la rugosidad y el microrrelieve de los fondos marinos se efectúa mediante un aparato llamado «sonar lateral». El principio del sistema es el mismo que el del ecosonda. Sin embargo, en el sonar lateral el haz sonoro no está dirigido según la vertical del navío, sino lateralmente (fig. 2), con lo cual los ecos reflejados provienen de numerosos puntos del terreno entre A B y C D. Los impulsos sonoros son emitidos a intervalos de tiempo regular; según sea la forma y las irregularidades del fondo del mar, los ecos son reflejados hacia el navío (parcial o totalmente, según el ángulo de reflexión) o se pierden hacia el otro lado. Los que vuelven al sonar lateral, son registrados en función del tiempo de ida y vuelta. Puesto que los ecos de las zonas más próximas al barco llegarán los primeros y, posteriormente, llegarán de manera ordenada los demás, es inmediata la reproducción sobre un papel de estos ecos (o vacíos, si no hay ecos), con una intensidad proporcional a la reflexión, representando aproximadamente la forma del terreno. Conforme el navío va avanzando, se va obteniendo una imagen casi fotográfica del fondo del mar a ambos lados del barco.

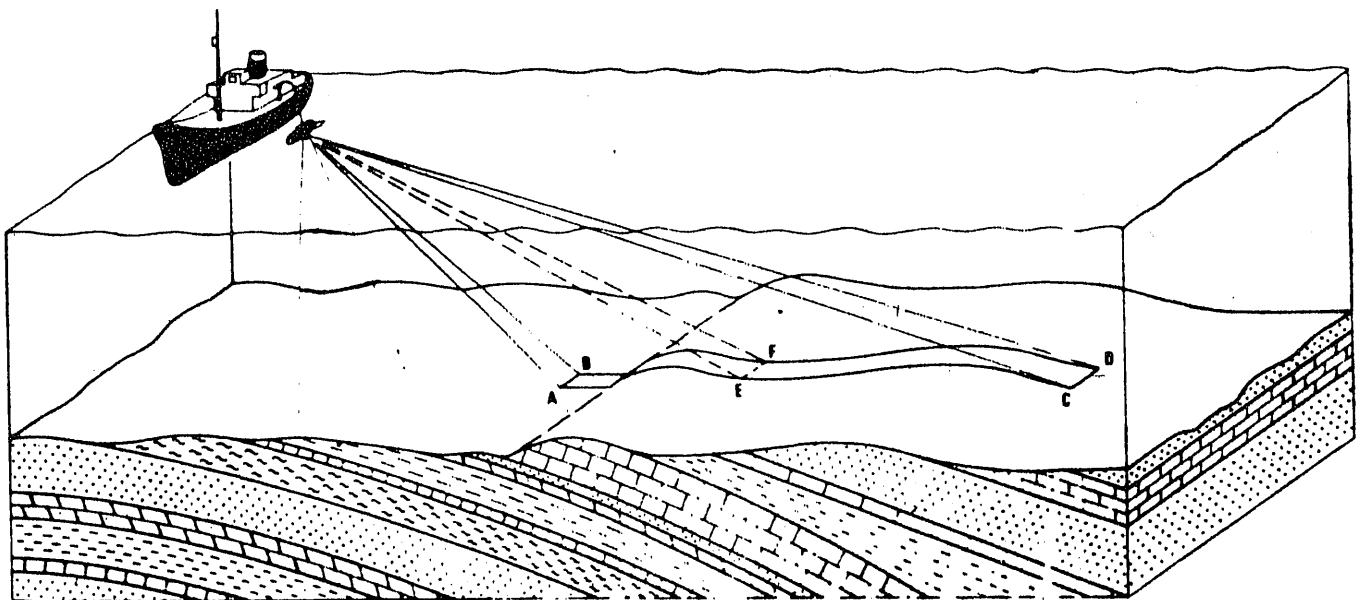


Fig. 2.—Esquema de funcionamiento del sonar lateral.

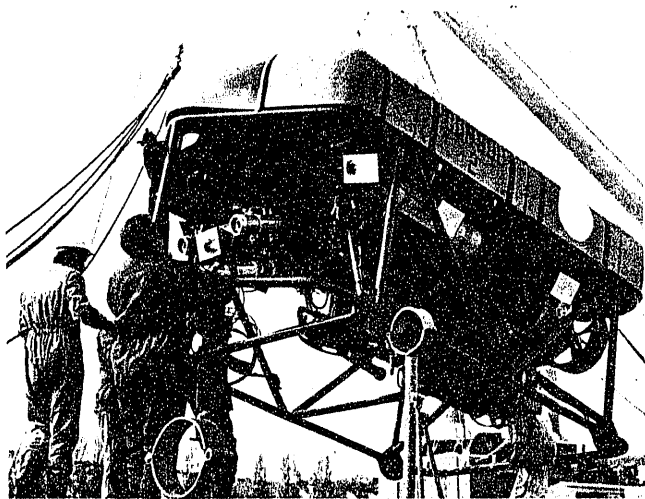


Fig. 3.—Vehículo de TV submarina autopropulsado. En la parte delantera se aprecian las cámaras de TV y los proyectores de luz; en la trasera, los propulsores.

El otro método de conocer la forma del fondo marino en detalles es la visualización del mismo por medio de la **fotografía** o la **televisión**. En el estudio de trazados de tuberías submarinas, la toma de vistas se reduce al mínimo posible dado el elevado coste de los equipos y su bajo rendimiento; solamente se utiliza para precisar de manera exacta algunos detalles del fondo marino en lugares muy importantes para el proyecto. La puesta en obra de una cámara de TV o fotografía en el fondo marino necesita una estructura que la soporte, además de los proyectores de luz (imprescindibles, dada la carencia de luz en el fondo). Esta estructura puede ser fija o autopropulsada; en el primer caso, el barco de apoyo tiene que ir desplazándola continuamente; en el segundo caso (fig. 3), la estructura o chasis que soporta las cámaras y los proyectores, lleva motores de propulsión eléctricos que le permiten desplazarse, a la velocidad de un nudo, muy próximo al fondo, visualizándolo en continuo. El aparato es dirigido desde el barco de apoyo en la superficie del mar, a través de un cable que une a ambos: por ese cable, le llegan al aparato la energía eléctrica para moverse y, además, sirve para que el operador en el barco pueda ver el fondo, al mismo tiempo que la cámara de TV está registrándolo (visión en tiempo real).

Un método mucho más sofisticado de visualizar el fondo marino es por intermedio de un submarino o un batiscafo; por el hecho de ir tripulados y alimentados por baterías, su autonomía es muy pequeña con unos tiempos máximos de inmersión que no superan las seis horas.

Con los datos recogidos por el sonar lateral y la TV se puede dibujar una carta morfológica de la zona investigada, en la que aparezcan todos los detalles del microrrelieve del fondo marino, que no

pueden ser señalados en las cartas batimétricas. Así, el suelo marino se representa en estas cartas de distintos colores, según que sea muy accidentado (muchos relieves superiores a cinco metros, por ejemplo), accidentado, poco accidentado, con formaciones de dunas (u ondulaciones), o que sea fondo plano y uniforme. Asimismo, se señalan en estas cartas todos, todos los accidentes del relieve (escalones, crestas, taludes, encajonamientos), resaltos, bultos y fosos pequeños que puedan existir y hayan sido detectados.

LITOLOGIA Y GEOTECNIA

Una vez conocida la topografía del fondo marino, nos interesa conocer la naturaleza y las propiedades físicas y mecánicas del terreno en la superficie y en las primeras capas o sedimentos bajo el fondo. Entre otros motivos, para conocer la capacidad de carga del terreno y sus posibilidades de licuefacción y eventuales corrimientos. Para ello, se realizan tomas de muestras del fondo (o sondeos) y se procede a su análisis en laboratorio.

Para reducir el número de sondeos a realizar, previamente se hace un reconocimiento de las capas superficiales del substrato por medio de aparatos sísmicos semejantes al ecosonda y al sonar lateral. Para ello se aprovecha una propiedad de las ondas acústicas y es que, dependiendo de la frecuencia de emisión, las ondas «atravesen» las capas sedimentarias o se reflejan en el límite entre dos capas, según la naturaleza de éstas. El método consiste en registrar los ecos de un impulso sonoro reflejado por las discontinuidades del subsuelo (fig. 4).

Según el barco avanza, el emisor está lanzando impulsos en una amplia gama de frecuencias continuamente, lo que permite obtener un registro gráfico y continuo de los ecos provenientes del subsuelo marino.

El equipo más empleado en esta técnica es el «Sparker», en el cual el emisor produce una chispa

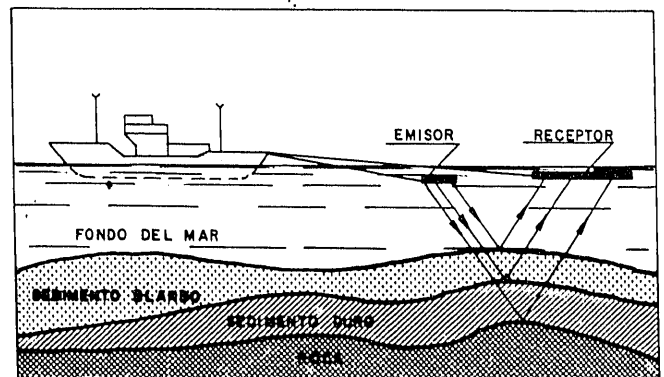


Fig. 4.—Principio de funcionamiento del "Sparker".

entre dos electrodos: la perturbación provoca una onda sísmica en el agua que se propaga y se refleja en las diversas capas del fondo; los ecos son recogidos en un conjunto de hidrófonos que forman el receptor. Ambos, receptor y emisor van remolcados por el barco de reconocimiento.

Una simplificación de este método es el llamado «sondador de sedimentos». Su disposición es semejante a la del ecosonda: el emisor y receptor son una misma cosa y puede instalarse fijo en el barco, como aquél. Este aparato emite en una frecuencia (entre 2 y 6 KHz), lo que le permite penetrar sólo una capa de sedimentos: la más superficial. Esto es muy interesante porque nos permite conocer el espesor del sedimento blando del fondo, pudiendo dibujar la carta del isópacos de esta primera capa.

Aunque no nos aclaran la naturaleza ni las propiedades del terreno, los métodos sísmicos permiten conocer la estructura y la forma de las primeras capas del subsuelo marino. Gracias a ello, se puede reducir el número de sondeos para la campaña de toma de muestras del terreno, puesto que los resultados de una muestra son aplicables a toda la zona que tenga similares características estructurales. Además, el conocimiento de la geometría de los diferentes sedimentos, gracias a los métodos sísmicos, nos permiten elegir el lugar idóneo para efectuar el sondeo, de manera a obtener el máximo de información de cada muestra de terreno extraída.

Las tomas de muestras del terreno se efectúan con los «tomamuestras» o «sondadores».

Puesto que para los fines de un proyecto de tubería submarina sólo nos interesan los primeros metros de terreno bajo el fondo, los equipos empleados son del tipo autónomo en el fondo. Desde el más simple, al más complicado, tenemos:

- Draga de rocas, por arrastre.
- Draga de sedimento superficial (tipo de cuchara «Shipek»).
- Tomamuestras de caída libre (tipo «Kullenberg»).
- Tomamuestras de vibración (neumáticos e hidráulicos).
- Tomamuestras rotativas (con soporte en el fondo).

Todos ellos se instalan en el fondo y están unidos por un cable al barco de apoyo (fig. 5).

La longitud de las muestras obtenidas depende de la naturaleza del terreno y del método utilizado.

La draga de rocas es una bolsa de malla de acero que se arrastra por el fondo, tirado por el barco, y va recogiendo rocas sueltas en el fondo.

La draga «Shipek» es una cuchara de almeja que se hunde en el fondo y obtiene muestras muy superficiales.

Los «Kullenberg» son los tomamuestras más utilizados por su facilidad de operación y su alto rendimiento. El funcionamiento se explica en la figura 6: el aparato se deja caer libremente desde el barco en el lugar elegido para el sondeo. El lastre, al tocar el fondo, libera el tomamuestras que cae y se hunde en la tierra. Obtiene muestras alteradas y sólo funciona en suelos muy blandos.

Los tomamuestras por vibración permiten la obtención de muestras menos alteradas que con los «Kullenberg» y se puede operar en terrenos menos blandos. La puesta en obra es más complicada; sin embargo, además del cable de subida y bajada del aparato, existen tubos flexibles uniendo el apa-

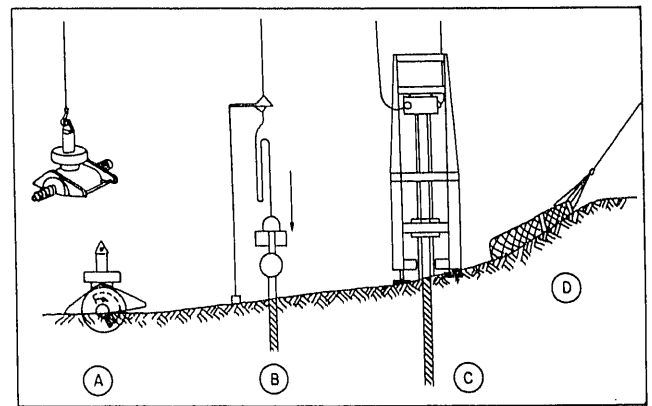


Fig. 5.—Tomamuestras más utilizados: A) «Shipek». B) «Kullenberg» y de caída libre. C) Percutores, vibradores y rotadores. D) Draga de rocas.

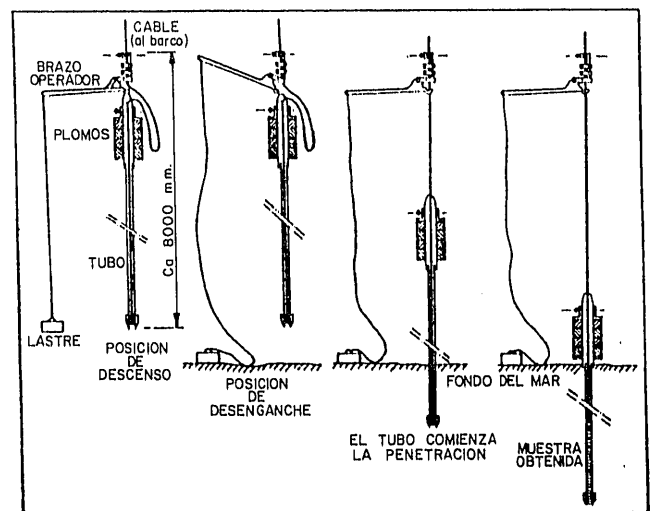


Fig. 6.—Funcionamiento de un tomamuestras tipo Kullenberg.

rato en el fondo y el motor hidráulico (o neumático) en el barco. Además, el tomamuestras tiene en la cabeza los dispositivos de vibración y percusión. El funcionamiento es evidente: el tubo del tomamuestras se va clavando en el fondo de percusiones repetidas en su cabeza. Puesto que el barco de apoyo no debe moverse durante la operación, necesita permanecer anclado, lo que limita, junto con la longitud de los flexibles, la utilización de estos aparatos a una profundidad de agua de 250 metros. (En cambio, el «Kullenberg» no tiene más limitación que la longitud del cable, el cual puede ser de varios kilómetros sin problemas.)

Los tomamuestras rotativos son más complicados todavía: su operación necesita la presencia continua de un buzo, lo que limita su campo de acción a profundidades de agua de 50 metros normalmente. Obtiene muestras poco alteradas y permite grandes penetraciones (hasta 30 metros) en terrenos compactos, incluso.

Los ensayos de laboratorio a efectuar sobre las muestras deben permitirnos llegar a conocer:

- 1.º La naturaleza de los sucesivos sedimentos.
- 2.º La resistencia al corte del terreno.
- 3.º Posibilidades de consolidación del mismo.

Los análisis serán los siguientes:

1.º Identificación de suelos:

- Naturaleza (clasificación de Casagrande).
- Humedad natural.
- Límites de Atterberg (LL, LP e IP).
- Densidad (húmeda, seca y relativa).
- Porosidad e índice huecos/lleños.
- Permeabilidad.
- Granulometría.

2.º Resistencia al corte:

- Cohesión no drenada.
- Cohesión efectiva y ángulo de rozamiento.
- Ensayo de corte directo (o triaxial, a elegir).
- Idem, con carga cíclica y repetida.

3.º Estimación consolidación del suelo.

- Ensayo edométrico.
- Resistencia a la compresión simple.

Finalmente, hablaremos de las medidas «in situ». Por medio de penetrometros, presiometros y aparatos de corte, similares a los utilizados en geotecnia terrestre podemos determinar muy exactamente las características reales del terreno. Sin em-

bargo, la puesta en obra de estos aparatos en el fondo del mar es complicada y costosa, por lo que estos trabajos sólo se realizan en la fase última del proyecto constructivo de la tubería. Por otro lado, un ensayo muy interesante es la medida del coeficiente de rozamiento suelo-tubo en terrenos granulares, para lo cual se reproducen en laboratorio las condiciones «in situ».

OCEANOGRAFIA FISICA

Para los reconocimientos hasta aquí descritos es importante realizar una recopilación y síntesis de datos existentes sobre la zona a estudiar, antes de dar comienzo a la campaña. Para los estudios de oceanografía física, esto es fundamental, puesto que el conocimiento de las condiciones ambientales (oleaje, corrientes, estado de la mar, etc.) sólo puede ser estadístico. Luego, cuanto mayor sea la muestra, mayor será la fiabilidad de las conclusiones que se obtengan.

En efecto, lo que nos va a interesar conocer es:

a) Las condiciones ambientales pésimas que pueden esperarse en el período de vida estimado para la tubería, así como la probabilidad que tienen de presentarse esas condiciones.

b) Lo mismo, pero para el período de construcción del gasoducto; puesto que en este caso, las acciones del ambiente sobre la tubería son diferentes al anterior.

c) Determinación del período óptimo de construcción, que será función de las condiciones ambientales a lo largo de un período de un año «característico».

Normalmente, la existencia de gran cantidad de datos estadísticos almacenados en los «bancos de datos» de los diversos institutos oceanográficos e hidrográficos hace superflua una campaña oceanográfica para la medida directa de estos parámetros. En concreto, esto es válido para oleaje, salinidad, actividad biológica, mareas y meteorología (que comprende: estados de la mar, vientos, presión barométrica y temperaturas), por lo que no hablaremos de los equipos que pueden ser utilizados para la medición de los mismos. Además, la recogida directa de datos debería prolongarse durante años para que su fiabilidad estadística fuese aceptable.

Sin embargo, no ocurre lo mismo con la batitermografía y el régimen de corrientes en la zona de estudio. El régimen de variación de la temperatura con la profundidad varía sensiblemente en el tiempo y en el espacio: su conocimiento actual durante la campaña es necesario por dos razones fundamentales:

a) Introducir las correlaciones precisas en el valor de las profundidades del fondo del mar, obte-

nidas por medio del ecosonda (puesto que la velocidad del sonido en el agua varía con la profundidad y la temperatura).

b) Conocer la profundidad de la termoclina. Los aparatos de medida son muy sencillos: se llaman batitermógrafos y miden la temperatura del agua en función de la profundidad. El más utilizado es el «Sippican».

En cuanto al estudio de corrientes, el método más utilizado es instalando correntímetros en posiciones fijas que van registrando la velocidad y sentido de la corriente durante largos períodos de tiempo. Dependiendo de la profundidad del agua en el lugar de emplazamiento del aparato, la disposición del sistema varía (fig. 7). Los correntímetros de electrodos remolcados (tipo G.E.K.) permiten registrar las corrientes superficiales, siguiendo un perfil determinado con un barco que tira del aparato.

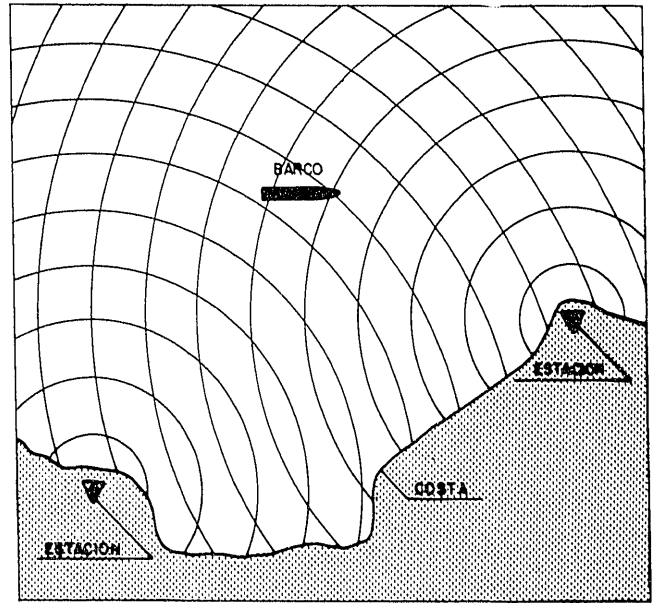


Fig. 8.—Configuración de un sistema de radioposicionamiento.

RADIOPOSICIONAMIENTO

Los registros que se obtengan durante la campaña oceanográfica deben ser plasmados en un sistema de coordenadas horizontal que permita su

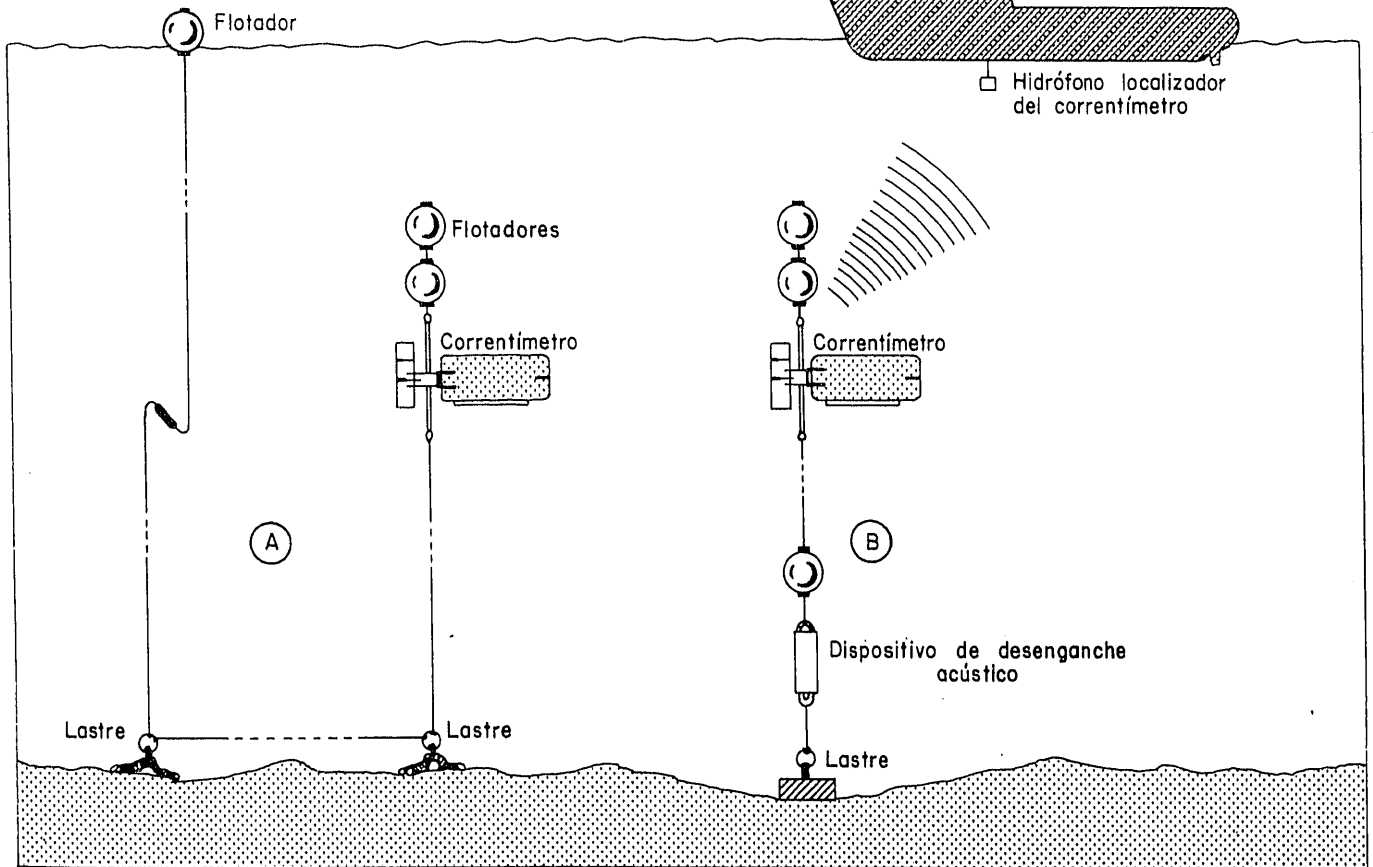
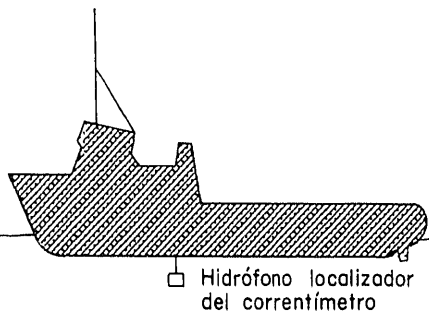


Fig. 7.—Puesta en obra de un correntímetro: A) A poca profundidad. B) A gran profundidad.

ubicación geográfica. Esto se consigue registrando, al mismo tiempo, la situación instantánea del aparato de medida, gracias a un sistema de radioposicionamiento. Este sistema consta, en esencia, de dos o más estaciones receptoras-emisoras, situadas en puntos fijos y de coordenadas conocidas, en tierra y cerca de la costa. Por su lado, el barco que efectúa el reconocimiento lleva otro receptor-emisor (fig. 8). La posición del barco queda determinada respecto a los dos puntos fijos de la costa, midiendo el tiempo de emisión-recepción de una señal de radio, puesto que se conoce la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas. Para trabajos en zonas distantes de la costa menos de seis kilómetros, hay otros métodos más sencillos que no veremos aquí.

Existen dos métodos de radioposicionamiento:

- Por emisión/recepción de impulsos (tipo radar).
- Por emisión/recepción de ondas continuas.

Los primeros utilizan la banda de frecuencia de las microondas (3.000 a 10.000 MHz). Su principio de funcionamiento es similar al radar: una señal discreta, emitida desde el barco, se recibe en las estaciones. Estas, automáticamente, emiten otra señal que se recibe en el barco. Midiendo el tiempo de ida y vuelta a las dos estaciones obtenemos dos círculos de posición para el barco: éste se encuentra en la intersección de ambos. Estos sistemas tienen un alcance máximo limitado a la línea del horizonte (unos 40 kilómetros), puesto que las estaciones de barco y tierra deben ser visibles entre sí.

Para distancias superiores, se utilizan los sistemas de onda continua, cuyo funcionamiento es el siguiente: dos emisoras de onda continua, situadas uno en la costa y otro en el barco, emiten una radioseñal (frecuencia entre 1,5 y 5 MHz). Las frecuencias de estas dos emisiones difieren en unos cientos de Hz (200-300 Hz, como máximo), es decir, en una audiofrecuencia.

Dos receptores, uno en la costa y otro en el barco en el mismo lugar que los emisores, captan las dos radioseñales y las «mezclan» (o detectan), obteniendo la audiofrecuencia diferencia de las dos. La onda detectada en el transmisor de tierra es enviada, a través de un emisor lateral, al barco, en donde se comparan las fases de esta onda y la detectada directamente. Esta comparación de ambas fases nos da la variación de distancia entre el móvil y la estación fija, a partir del último origen de fases. Así, obtenemos una línea de posición que es un círculo.

Según el móvil se va separando o acercando a la estación fija, pasa por una serie de posiciones en las cuales las dos señales comparadas están exactamente en fase. Desde la estación, estas po-

siciones son círculos concéntricos que corresponden a los orígenes de fase. El espacio entre dos círculos consecutivos es un pasillo. Si el equipo utilizado no tiene medio de identificar el pasillo en que se encuentra, la forma de actuar es contar los pasillos según se van cruzando, a partir de una posición conocida: por ejemplo, boyas de situación en el puerto de salida.

Para localizar exactamente el punto en que se encuentra el móvil (o barco), tenemos que obtener una segunda línea circular que se corte con la primera. Esto se obtiene con la segunda estación terrestre, actuando de modo similar al descrito.

Los equipos de este tipo pueden funcionar de otro modo llamado hiperbólico, en lo que se mide son las diferencias de fase entre varias emisoras, dos a dos.

Las distancias que se alcanzan con estos equipos superan los 100 kilómetros y pueden llegar a 400, dependiendo de las antenas y la potencia utilizada. La precisión del posicionamiento oscila de ± 5 a ∓ 20 metros. Para los trabajos de proyecto de tubería submarina es necesario conocer las coordenadas de los registros con una precisión de ± 10 metros como mínimo.

ORGANIZACION DE LA CAMPAÑA

Los reconocimientos detallados hasta aquí están relacionados entre sí y deben ser considerados en un cierto orden, muchos de ellos pueden ser realizados simultáneamente por un mismo barco. Así, por ejemplo, el mantenimiento de los aparatos de medida de oceanografía física (boyas de oleaje, correntímetros, batitermógrafos, etc.) puede realizarlo un solo barco. Asimismo, el ecosonda, el sonar lateral, el «Sparker» y el sondador de sedimentos pueden ser operados al mismo tiempo desde un barco (fig. 9). Sin embargo, en el caso de inspección visual y toma de muestras, el buque de apoyo no puede realizar al mismo tiempo otro tipo de trabajo.

Cronológicamente, en primer lugar, conviene realizar una recopilación de cartografía y datos estadísticos relativos a la zona a estudiar en instituciones oficiales. Al mismo tiempo, se preparará la campaña eligiendo los equipos a utilizar. Posteriormente, se procederá a la implantación del sistema de posicionamiento horizontal (estaciones terrestres) y al equipamiento de los barcos que vayan a realizar la campaña. A continuación, comenzarán los trabajos en mar: por un lado, la oceanografía física (oleajes, corrientes, meteorología...), la cual seguirá su rumbo independiente del resto en el tiempo. Y, por otro lado, la campaña de reconocimiento del fondo del mar.

Esta última se divide en varias fases, alcanzán-

CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS Y TRAZADO DE TUBERIAS SUBMARINAS

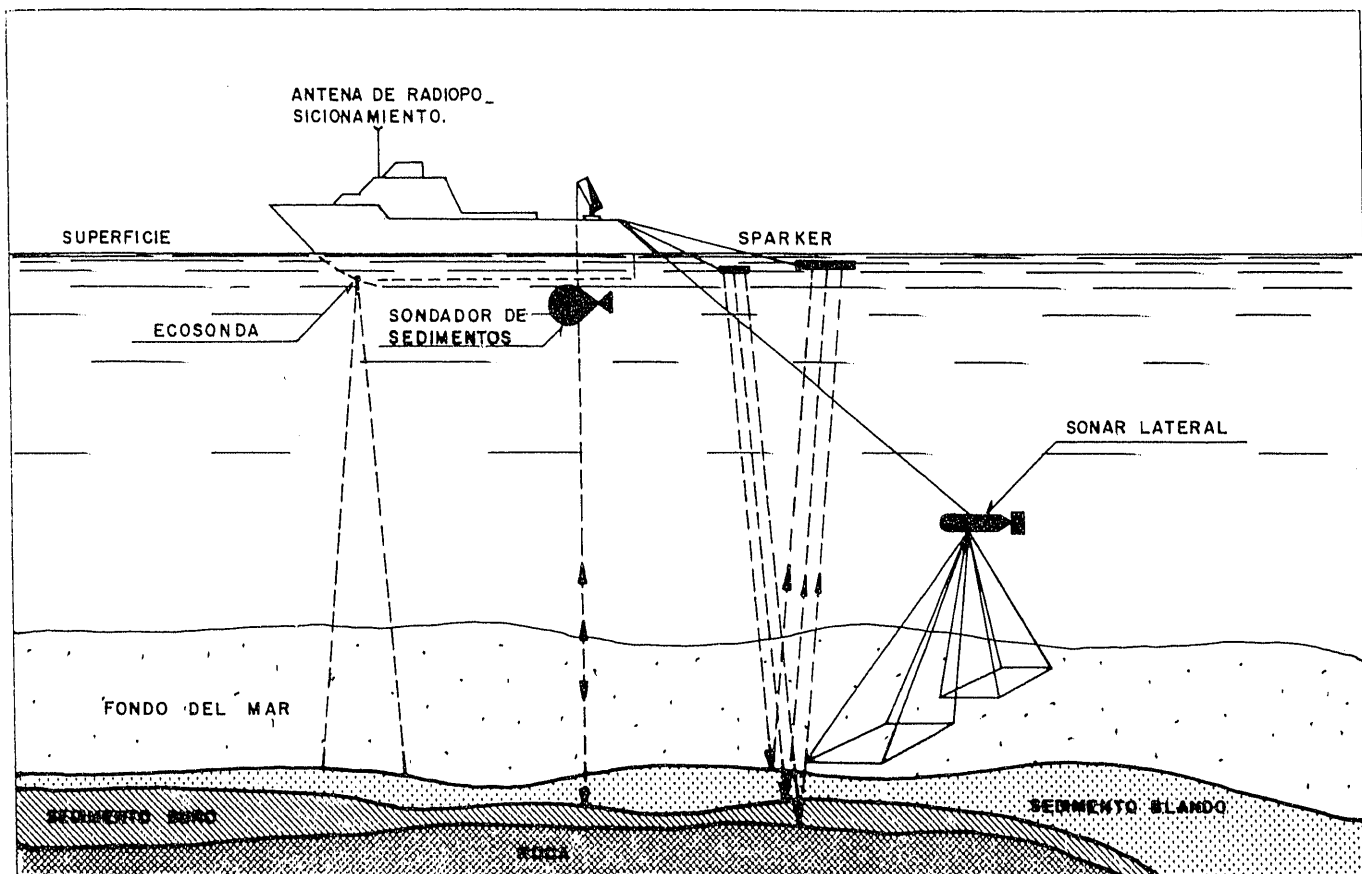
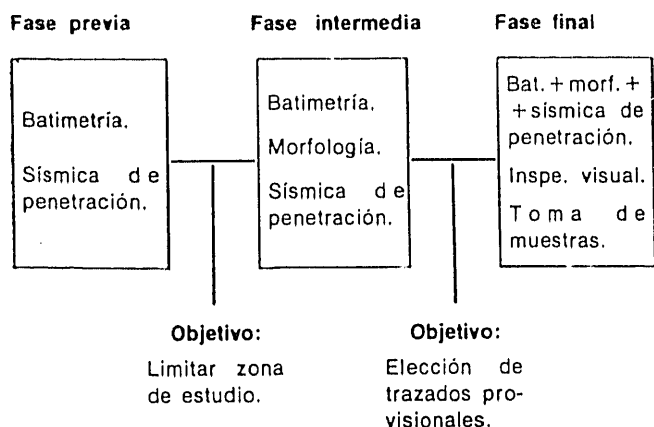


Fig. 9.—Barco equipado para una campaña oceanográfica completa.

dose unos objetivos determinados al final de cada una de ellas.



En la fase previa, el barco, equipado con posicionamiento, ecosonda y «Sparker», realiza perfiles paralelos, tal como se ve en la figura 10, separados entre sí un kilómetro, aproximadamente. El análisis de los datos recogidos permitirá recortar la zona de estudio, eliminando las partes de orografía complicada no aptas para tender una tubería. A conti-

nuación, al barco se le añaden un sondador de sedimentos y un sonar lateral, realizándose perfiles más cerrados (cada 400 metros, por ejemplo), que permitan el conocimiento detallado de la morfología del fondo. Después de esta etapa, será posible configurar los trazados más favorables para la tubería. En la fase final, se efectúan perfiles más cerrados en algunas zonas (las más problemáti-

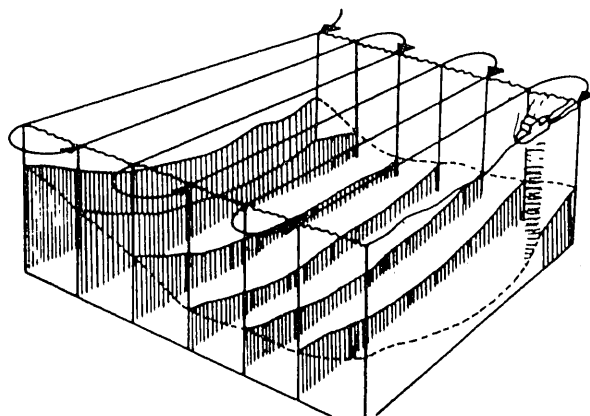


Fig. 10.—Perfiles realizados por el barco de reconocimiento.

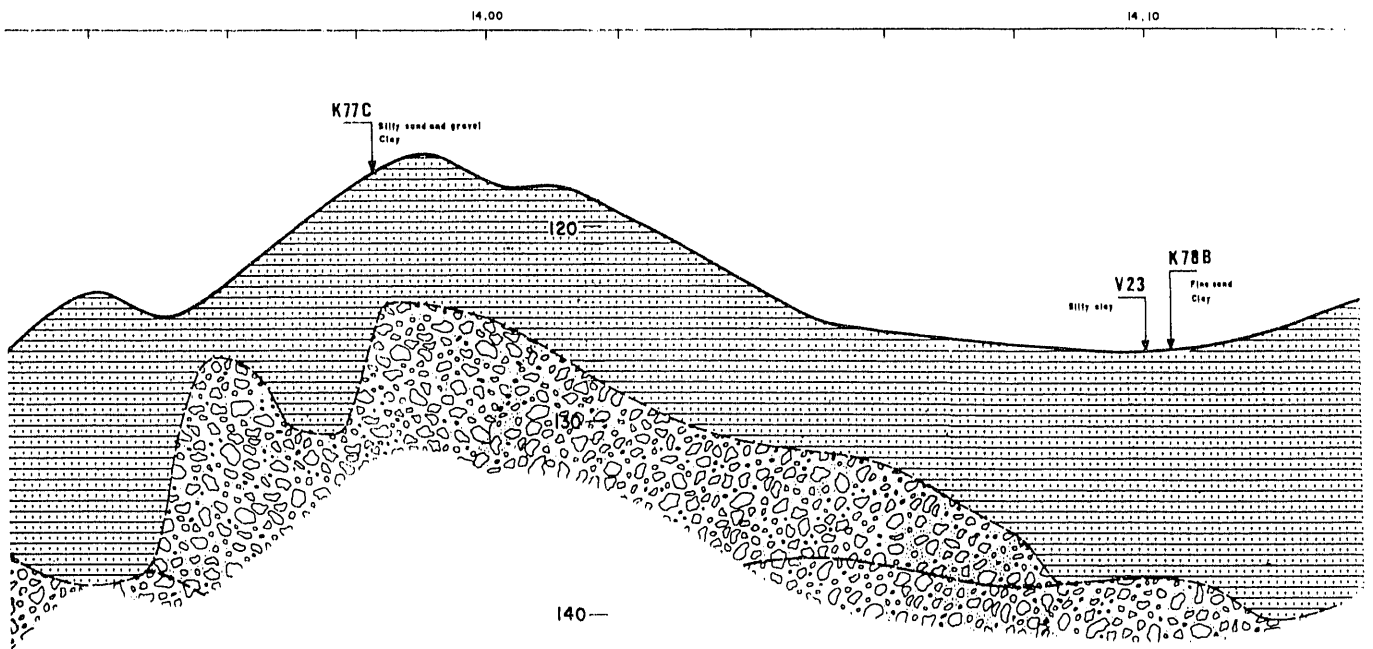


Fig. 11.—Planimetría y perfil del trazado de una tubería submarina.

cas) y, sobre todo, se realizan la inspección visual de todos los puntos del trazado y la toma de muestras del terreno.

Posteriormente, en gabinete se procede a los análisis de laboratorio de las muestras extraídas, y a la interpretación definitiva de todos los registros obtenidos en la campaña superponiéndolos a los planos de posición, para obtener las cartas batimétricas, morfológicas y litológicas finales.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la última etapa del proyecto básico, se dibujan las hojas de alineación del trazado seleccionado con la planta y el perfil del mismo (fig. 11).

Para ello, se tiene en cuenta toda la información recogida previamente, la cual ha dado lugar a una cartografía detallada del fondo del mar y a una descripción estadística precisa de las condiciones ambientales que afectarán a la tubería durante la construcción y una vez instalada.

Sobre la cartografía del fondo, los ingenieros de trazado estudian el camino más favorable para la tubería calculando las tensiones que producen en la misma los relieves y variaciones del fondo marino; asimismo, estudian los casos que puedan ha-

cer inestable la tubería; fijan las curvas horizontales que pueda describir la misma, etc. Finalmente, dibujan el trazado de la tubería sobre las cartas.

Por otro lado, la información obtenida permitirá definir el período anual de construcción más favorable y las condiciones ambientales pésimas, todo ello a tener muy en cuenta a la hora de realizar el proyecto constructivo.

Una vez terminado el proyecto básico, tal como lo hemos descrito, se podrá acometer el proyecto constructivo, aunque la parte correspondiente al trazado de la conducción ha quedado prácticamente definida con los estudios realizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (publicadas).

A) General.

Damos a continuación los documentos que pueden ser consultados para ampliar el conocimiento de los temas tratados hasta aquí:

1. A. E. INGHAM: «Sea Surveying» (2 vol.). Ed. John Wiley and Sons. London, 1975.
2. LE TIRANT (P). (I.F.P.): «Reconnaissance des sols en mer pour l'implantation des ouvrages pétroliers». Ed. Technip. París, 1976.

CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS Y TRAZADO DE TUBERIAS SUBMARINAS

3. Manuales oficiales:

- N.O.A.A. (National Oceanic and Atmospheric Administration), Dept. Commerce (USA): «Hydrographic manual» (4th Ed.). Rockville, 1976.
- Hydrographic Dep. (Ministry Defence, Reino Unido):
 1. Admiralty Manual of Hydrographic Surveying.
 2. General Instructions for Hydrographic Surveyors. (ediciones revisadas). Taunton.
- 4. JUANES FRAGA (Initec): «Campañas oceanográficas de reconocimiento para el tendido de tuberías submarinas». Artículo en «Ingeniería Química», Marzo 1977.
- 5. R. AMAR (Beicip): «Recent french sea-bed reconnaissance methods and techniques». Artículo en «L'industrie du pétrole en Europe». Avril 1973.
- 6. H. KUHN: «La reconnaissance d'un tracé de pipeline en Mer du Nord». 2eme Colloque International sur l'Exploitation des Océans, Bordeaux, Octubre 1974.
- 7. ALLAN, HOLLWAY and MAYNES: «Practical field surveying and computation». Ed. Heinemann, 1968.
- 8. R. L. TRILLO: «Jane's Ocean Technology». 1978.
- 9. E. OROZCO (Enagas): «Oleoductos y gasoductos submarinos en aguas profundas». Artículo en «Ingeniería Química», Marzo 1976.
- 10. L. SERPAS (Bechtel), A. BELAZOUG (Sonatrach), R. MATTEELLI (Snam Progetti): «Selection of routes for sub-mediterranean pipelines». Offshore Technology Conference (OTC, Houston), 1973. Paper No. OTC-1877.
- 11. M. J. REEN: «Introduction to Marine Geology». Pergamon Press, 1968.
- 12. HAINES, DAVIS and CHARLES: «Sound Underwater». 1974.
- 13. Ver también: Textos de las conferencias presentadas en los Congresos:
 - «Offshore Technology Conference». Houston (USA).
 - «International Oceanology». Brighton (England).
 - Conference Hydrographique International» (Mónaco).
- 14. Ver también los catálogos de publicaciones de:
 - Elsevier Oceanography Series (Amsterdam).
 - International Hydrographic Bureau (Mónaco).
 - Society for Underwater Technology (London).
- 15. **Revistas técnicas**
 - Revue Hydrographique International.
 - Offshore Services.
 - Marine Geology.
 - Underwater Journal.
 - Sea Technology.

B) Batimetría.

- COHEN, P. M.: «Bathymetric navigation and charting». US. Naval Institute. Annapolis, Maryland, 1970.
- PIERRE BERTHOIS: «Practique de la bathymetrie».

C) Sonar lateral

- CHOLLET, FONTANEL, GRAU (I. F. P.): «Etude du fond de la mer a l'aide d'un sonar latéral». XI Congres International de Photogrammetrie. Lausanne, juillet, 1968.
- BELDERSON, KENYON; STRIDE, STUBBS: «Sonographs of the sea floor». Ed. Elsevier (Amsterdam), 1972.
- B. W. FLEMING: «Guide pratique du sonar latéral». Revue Hydrographique Int.: janvier, 1976.
- W. D. JENKINSON: «Side-sean sonar: Applications in oil exploration and exploitation». AAPG-SEG-SEMP meeting, S. Francisco, april, 1976 (Texaco).
- R. AMAR, H. KUHN (Beicip): «Sidescan sonar is a powerful tool in seafloor investigation». Artículo en Offshore, may, 1974.

D) Televisión submarina

- «Unnamed Submersible fleet has increased by 70 %». Artículo en Offshore, august, 1978.
- VIGIL, FRISBIE, HATCHETT (Hydro Products): «Deep-sea Survey system». OTC, Houston, 1975. Paper n.º 2240.
- CHAPMAN, DAVIES (Vickers): «Sub-sea Surveys». Paper n.º 2403; OTC, Houston, 1976.
- P. WILLM (I. F. P.): «Les vehicules sous-marins habités et autonomes». Conferencia presentada en «Le pétrole et la mer». Montecarlo, 1965.

E) Sísmica de penetración y tomamuestras

- O. LEENHARDT: «Le sondage sismique continu». Ed. Masson, Paris, 1972.
- E. G. and G.: «Fundamentals of high resolution seismic profiling». March, 1977.
- P. G. SIMPKIN (HUNTEC): «Evaluation of broadband, high resolution seismic data for seafloor sediment classification». Paper, Oceanology International, Brighton (England), 1978.
- NOORANY, KISRTEN, LUKE (Scripps I. O.): «Geotechnical properties of sea-floor sediments off coast of southern California». Paper n.º 2187; OTC, Houston, 1975.
- RICHARDS: «Mairne soil mechanics». Offshore North sea Technology Conference. Stavanger, 1974.

F) Oceanografía física

- VAN ARX: «Introduction to Physical Oceanographie». Ed. Addison-Wesley, 1962.
- R. L. WIEGEL: «Oceanographical Engineering». Ed Prentice-Hall, 1964 (ch 13: «Currents»).
- A. F. QUINN: «Design and construction of ports and marine structures». Ed. McGraw-Hill (1961) (ch. 2: «Wind, tides and waves»).

Nota: Las referencias citadas en primer y segundo lugar son dos libros fundamentales, técnicamente muy completos y actuales, que desarrollan en profundidad el tema de las campañas oceanográficas con fines industriales.

- VARIOS AUTORES: «Technique marines pour la recherche
- «Guide to marine observing and reporting». Hydrographic et exploitation du pétrole». Institut Francais du Pétrole (IFP), 1967.
- «Guide to marine observing and reporting». Hydrographic Office Publication n.º 606 (USA), 1977. Prepared by: Dpt. of the Navy, U. S. Coast Guard, N.O.A.A., and D.M.A.
- «Instruction manual for obtaining oceanographic data». U.S. Naval Oceanographic Offic. Publication n.º 607.
- P. SUAREZ BORES: Publicaciones del laboratorio de Puer- tos del M.O.P., núms. 1 a 11 (estudios de vientos, olea- jes, etc). 19767 a 1969.

G) Radioposicionamiento

- A. CAILLEMER (I.F.P.): Astronomie de position. Geodesie. Ed. Technip, 1976. Capitulo VIII. «Geodesie spatiale et radiolocalisation».
- PIERRE BLANCHET (C.G.G.): "La radionavigation". Confe- rencia presentada en "Offshore: La Recherche et Pro- duction du pétrole en mer".

Documntación técnica utilizada

Se exponen a continuación una relación de sociedades cu- yos documentos publicitarios han sido utilizados en la re- dacción del texto o para componer las figuras:

A) Compañías especialistas en reconocimientos submarinos y campañas oceanográficas:

- Sonarmarine (Reino Unido).
- Beicip (Francia).
- CNEXO (Reino Unido).
- INITEC (España).

B) Ecosondas

- Raytheon.
- Atlas-Krupp.

C) Sonar lateral

- Klein.
- E. G. G.
- Geomechanique (SOL-120).

D) Televisión submarina

- Perry Oceanographics.
- British Aerospace (consub-2).
- P. and O. Subsea.
- Hydro Products.

E) Sparker, sonador de sedimentos y tomamuestras

- E. G. and G.
- Hunttec.
- Fugro - Cesco.
- Geocisa.
- Comex.
- I. F. P.

F) Oceanografía física

- AAnderaa.
- Sippican.

G) Radioposicionamiento

- Motorola.
- Raydist.
- Sercel (Toran, Syledis).