sinopsis

En este artículo se analizan las diversas etapas en la realización de tres grandes plataformas marinas.

Después de un estudio de las características principales de la estructura, ensayos en modelo reducido y cálculo de todos los elementos, se procede a la construcción de las plataformas en tres fases:

- Construcción en seco de la base del casco.
- Colocación en el agua y acabado de la estructura.
- Inmersión y colocación del puente.

Por último, se realizan las operaciones necesarias para llevar la plataforma a su ubicación definitiva.

Las estructuras están formadas por un casco paralelepípedo de hormigón armado, dividido en compartimientos mediante tabiques verticales ortogonales y sobre el que se han colocado 2 ó 4 pilas que soportan el puente.

3 grandes plataformas marinas

Mar del Norte

R. SOULAS, Pte. Dir. Gral. de SEA TANK CO.

559 - 13

La Sociedad SEA TANK CO. se dedica desde 1967, en colaboración con ELF-ERAP, a la realización de proyectos de depósitos submarinos y, por consiguiente, de plataformas de producción para la explotación de campos de hidrocarburos situados frente a las costas.

1

Después de una fase de estudios e investigaciones se le hicieron tres pedidos durante el primer semestre de 1974, para obras cuyas características esenciales figuran en el cuadro adjunto:

CARACTERISTICAS DE LAS PLATAFORMAS SEA TANK CO. EN CONSTRUCCION (1976)

	FRIGG TP1	BRENT C	CORMORANT A
Clientes	ELF, AQUITAINE, TOTAL, NORSK, HYDRO, STATOIL	SHELL, ESSO	SHELL, ESSO
Operario	ELF - NORGE	SHELL UK	SHELL UK
Naturaleza del campo	Gas	Petróleo	Petróleo
Objeto de la plataforma	Tratamiento-Producción	Perforación-Producción- Almacenamiento	Perforación-Producción- Almacenamiento
Profundidad del agua	104 m	140 m	150 m
Dimensiones del puente	90 × 22 m	85 × 50 m	80 × 70 m
Peso del puente de acero	2.000 t	4.500 t	4.700 t
Carga total sobre el puente ...	11.000 t	18.000 t	25.000 t
Número de tubos de perforación.	Ninguno	40	36
Capacidad de almacenamiento ..	Ninguno	88.000 m ³	160.000 m ³
Dimensiones del casco	70 × 70 × 44 m	90 × 90 × 57 m	100 × 100 × 57 m
Altura de las zarpas	2,00 m	3,00 m	3,00 m
Número y diámetro exterior de las pilas	2 (13,80 a 8,80 m)	4 (14,90 a 8,80 m)	4 (16 a 9,30 m)
Volumen total de hormigón (es- tructuras y lastre)	70.000 m ³	110.000 m ³	130.000 m ³
Peso total de las armaduras ...	5.000 t	14.000 t	17.000 t
Espesor de las paredes:			
— Exteriores del casco	0,60 m	0,70 m	0,68 m
— Interiores del casco	0,80 m	0,90 a 1,00 m	0,70 a 0,85 m
— De las pilas	0,80 a 0,40 m	0,90 a 0,40 m	1,00 a 0,40 m
Peso que es necesario remolcar.	180.000 t	300.000 t	350.000 t

Los pedidos se han hecho conjuntamente a SEA TANK CO. y a sir Robert McAlpine y Sous, que posee en Ardyne Point, en el estuario del Clyde, una instalación que ocupa una superficie de 53 Ha (fig. 1). En cada uno de los casos la entrega de las plataformas se debe hacer «llave en mano», en los campos del Mar del Norte, y las misiones confiadas a las empresas abarcan todo o parte de los siguientes elementos:

- Concepción completa de la obra y su estudio detallado a partir de las condiciones fijadas por los clientes para la superficie y las cargas del puente, el número de tubos de perforación y la capacidad de almacenamiento.
- Realización de la estructura de hormigón y del puente, el cual es metálico en las tres estructuras construidas.
- Entrega y colocación de algunas instalaciones (sistema de balastaje y desbalastaje, sistema de almacenamiento del petróleo, tuberías de explotación, etc.).
- Transporte de la plataforma desde su lugar de construcción, y colocación en su ubicación definitiva en el Mar del Norte.

secciones y plantas

2

Las estructuras proyectadas por SEA TANK CO. tienen un casco paralelepípedo, de hormigón armado, que sirve de base, apoyado en el suelo y colocado sobre 2 ó 4 pilas que soportan el puente. El casco, prolongado en su base por «zarpas» que penetran en el suelo del cimentado, está dividido en compartimientos mediante tabiques verticales ortogonales.

En el caso de Brent C y Cormorant A el casco se utiliza para el almacenamiento del petróleo. Las pilas son de hormigón pretensado y contienen las tuberías necesarias para la explotación de la plataforma y para el funcionamiento del depósito. La figura 2 indica, esquemáticamente, las principales dimensiones de las tres estructuras.

A continuación se examinan sucesivamente las principales fases de la realización, que se pueden resumir como sigue: Estudios, Construcción, Operaciones marinas.

ESTUDIOS

Comprenden varias fases que permiten acabar el proyecto definitivamente aprobado por el organismo correspondiente.

En primer lugar se determinan las características principales de la estructura, teniendo presente su estabilidad en las diferentes fases de su construcción y explotación. Este estudio es con-

3

trolado y completado mediante ensayos en modelo reducido, que tratan del comportamiento de la plataforma en las diferentes fases y remolque.

En segundo lugar, se efectúan cálculos muy completos de todos los elementos de la estructura, teniendo en cuenta a la vez el proceso de construcción y las condiciones impuestas por el entorno y por la explotación. Los principales factores que intervienen en esos cálculos son:

- Las características del oleaje y sus efectos sobre la estructura: precisemos que un oleaje de 30 m de amplitud es el que se ha tenido en cuenta para los campos del Mar del Norte.
- Las corrientes a diferentes profundidades.
- El efecto del viento sobre las partes emergentes.
- Los esfuerzos eventuales del atraque.
- La naturaleza y la topografía del suelo de cimentación.
- El volumen y la densidad del petróleo antes de ser almacenado en la base.
- La temperatura del petróleo almacenado y los tubos de perforación que atraviesan la estructura.
- Las cargas y superficie ocupada por las instalaciones, tanto sobre el puente como en el interior de la estructura.

CONSTRUCCION

Se pueden concebir diferentes procesos de construcción de las plataformas de hormigón. Nos concretaremos a describir el que ha sido adoptado para las tres estructuras durante su realización, y que comprende las fases principales siguientes:

- 1.^a Construcción en seco de la base del casco de hormigón.
- 2.^a Colocación en el agua y acabado de la estructura durante el tiempo de flotación.
- 3.^a Inmersión y colocación del puente.

4

5

Primera fase: Construcción en seco de la base (fig. 3)

Se hace, para cada plataforma, en un recinto realizado por explanaciones en el terreno natural fácilmente excavable, en la orilla de la costa, y separada del agua por una pantalla de tablestacas en módulo. La solera y la parte inferior del casco contruidos en seco deben formar un conjunto autorresistente, susceptible de flotar con un calado tan pequeño como sea posible, a fin de limitar la profundidad del recinto. Se realiza el mínimo indispensable, que comprende:

- Las zarpas de hormigón previstas en la base de la estructura.
- La parte inferior de la solera convenientemente nervada para resistir a los esfuerzos durante la flotación. Esta parte ha sido hormigonada in situ para las plataformas Frigg TP1 y Brent C y prefabricada para Cormorant A.
- Las paredes periféricas y tabiques internos con una altura de alrededor de 13 m.

Las paredes verticales están realizadas con auxilio de encofrados deslizantes. La particularidad de estos encofrados reside en su gran desarrollo, en la longitud de las paredes de los cajones alveolares.

La longitud encofrada es de 810 m para Frigg TP1 y 1.215 m para Brent C.

Para Cormorant A la longitud es de 1.740 m, y por eso se creyó necesario dividir la estructura en dos partes, colocadas sucesivamente: un núcleo central y las celdas periféricas.

A su terminación las bases de las plataformas tenían un peso de 40.000, 70.000 y 87.000 t, respectivamente, y unos 10 m de calado.

Una vez colocado el recinto en el agua, se procede al arranque de la pantalla de tablestacas y al dragado del paso de salida. La base es entonces remolcada hasta cerca de 100 m de la orilla, donde los fondos son suficientes para acabar la construcción.

Segunda fase: Terminación de la estructura (figs. 4, 5 y 6)

La base de los cascos es remolcada con el conjunto de las instalaciones de manejo y puesta en obra del hormigón. El encofrado deslizante queda preparado para permitir la junta de las paredes, una vez instalada la pasarela de servicio, uniendo el cajón con las instalaciones de tierra, y en particular con las centrales de hormigón. La construcción de las paredes se continúa luego hasta alcanzar su altura total.

Se pueden entonces construir los últimos elementos de la estructura de hormigón; la cubierta del cajón y las pilas que soportarán el puente. Los elementos de la cubierta en forma de pirámides truncadas, o de cúpulas, son moldeados con auxilio de encofrados o parcialmente prefabricados. Las pilas cónicas, de hormigón pretensado, se realizan con encofrados deslizantes. Necesitan una gran cantidad de instalaciones, cuya colocación debe ser cuidadosamente coordinada con su construcción.

Tercera fase: Colocación del puente

La última fase de construcción de una plataforma consiste en la colocación del puente destinado a soportar los equipos de perforación o de producción que aseguran las funciones de explotación para las que la plataforma ha sido solicitada.

El montaje de esas estructuras sobre las cabezas de las pilas en el lugar de construcción no sería oportuno, ni en coste, ni en tiempo. Por eso se prefiere construir el puente entero en una instalación especial, y luego colocarlo sobre las pilas en una sola operación.

6

Para poder llevar a cabo esta colocación, la estructura de hormigón debe sumergirse de manera que sólo sobresalgan las pilas algunos metros, lo que requiere un lugar más profundo que Ardyne Point.

Para la plataforma TP1 la zona elegida fue la de Tarbert, en Loch Fyne, situada a 30 millas marinas de Ardyne.

En consecuencia, se efectuó un prerremolcado hasta el lugar de la inmersión, en Loch. Después de ensayos completos del dispositivo de balastaje y desbalastaje, con una inmersión de alrededor de 100 m de profundidad, se procedió a la colocación de la estructura metálica del puente. En este caso particular, el peso de la estructura no excedía de las 2.000 t y pudo ser manejada mediante grúas flotantes (fig. 7).

7

A continuación se indica el orden de las operaciones:

- Transporte de la estructura del puente por encima de las pilas, con ayuda de dos grúas acopladas.
- Desbalastaje progresivo del cajón para poner en contacto el puente y los anillos metálicos colocados en el extremo superior de las pilas.
- Encaje del puente sobre las pilas, en la posición exacta.
- Desbalastaje progresivo y puesta en carga del puente por la plataforma de salida de las barcas.

El total de esas operaciones duró menos de seis horas y todos se pudieron llevar a cabo con la precisión deseada. Asimismo se terminaron con gran rapidez los enlaces por soldadura y la colocación de los diversos equipos que se deseaba transportar con el remolcador.

La salida hacia su emplazamiento definitivo tuvo lugar cuando las previsiones meteorológicas lo permitieron.

Para las plataformas Brent C y Cormorant A el peso del puente era sensiblemente superior, sobre todo añadiendo los equipos que Shell deseaba transportar con las plataformas. Desde luego no fue posible utilizar grúas flotantes, pero las operaciones se hicieron de manera análoga, los puentes fueron transportados directamente encima de las pilas, sobre dos pontones.

OPERACIONES MARINAS

El remolque de las grandes estructuras marinas de hormigón necesita potencias importantes y exige una preparación muy cuidada. Además, es necesario tener muy en cuenta la opinión de expertos en operaciones marítimas, los cuales deben dar consejos sobre las posibilidades de navegación, e intervenir en el momento de la obtención de garantía por parte de las Compañías de Seguros.

Al comienzo de los trabajos, el comporta-

8

miento de la plataforma, durante su remolque, se estudió en modelo reducido. Se midieron especialmente las oscilaciones bajo el efecto del oleaje que pueden encontrarse durante el viaje por mar, así como los esfuerzos sobre los cables de remolque.

A partir de esos ensayos se pueden determinar tanto la potencia de los remolcadores principales como sus velocidades medias.

Debe llevarse a cabo igualmente un estudio detallado de la ruta marítima. El mapa de la figura 8 muestra la posición relativa de Ardyne Point y los campos de Frigg, Brent y Cormorant.

9

10

FOTOS: RALSTON

El tramo más delicado de este trayecto se encuentra poco después de pasar Clyde, en el Canal Norte, que separa Irlanda de las islas costeras de Escocia.

Un levantamiento topográfico de los fondos de este canal determinó que el calado máximo aceptable para las estructuras era de 37 m. La salida de Loch Fyne no tuvo lugar hasta el 22 de mayo de 1976, a las 21 horas, debido a que las previsiones meteorológicas permitían esperar muchos días de tiempo apacible y poder llegar, por tanto, al Canal Norte en las mejores condiciones.

Tirada por cuatro remolcadores con una potencia total de 54.000 CV, y ayudados por detrás de otros dos remolcadores, la plataforma salió del estuario de Clyde y cruzó sin incidentes el Canal Norte (fig. 9). Se pudo entonces sumergir la estructura hasta conseguir un calado de 65 m, mejorando así la estabilidad y reduciendo, a casi prácticamente nada, las oscilaciones debidas al oleaje, que alcanzan, frecuentemente, de 3,50 a 4 m de amplitud.

El trayecto desde Loch Fyne a Frigg tiene una longitud de 1.450 km. La velocidad media constatada fue de 2,8 nudos, con máximas de 6 nudos. El convoy llegó a las cercanías de Frigg el 3 de junio a mediodía, después de poco menos de 12 días de navegación. Las condiciones meteorológicas no permitían realizar inmediatamente la aproximación e instalación de la plataforma cerca de sendas estructuras ya colocadas, y el convoy debió esperar por este motivo durante 2 días. El 5 de junio tuvieron lugar las maniobras finales, y la estructura progresi-

vamente sumergida hasta su posición exacta, tanto en planta como en orientación (fig. 10). El balastaje de los compartimientos del cajón fue regulado de manera que asegurase la horizontalidad en el caso de una penetración desigual de las zarpas en el suelo.

En el mes de junio se procedió a la inyección de una lechada de cemento en los huecos existentes entre la solera de hormigón y el suelo natural subyacente. El material correspondiente se había instalado en el puente antes de la salida de Escocia, y los materiales llevados a Frigg sobre barcas.

El remolque efectuado en mayo de 1976 constituyó un precedente muy alentador para las operaciones posteriores de las plataformas Brent C y Cormorant A.

La estructura se ha revelado como muy «marina», fácilmente maniobrable y muy estable en presencia de oleajes y corrientes.

PERSPECTIVAS

Los equipos de SEA TANK CO. han descubierto nuevos campos, tanto en esta región como en el resto del mundo, cuyo desarrollo no dejará de traer nuevos problemas, ya que se trata de profundidades cada vez mayores y de suelos de naturaleza diferente.

El hormigón ha demostrado sus cualidades en este campo, y las empresas que han adquirido experiencia podrán proponer soluciones y hacer frente a la demanda de las Compañías Petrolíferas para la explotación de los yacimientos marinos de petróleo y de gas.

résumé

Trois grandes plates-formes marines Mer du Nord

Article de R. Soulas, Président-Directeur Général de Sea Tank Co.

Les diverses phases d'exécution de trois grandes plates-formes marines sont analysées dans cet article.

Après une étude des caractéristiques principales de la structure, des essais sur modèle réduit et du calcul de tous les éléments, la construction des plates-formes est entreprise en trois phases:

- Construction à sec de la base de la coque.
- Mise en oeuvre et finition de la structure.
- Immersion et mise en place du pont.

Ensuite sont réalisées les opérations nécessaires pour installer la plate-forme à son emplacement définitif.

Les structures se composent d'une coque parallélépipède en béton armé, compartimentée à l'aide de parois verticales orthogonales, sur laquelle reposent deux ou quatre piles supportant le pont.

summary

Three large sea Platforms - North Sea

Article by R. Soulas, President and Gen. Mgr. of Sea Tank Co.

This article analyzes the different building stages of three large sea platforms.

After studying the structure's main characteristics, preparing scale models and calculating all the elements, platform construction was carried out in three stages:

- Dry-dock construction of the hull base.
- Installation in the water and finishing the structure.
- Immersion and bridge installation.

Finally, the necessary operations to move the platform to its definite location were carried out.

The structures are formed by a parallelepiped hull of reinforced concrete, divided into compartments by means of vertical orthogonal panels on top of which 2 or 4 piles are placed to support the bridge.

zusammenfassung

Drei grosse Seeplattformen - Nordsee

Artikel von R. Soulas, Generaldirektor der Sea Tank Co.

In diesem Artikel werden die verschiedenen Etappen in der Errichtung von drei grossen Seeplattformen untersucht.

Nach eingehendem Studium der hauptsächlichsten Strukturmerkmale, Versuchen an einem Modell geringerer Abmessungen und Berechnung aller Elemente, werden die Plattformen in drei Phasen erbaut:

- Bau der Rumpfaufklage auf dem Festland.
- Montage im Wasser und Fertigstellung der Struktur.
- Immersion und Montage der Brücke.

Abschliessend werden die erforderlichen Arbeiten vorgenommen, um die Plattform zu ihrem endgültigen Standort transportieren zu können.

Die Strukturen bestehen aus einem Parallelepipedonrumpf aus Stahlbeton, der durch rechtwinklige, senkrechte Wände in verschiedene Abteilungen aufgeteilt wird und auf welchem 2 oder 3 Pfeiler vorgesehen sind, die die Brücke tragen.