

---

# puente colgante sobre el **LILLEBÆLT** - Dinamarca

---

Chr. OSTENFELD, Dr. Techn.  
Chr. OSTENFELD & V. JØNSON, ingenieros - consultores  
Copenhague

## **sinopsis**

564 - 22

Inaugurado en octubre de 1970, el puente colgante sobre el Lillebælt es el primer puente danés de este tipo.

Consta de un tramo central de 600 m y dos tramos laterales de 240 m. Los cables sustentantes son, con sus 1.500 m de longitud, los mayores cables prefabricados del mundo. El puente presenta características originales —empleo de «flaps» en la vigacajón de la superestructura, concepción nueva de los macizos de anclaje...— que, junto con el sistema de ejecución y las demás particularidades de la obra, son descritas en el artículo.

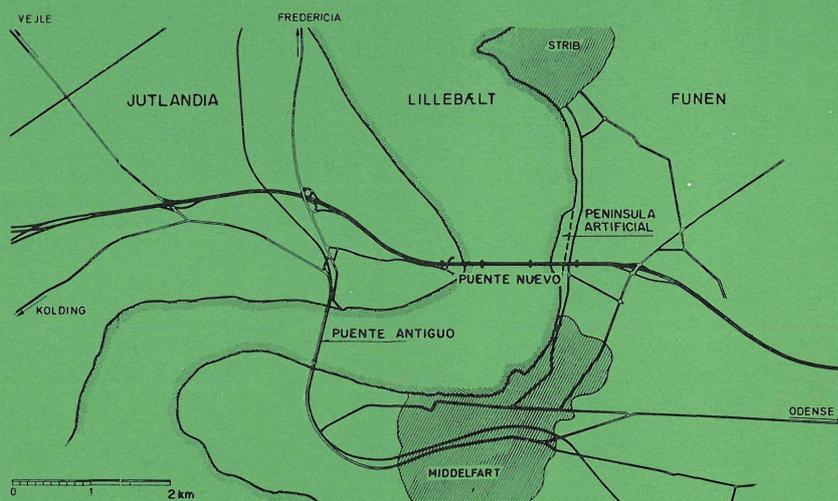
---

## **antecedentes**

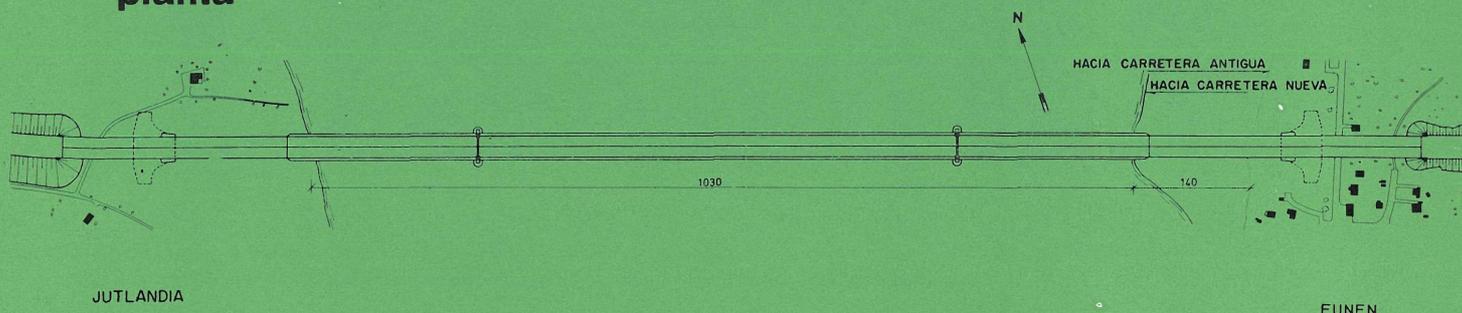
El antiguo puente sobre el Lillebælt fue abierto al tráfico en 1935. Este puente, que además de una doble vía de ferrocarril soporta una calzada de sólo 5,6 m de anchura, aseguraba ya en 1960 el paso de 22.000 vehículos diarios. Se hacía por tanto necesario aumentar sensiblemente la capacidad de la carretera, mientras que, por el contrario, la capacidad de la vía férrea era satisfactoria para un futuro previsible.

El Servicio de la Dirección de Carreteras encargó a los ingenieros consultores Chr. Ostenfeld & Jønson los estudios de anteproyecto de un nuevo puente-carretero en la línea Lyngs Odde-Stavrby.

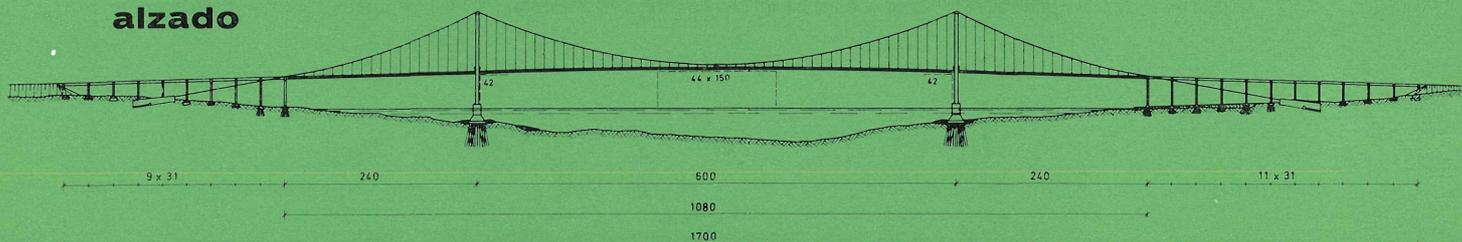
## situación



## planta



## alzado



El trazado lo fijó el ingeniero jefe K. O. Larsen, del Servicio de la Dirección de Carreteras. Se estudió igualmente otro trazado directamente al sur del puente existente.

Se realizaron, sobre la base de los resultados de los sondeos, una serie de anteproyectos de puente con 4 y 6 carriles.

Finalmente, los ingenieros consultores propusieron a la Dirección de Carreteras, en noviembre de 1961, la construcción de un puente colgante con un tramo central de 600 metros y 6 carriles de circulación sobre el trazado de Lyngs Odde.

Esta propuesta fue aceptada por el Ministro y la Dirección de Carre-

teras, siendo aprobado el proyecto por el Parlamento danés (por unanimidad); Ley de 16 de marzo de 1962.

El Ministro nombró una Comisión presidida por el ingeniero jefe K. O. Larsen, encargando a Chr. Ostfeldt & W. Jønson la elaboración del proyecto de detalle y la vigilancia técnica de la obra.

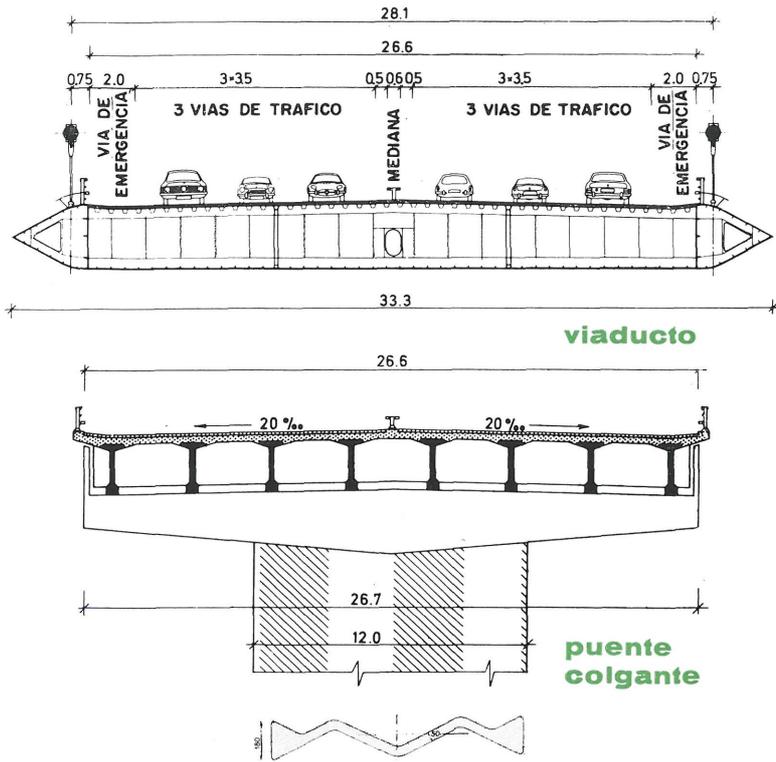
Se comentan a continuación las características principales del proyecto final y las diferentes etapas de la ejecución. Una descripción detallada del proyecto y de su ejecución se ofrece en el libro «Suspension bridge across Lillebælt, Technical Papers», editado por Chr. Ostfeldt & W. Jønson, Copenhagen 1970. Asi-

mismo se editó, con ocasión de la inauguración del puente, el libro «The New Lillebælt Bridge / Den Nye Lillebæltsbro», en el que se narra la historia de la construcción del puente a través de los dibujos del artista Sra. Birgit Lassen-Nielsen.

## descripción del proyecto definitivo

El puente colgante consta de un tramo central de 600 m y de dos tramos laterales de 240 m cada uno. El enlace con la red de carreteras se realiza mediante viaductos de hormigón, de 279 m de longitud en el lado de Jylland y de 341 m en el



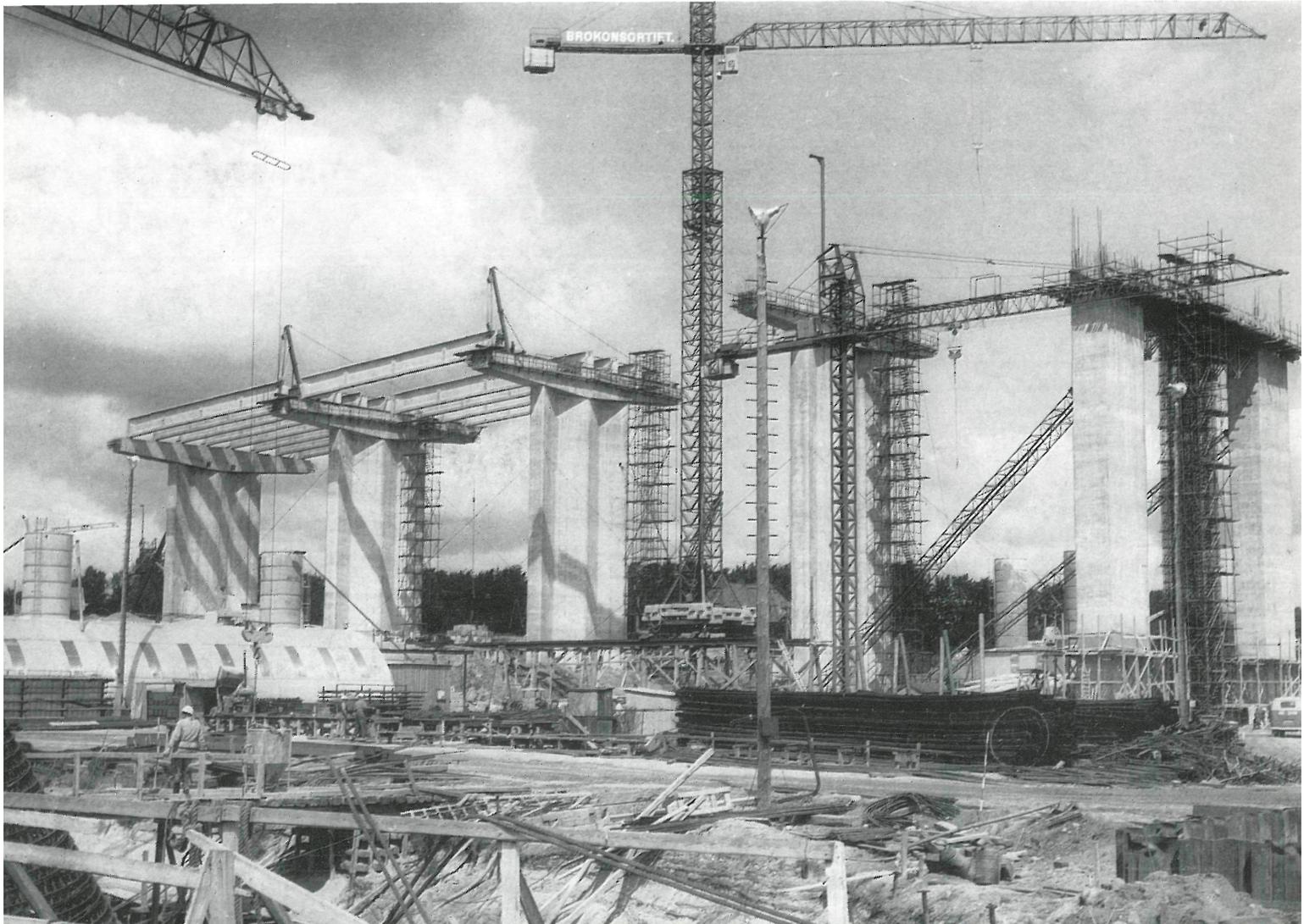


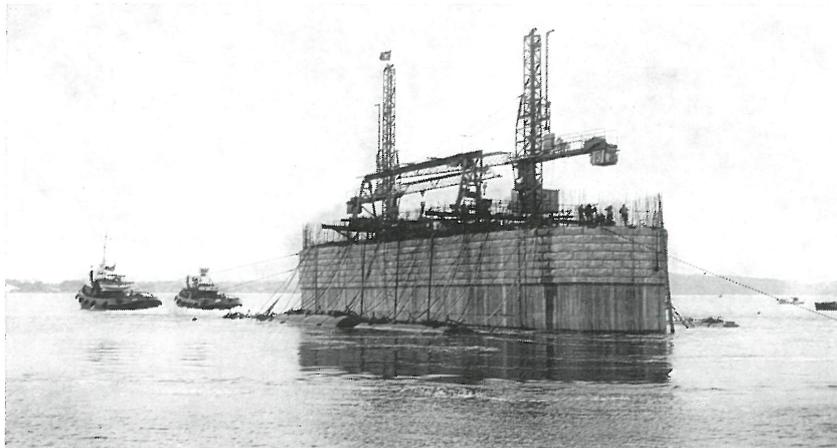
ras. La superficie de esta capa de arcilla presenta ondulaciones, situándose a la cota  $-20$  m bajo los macizos de anclaje y el pilono de Jylland y a la cota  $-24$  m en el pilono del lado de Fyn. La capa es de gran espesor, habiéndose efectuado un sondeo hasta la cota  $-152$  m sin alcanzar su límite inferior.

Las pilas están cimentadas sobre pilotes prefabricados de hormigón armado ( $33 \times 48$  cm) introducidos 30 m aproximadamente en la arcilla plástica del Lillebælt.

Como base para la elección de los pilotes (tipo, dimensiones, disposiciones) se han efectuado in situ ensayos a gran escala.

Los 210 pilotes de cada pila están encargados de absorber no sólo las cargas verticales sino también las horizontales, incluido en éstas el empuje del hielo, estimado en 4.000 Mp por pila.





## pila remolcada

Foto: LESLIE & LOTHAR FIALLA

La sección de las pilas en su parte inferior es un rectángulo de  $56 \times 22$  metros, con los extremos redondeados. Estas dimensiones se reducen a  $49 \times 10$  m en la parte superior. Los cajones de hormigón armado están divididos en células y rigidizados mediante tabiques intermedios. La parte superior es maciza

y está fuertemente pretensada a fin de absorber las fuerzas transmitidas por los pies de los pilonos.

Los pilonos, de hormigón armado y 118 m de altura, forman una estructura de 2 pisos, estando unidos mediante traveseros huecos de 8 y

10 m de altura fuertemente pretensados en el plano horizontal.

Los macizos de anclaje, enterrados unos 150 m detrás de las torres laterales, son de hormigón armado y comprenden una placa de base en forma de ala sobre la que están



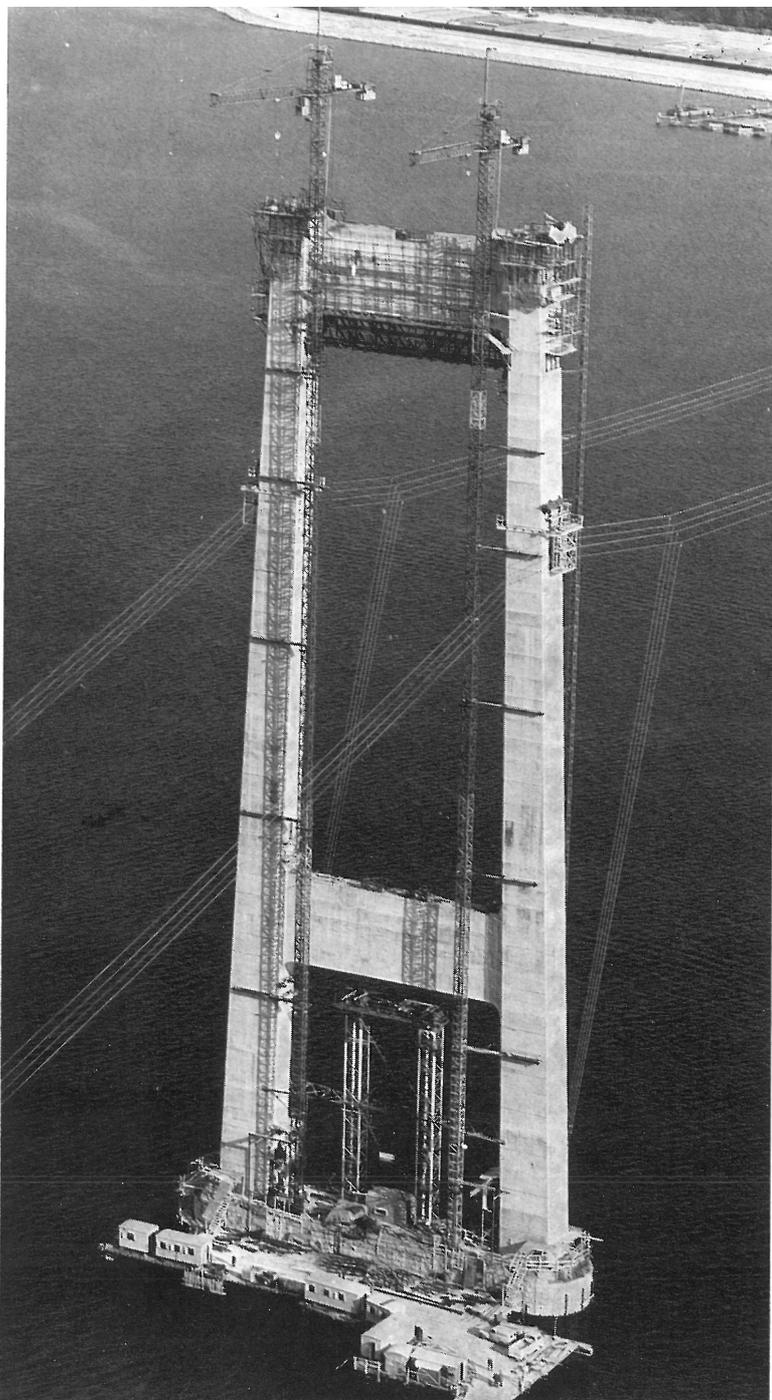


Foto: AERODAN LUFTFOTO

colocados dos macizos donde se anclan los cables. La tracción de los cables se reparte sobre toda la superficie de esta placa y se transmite al terreno por rozamiento. Se han realizado ensayos en gran escala para controlar las bases de cálculo, principalmente en lo relativo al coeficiente de rozamiento. El conjunto de los macizos y del relleno situado alrededor de ellos constituyen una masa de anclaje de 70.000 t aproximadamente.

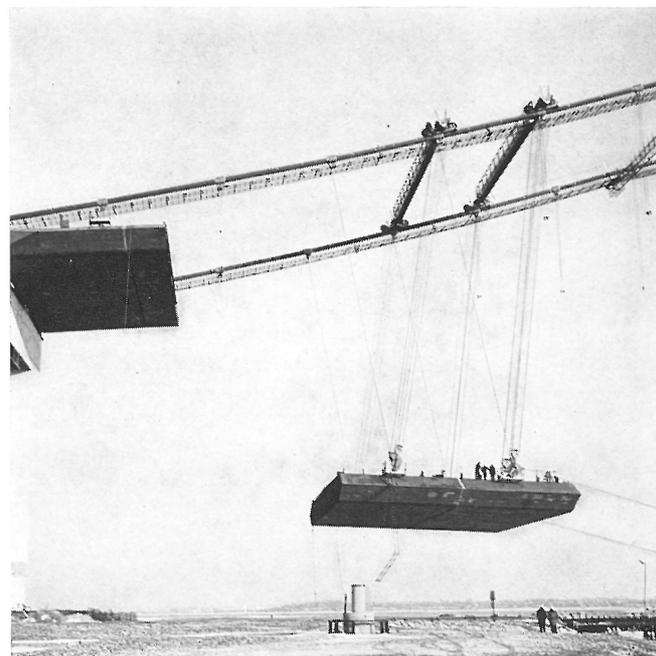
### superestructura del puente colgante

Los cables sustentantes, de 1.500 m de longitud cada uno y 58 cm de diámetro, están constituidos por 61 cables elementales, torsionados, prefabricados, siendo así los cables prefabricados más largos del mundo. La distancia entre los ejes de los cables es de 28,10 m.

La superestructura está formada por una viga-cajón de 3 m de altura, rígida a la torsión. Está sostenida mediante péndolas espaciadas 12 m; al llegar a los pilonos queda interrumpida por los dispositivos de dilatación, estando rígidamente unida a los cables sustentantes mediante un nudo central. La forma del cajón es el resultado de minuciosos estudios en instalaciones de ensayos aerodinámicos realizados en la Escuela Politécnica de Noruega, bajo la dirección del profesor Dr. Techn. Arne Selberg. Se consiguió así una estabilidad aerodinámica elevada gracias, por una parte, a la forma de la sección y, por otra, a la utilización de «flaps» (placas delgadas curvadas que dirigen el flujo). El empleo de los «flaps» se ha inspirado en la técnica aeronáutica.

### los viaductos

Todos sus tramos tienen 31 m de luz. El tablero reposa sobre 8 vigas principales prefabricadas y pretensadas que se rigidizan con el tablero y con riostras transversales, también prefabricadas y pretensadas. Los soportes de los viaductos están constituidos por unos delgados muros, de hormigón, de 12 m de anchura, coronados por vigas



macizas de 27 m de anchura. De los 18 soportes, 4 están colocados directamente sobre los macizos de anclaje, 6 están cimentados sobre pilotes de hormigón armado y los 8 restantes van cimentados directamente sobre el suelo.

Los viaductos se terminan con estribos sobre los terraplenes de la autopista en los lados de Hylland y Fyn.

### **ejecución de la obra de hormigón**

En la orilla de Fyn se creó, en 1964-1965, una península artificial sobre la que se pudo colocar el viaducto y el macizo de anclaje. Esta península se agrandó entre 1966-1967, a fin de dejar sitio para los elementos que esperaban su montaje. La infraestructura —pilas del puente, macizos de anclaje, viaductos...— se sacó a concurso internacional público en julio de 1964. En noviembre de este mismo año, fecha de la apertura de pliegos, se habían presentado 8 proyectos, de los que 4 se referían exclusivamente a los macizos de anclaje y a los viaductos. Las obras se confiaron a un consorcio constituido por las empresas Dansk Entreprenørselskab Christiani & Nielsen A/S, J. Saabye & O. Lerche A/S y A. Jespersen & Søn A/S, Copenhague, por una suma total de 57,6 millones de coronas danesas. Las obras comenzaron en marzo de 1965.

La hinca de los pilotes se efectuó con un martinete de 12 t montado sobre un chasis fijo. Mientras tanto se construyó en la orilla de Jylland, en dique seco, y hasta una altura de 11,7 m, el cajón de la pila del lado de Jylland. A continuación, a finales de septiembre de 1966, fue remolcado hasta una estación intermedia, colocado sobre unos 11 m de agua y completado hasta una altura de 21 m. Al mismo tiempo el fondo del emplazamiento definitivo se preparaba mediante la colocación de cantos rodados, inyección parcial de la capa de cantos y ejecución de 4 bloques de hormigón armado (concrete-béton) sobre los que había de ser colocado el cajón. Uno de estos bloques iba provisto de un mecanismo de nivelación. El cajón pudo ser remolcado a su posición definitiva en abril de 1967. Una vez lastrado comenzó el trabajo con aire comprimido. La firma alemana Wayss y Freytag colaboró en estos trabajos, que duraron 2 meses y se concluyeron sin incidentes.

Tan pronto como el cajón de Jylland estuvo fuera del dique se secó éste y se comenzó la construcción de la pila de Fyn.

El remolque a la posición intermedia de esta última pila se efectuó en mayo de 1967, colocándolo en su emplazamiento definitivo a finales de agosto. El trabajo con aire comprimido se realizó asimismo sin novedad.

El pilono de Jylland se comenzó a finales de octubre de 1967, acabándose en unos 12 meses, mientras que el pilono de Fyn se ejecutó en sólo 8 meses. Se trabajó simultáneamente en los dos pilonos. La construcción de los pilonos con ayuda de encofrados deslizantes se llevó a cabo por la empresa inglesa Tileman & Co. como subcontratista.

### **ejecución de la superestructura colgante**

La superestructura colgante salió a concurso internacional en mayo de 1965; se invitaba a los concursantes a presentar presupuestos para las dos soluciones siguientes:

-  Construcción tradicional en emparrillado.
-  Construcción con cajón de poca altura.

Podían elegir, además, entre cables prefabricados o cables trenzados in situ.

En la apertura de pliegos, 8 firmas presentaron presupuestos para estructuras en cajón y en emparrillado. Existía una diferencia del 20 %, como media, a favor de la superestructura en cajón.

Los trabajos se confiaron a la empresa Monberg & Thorsen A/S, que empleó viga en cajón y cables prefabricados, por una suma de 97,4 millones de coronas danesas.

Se han utilizado hasta ahora cables prefabricados de gran longitud en el puente de Tancarville (1.066 m) y en el nuevo puente de Chesapeake (1.200 m); los del puente de Lillebælt miden 1.500 m.

La elección de cables prefabricados está justificada —cuando los precios de contrata lo permiten—, dado que se emplea así el máximo de mano de obra en taller y un mínimo en obra; es la tendencia actual, y la experiencia muestra que trenzando los cables in situ, en condiciones atmosféricas difíciles, existe mayor peligro de retraso y de imprevistos que empleando cables prefabricados.

Los trabajos incluían, principalmente, la fabricación y el montaje de:

- la estructura colgante, incluidos los pretilos;
- los cables sustentantes longitudinales con su forro;
- las péndolas;
- las piezas de acero colado de los apoyos, collar de suspensión, sillas de apoyo, etc.;
- las juntas de dilatación en los pilonos y torres laterales.

En los astilleros de Nakskov se fabricaron subsecciones, unidas a su vez en secciones de 12 m de longitud y con toda la anchura del tablero. Estas secciones se transportaron a continuación mediante un pontón flotante hasta el puente, siendo depositadas en la zona rellenada de la orilla del Fyn. Allí se soldaban por pares, formando elementos de 24 m de longitud y 270 t. La fabricación de las secciones comenzó en abril de 1967 y concluyó en octubre de 1969.

Los cables fueron fabricados con toda su longitud final, es decir, aproximadamente 1.500 m, siendo provistos de cabezas de anclaje de acero colado en las fábricas de la British Ropes Ltd., Inglaterra. Los cables, enrollados en tambor, fueron expedidos desde Inglaterra por barco y depositados en la orilla de Jylland.

Su montaje comenzó en la primavera de 1969, una vez finalizadas las obras de hormigonado de los pilonos.

Primeramente se construyó una plataforma de trabajo en lo alto de los dos pilonos, izándose a continuación las sillas de apoyo, de 37 t cada una, con ayuda de grúas especiales. Seguidamente se lanzaron las pasarelas volantes (Catwalks) desde un macizo de anclaje hasta el otro macizo a través de la cumbre de los pilonos.

Una vez terminados estos trabajos podía comenzar el montaje de los cables. Dichos cables, depositados en el lado de Jylland, se colocaban en un tambor de desenrollamiento, tirándose de ellos a lo largo de la pasarela volante en el suelo de la cual estaba colocado un camino de roldanas de rodamiento (7 m de distancia entre roldanas). El montaje de los cables comenzó en abril de 1969 y finalizó en junio del mismo año.

El montaje del tablero podía comenzar entonces. Las secciones fueron llevadas sobre pontón hasta su emplazamiento y levantadas por grúas especiales colocadas sobre los cables de sustentación. A continuación se soldaron las juntas entre los elementos de 24 m, formando un cajón continuo rígido. Con este procedimiento se consiguió, por una parte, una gran industrialización de la construcción y, por otra, se evitó en todo momento poner los elementos en contacto directo con el agua salada.

La primera sección fue izada el 23 de octubre de 1969 y la última el 1 de julio de 1970. No quedaban ya por realizar más que los trabajos de acabado y, sobre todo, la ejecución del revestimiento del tablero, que comprendía las operaciones siguientes: limpieza con chorro de arena, seguida inmediatamente de un riego de Bostik, extensión de un mástique aislante y, finalmente, dos capas de asfalto fundido; el espesor total del revestimiento es de 55 mm.

El puente fue inaugurado el 21 de octubre de 1970 por sus Majestades el Rey Federico IX de Dinamarca y la Reina Ingrid.

## **aspecto económico**

El costo de la obra estimado en el anteproyecto era de 130 millones de coronas danesas, a precios de enero de 1961. Esta evaluación sirvió de base para el establecimiento de la propuesta de Ley y su adopción.

Un aumento de las normas de carga y un cambio en la longitud del puente hizo ascender el costo a 140 millones de coronas, antes de que comenzara la ejecución de la obra.

En los 10 años transcurridos desde la puesta en marcha del proyecto hasta su finalización el índice de precios aumentó en más del doble y las tasas públicas han pasado de un porcentaje reducido a un 15 %. Debido a ello, el costo total final presupuestado de la obra se elevó a unos 265 millones de coronas, de acuerdo con las estimaciones iniciales.

La elección de la solución final, decidida por el entonces Ministro de Transportes K. Lindberg, la Comisión del puente y los ingenieros consultores, se llevó a cabo teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- a) elección del procedimiento más simple para la construcción del primer puente colgante danés, es decir, cables prefabricados, cables de suspensión verticales, viga-cajón ensamblada en las proximidades del lugar de montaje;
- b) reducción, al mínimo, de los problemas de montaje.



Foto: FYNS PRESSE

Es la primera vez que se construye un puente colgante con tablero en cajón con «flaps» y cables de suspensión verticales. Tal vez puede predecirse un posible desarrollo futuro, si decimos que la solución escogida en este caso es la que dicta el buen sentido.

Hay que mencionar igualmente que el precio de la superestructura de un puente colgante queda sensiblemente reducido adoptando esta solución; el ahorro conseguido es del 20 % del total de la superestructura.

## résumé

### Pont suspendu sur le Lillebælt, Danemark

Chr. Ostenfeld, Dr. technique  
Chr. Ostenfeld & V. Jønson,  
ingénieurs-conseil

Inauguré en octobre 1970, le pont suspendu sur le Lillebælt est le premier pont danois de ce type.

Il se compose d'une travée centrale de 600 m et deux autres latérales de 240 m. Les câbles porteurs sont, avec leurs 1.500 m de longueur, les plus grands câbles préfabriqués du monde. Le pont présente des caractéristiques originales —emploi de «flaps» pour la poutre-caisson de la superstructure, conception nouvelle des massifs d'ancrage...— qui, comme le système d'exécution et les autres particularités de l'ouvrage, sont décrites dans cet article.

## summary

### Suspension bridge over the Lillebælt, Denmark

Chr. Ostenfeld, Dr. Tech.  
Chr. Ostenfeld & V. Jønson,  
consulting engineers

This bridge, which was opened to traffic in October 1970 over the Lillebælt, is the first of its kind in Denmark.

It consists of a central span of 600 m, and two lateral ones of 240 m length each. The suspension cables, each 1,500 m, are the world's largest prefabricated cables. The bridge has original features, such as flaps on the main box girder, and new design of the anchorage blocks. These and other details are described in the article.

## zusammenfassung

### Hängebrücke über den Lillebælt, Dänemark

Dr. Chr. Ostenfeld, Techniker  
Chr. Ostenfeld & V. Jønson,  
beratende Ingenieure

Die Hängebrücke über den Lillebælt, die im Oktober 1970 eingeweiht wurde, ist die erste dänische Brücke dieser Art.

Sie besteht aus einem Mittelstück mit einer Länge von 600 m und zwei Seitenteilen mit einer Länge von 240 m. Die Verankerungskabel sind mit einer Länge von 1.500 m die längsten vorgefertigten Kabel der Welt. Die Brücke weist originelle Besonderheiten auf —Verwendung von «Flaps» am Kastenträger des Oberbaus, neue Konzeption der Ankerblöcke u.s.w.—, die zusammen mit dem Ausführungssystem und sonstiger Charakteristiken des Bauwerks in diesem Artikel beschrieben werden.