

Puente de Öresund

JOSÉ LUIS DAGO ELORZA (*)

RESUMEN Dentro del proceso de construcción del puente de Öresund para unir las costas de Suecia y Dinamarca, en marzo de 1996 Sundlink Contractors adjudicó a Dragados Off-Shore el suministro de los 49 tableros que constituyen la totalidad de los vanos de aproximación al puente atirantado, que se ha construido en las instalaciones de esa empresa en la ciudad sueca de Malmö. La fabricación de las piezas se realizó en el Yard que Dragados dispone en Puerto Real (Cádiz), que cuenta en la actualidad con una superficie total de 480.000 m² de los cuales casi 25.000 m³ corresponden a talleres cubiertos para fabricación. Asimismo, para el transporte de las piezas metálicas dentro del Yard se utilizaron cuatro plataformas autopropulsadas de 17 y 21 ejes y 500 ton. de capacidad de carga cada una.

CONTROL AND QUALITY

ABSTRACT During the construction process of the Öresund bridge for linking the coasts of Sweden and Denmark, in March 1996 Sundlink Contractors awarded Dragados Off-Shore the supply of the 49 panels that comprise the whole of the anchored bridge approach; the bridge itself was built at the installations that company has in the Swedish city of Malmö. Manufacture of the approach pieces was carried out at the Yard Dragados has in Puerto Real (Cadiz), which at present occupies a total surface area of 480,000 m² of which almost 25,000 m³ are devoted to covered workshops for manufacturing processes. Also, four self-propelled 17 and 21 axle platforms, each with a load capacity of 500 tons, were used for transporting the metal pieces within the Yard..

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dragados Off Shore SA



Embarque de tramos del Puente de Öresund (Dinamarca-Suecia). 1998.

PUENTE DEL ÖRESUND LINK

El trazado en planta de los 7,8 km de puente es una curva en C, de radio mínimo 12.800 m, que ha sido integrado en el medio ambiente circundante. Numerosas perspectivas han sido realizadas para llegar a la solución definitiva. El trazado en alzado presenta una curva de 65.000 m en alzado y que confiere en su punto más alto, en el puente atirantado, un gálibo vertical para la navegación marítima de 57 m. Los calados de agua en el estrecho varían de 2,5 a 9,5 m. Todas las cimentaciones de los puentes de aproximación son prefabricadas y una solución mixta, prefabricada *in situ*, se ha realizado para el puente atirantado.

Como mediciones más relevantes para la totalidad del puente se tienen:

• Hormigón estructural	280.000 m ³
• Acero estructural	82.000 ton.
• Acero corrugado y pretensado	60.000 ton.
• Cable atirantado	2.000 ton.

La durabilidad exigida al proyecto requirió para los materiales y las combinaciones elegidas para los mismos la ejecución de la fase denominada de "pretesting", periodo de duración superior a los 15 meses donde se debía demostrar que se satisfacen las duras especificaciones del Pliego. En particular, resistencia al hielo-deshielo, a las sales, resistencia a compresión (>50 Mpa), contenido y distribución del aire ocluido (>3,5% en masa fraguada), relación agua/cemento (<0.40). Los recubrimientos de las armaduras varían de unos componentes a otros según su ubicación en el proyecto, presentando un mínimo de 50 mm. Las tolerancias de colocación de las armaduras es de ±10 mm.

VANOS DE APROXIMACIÓN

Dragados Off-Shore está ejecutando los tableros de los vanos de aproximación, teniendo como cliente inmediato a Sundlink Contractors.

Los 6.750 m de los vanos de aproximación se descomponen de 42 vanos de 140 m de luz y de 7 de 120 m aprox. Se han dispuesto juntas de dilatación en estribos de conexión con el puente atirantado y cada 6 vanos.

La sección estructural es mixta acero-hormigón. El tráfico discurre en dos niveles en la parte superior de hormigón con una anchura de 23.5 m cuatro carriles más dos de emergencia para el tráfico por carretera y en la parte inferior de 12 m de gálibo horizontal libre para dos vías de ferrocarril con una pasarela de servicio en cada extremo. El vuelo por lo tanto de la sección de hormigón armado es de 4,25 m, su espesor es variable con un máximo de 0,75 m en conexión con la estructura metálica y 0,35 m en el centro. Transversalmente se dispone cada 0,40 m de vainas planas de pretensado con anclajes pasivo-activo en cada extremo. Longitudinalmente, sólo hay armadura pasiva.

La estructura metálica de calidades \$460 ML y M está formada por dos celosías tipo Warren paralelas unidas por vigas transversales en su nivel inferior cada 20 m. Las diagonales de la triangulación presentan un ángulo próximo a 45°. Cada 20 m hay un triángulo lo que supone siete triangulaciones en el vano tipo de 140 m. El canto total de la estructura es de 10.2 m. La conexión con el hormigón se realiza mediante pernos Nelson de distintas longitudes ubicados en el cordón superior de la estructura.

Las pilas de hormigón armado son de sección hexagonal, que se colocan sobre cajones previamente fondeados. La unión de ambos elementos se realiza por medio de una junta hú-

meda. La conexión de los cajones a la cama de escollera que le sirve de base se realiza por medio de inyecciones de mortero. Las dos pilas próximas a la navegación marítima se han dimensionado para una carga de colisión de 278 MN.

Todos los elementos son prefabricados, pilas, cajones y artesas para el confinamiento del balastro de la superestructura de la vía, realizándose en unas instalaciones específicamente construidas para este propósito en la costa sueca. La decisión de prefabricar ha sido la forma de garantizar los plazos de la obra, ya que algunos meses al año la climatología impide el desarrollo de los trabajos *in situ*, congelándose las aguas del estrecho.

El tablero de hasta 5.500 tons. de peso se fabrica en Cádiz en las instalaciones de Dragados Off Shore, según se describe más adelante. La colocación del tablero en su ubicación definitiva se realiza por medio de la grúa flotante "Svanen" de Ballast con una capacidad de carga de 9.000 tons. para lo cual se ha construido un balancín de 1.500 tons. que iza el tablero en los 60 m centrales y coloca en su posición definitiva sobre las pilas. La colocación de los cajones y de las pilas (hasta 4.000 tons.), también se realiza con esta misma grúa.

CONTRIBUCIÓN DE DRAGADOS OFF SHORE AL ÖRESUND LINK

En marzo de 1996 Sundlink Contractors adjudica a Dragados Off Shore el suministro en sus instalaciones, en la ciudad sueca de Malmö, de los 49 tableros que constituyen la totalidad de los vanos de aproximación al puente atirantado. La finalización del suministro está prevista para finales del verano del año 1999. Como mediciones más relevantes del suministro se tienen:

• Hormigón estructural	64.000 m ³
• Acero estructural	67.000 ton.
• Acero corrugado	16.000 ton.
• Acero pretensado	1.600 ton.

La fabricación de los elementos se está realizando en el Yard que Dragados Off Shore dispone en Puerto Real (Cádiz). En el mes de agosto de 1997 se inició el primer suministro realizado con una pontona semisumergible de 24.000 tons. y 150 m de eslora guiada con un remolcador de altura de 15.000 HP que transporta dos vanos de 5.500 tons. cada uno. Cada mes y hasta la finalización se prevé un embarque, cada uno con dos vanos, para lo cual se disponen de dos pontonas semejantes. La duración aproximada del transporte es de 14 a 18 días y la altura máxima de ola de diseño durante el transporte es de 13,5 m. El trayecto se realiza a través del océano Atlántico, mar Cantábrico y golfo de Vizcaya, canal de la Mancha hasta las costas suecas y descarga en Malmö. Para el aseguramiento de la carga durante el transporte y garantizar la ausencia de daños a la estructura mixta durante el mismo, se ha diseñado y construido unas estructuras especiales de amarre y trincaje "sea fastening" con un peso total de 1.800 tons.

El Yard de Dragados Off Shore tiene en la actualidad una superficie total de 480.000 m² de los cuales casi 25.000 m³ corresponden a talleres cubiertos para fabricación.

La complejidad en la estructura metálica es alta y los niveles requeridos de producción suponen la necesidad de fabricar mensualmente más de 3.000 tons. La logística y los sistemas productivos han sido muy estudiados y optimizados al tenerse que manipular más de 120.000 planchas de chapa, de hasta 75 mm de espesor y de calidades \$ 460 ML y M que vienen por



Puente de Öresund. (Suecia-Dinamarca). 1999.

barco desde Inglaterra (British Steel) y de Alemania (Daval), y tener que efectuar volúmenes de soldadura superiores a los 53 millones de cm, todo ello bajo estándares muy altos de calidad que requieren una trazabilidad completa de los materiales y soldaduras. Al objeto de mejorar la competitividad y productividad se han instalado dos robots para la ejecución de soldadura que disponen de seis grados de libertad.

Las especificaciones de pintura son muy exigentes, asegurando la idoneidad de los componentes y de la ejecución por un período superior a los 30 años. El tratamiento completo consta de 5 capas independientes de pintura.

Para el transporte de la estructura metálica dentro de las instalaciones del Yard se utilizan cuatro plataformas autopropulsadas de 17 a 21 ejes y 500 ton. de capacidad de carga cada una. El peso de la estructura en esta fase ronda las 1.500 ton. Una vez pintado se lleva a la zona de hormigonado en donde se apoya en imadas separadas 100 m que se prolongan en el mismo nivel hasta el final de la pontona. El peso después de hormigonado es de 5.500 tons. Los movimientos en estas posiciones se realizan por medio de 8 patines con cilindros hidráulicos de 1.000 ton. de capacidad que se desplazan a lo largo de las imadas con gatos "push-pull" en vías metálicas de neopreno.

Para la ejecución del tablero de hormigón dos aspectos son vitales para el cumplimiento de un Pliego que en muchos aspectos pretende ir más allá del "estado actual del arte" y que se justifican en la durabilidad del diseño:

- Por un lado las propiedades exigidas a los materiales constitutivos y la mezcla tanto fresca como fraguada.

- Por otro lado un estudio muy detallado de la puesta en obra que ha generado importantes inversiones

Para la obtención de los materiales y de la mezcla se ha llevado a cabo la fase llamada "pretesting" con una duración superior a los 15 meses, en donde se han realizado una serie de ensayos típicos de caracterización muy especiales.

La necesidad de producción de realizar dos vanos (2x140 m) al mes, unido a los estrictos requerimientos del pliego ha generado el estudio e implantación de unas novedosas y avanzadas instalaciones de hormigonado y que a modo de resumen se describen en lo siguiente:

- Plantas de hormigón de 60 m³/hr y amasadora contracorriente de 2 m³ de capacidad
- Instalación de ensilado de áridos con capacidad de 3.000 ton.
- Refrigeración con nitrógeno de los componentes
- Nave de hormigonado de 150 m de luz libre
- Distribución del hormigón con cazos automáticos aéreos de 2 m³ de capacidad de monorail aéreo de 670 m
- Parque de prefabricados de ferralla y pretensado
- Pórtico móvil de 29 m de luz, 19 m de gálibo y 90 ton. de capacidad
- Maquinaria de extendido y terminación de hormigón
- Climatización de la nave con aporte durante el fraguado del hormigón de más de un millón de frigorías
- Control de temperaturas de los componentes y del hormigón durante el fraguado