

# ENLACE ORESUND UNIENDO COSTAS LEJANAS

Para una gaviota puede resultar sencillo atravesar 16 km de mar, pero para el hombre representa una tarea titánica. Y así fue. Para unir las ciudades de Copenhague (Dinamarca) y Malmö (Suecia) a través del Estrecho de Oresund se ejecutó un proyecto extraordinario, que incluye un túnel submarino, una isla artificial y un puente colgante, con una luz de 490 m, la más larga del mundo al momento de su inauguración en el año 2000. Los imperdibles detalles de un fabuloso proyecto, que superó los US\$ 1.500 millones de inversión.

MARCELO CASARES  
EDITOR REVISTA BIT

AGRADECEMOS LA INFORMACIÓN Y LAS FOTOS ENVIADAS  
POR EL DEPARTAMENTO DE PRENSA DE ØRESUNDSBRON

FOTOS GENTILEZA [WWW.BRIDGEPHOTO.DK](http://WWW.BRIDGEPHOTO.DK)



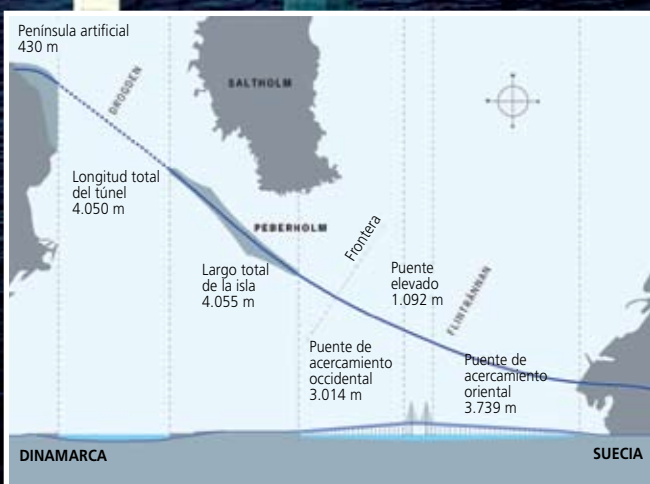
## FICHA TÉCNICA

**Proyecto:** Enlace Oresund Suecia-Dinamarca  
**Inversión:** US\$ 1.500 millones  
**Inauguración:** 01 de julio 2000  
**Península artificial:** 430 m  
**Túnel submarino:** 4.050 m  
**Isla artificial:** 4.055 m  
**Puente de acercamiento occidental:** 3.014 m  
**Puente colgante:** 1.092 m  
**Puente de acercamiento oriental:** 3.739 m  
**Longitud total del enlace:** 16.380 m  
**Hormigón:** 280.000 m<sup>3</sup>  
**Acero estructural:** 82.000 t  
**Acero corrugado pretensado:** 60.000 t  
**Cable atirantado:** 2.000 t  
**Arquitecto puente colgante:** Georg K.S. Rotne

# N

ECESITO DEL MAR PORQUE ME ENSEÑA". Un verso del Poeta, aunque en realidad parece una frase propia de la industria de la construcción. No es para menos, porque los tremendos retos que imponen las extensiones marinas generan enormes enseñanzas para la ingeniería. Hay ejemplos notables, como la unión de dos costas separadas por más de 16 mil metros. Sí, leyó bien, más de 16 kilómetros. Un proyecto que salva el estrecho de Oresund, seis veces más grande que nuestro Canal de Chacao, en el cual se contempló ejecutar un puente colgante de 2.635 metros de longitud, iniciativa descartada momentáneamente por las autoridades nacionales.

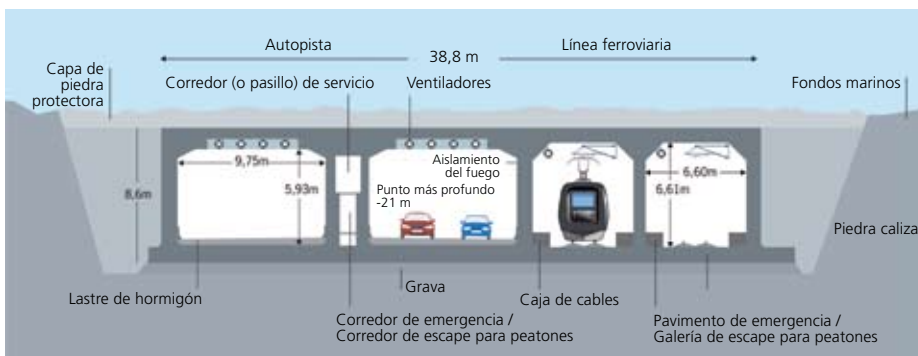
Volvamos a Europa. El mar enseña y la ingeniería aprende. Y cómo. En 1991 comenzaron los estudios para unir la ciudad danesa de Copenhague con la sueca Malmö, un sueño que ya se prolongaba por más de un siglo. Se concluyó en una solución compleja, bautizada como Enlace Oresund, que hasta el día de hoy es catalogada por los expertos como una de las más grandes obras de construcción de la historia del Viejo Continente. ¿Se exagera? Para nada. Anote. El proyecto parte en la costa danesa con una península artificial (430 m), sigue con un túnel submarino (4.050), una isla artificial (4.055 m), un puente de acercamiento occidental (3.014 m), un viaducto colgante (1.092 m), y concluye con un puente de acercamiento oriental (3.739 m) para llegar finalmente a tierras suecas. Longitud total: 16.380 metros. No es todo. El Oresund se compone de una autopista de cuatro pistas de circulación, más dos de emergencia, y dos vías para ferrocarril. Ahora en



El túnel sumergido se compone de 20 elementos prefabricados de hormigón, los más grandes del mundo al momento de su inauguración. En la imagen uno de ellos, de 55.000 t, se transporta hacia su ubicación definitiva.



GRÁFICO 1. SECCIÓN TRANSVERSAL TÚNEL SUMERGIDO



10 minutos se atraviesa un tramo que antes demandaba al menos una hora de transbordador. ¿Más retos? Sobran. Hay que considerar condiciones ambientales extremas con temperaturas que alcanzan los  $-20^{\circ}\text{C}$ , fuertes vientos, eventuales colisiones de buques, probables impactos de masas de hielo y una vida útil de la estructura de 100 años. Así, se explica fácilmente que los estudios y las obras se extendieran por casi una década. Todo por aprender.

## El túnel

¿Por dónde empezar? Difícil, todo es un desafío. Comencemos por el occidente, en la costa danesa. En la península artificial nace el túnel de Oresund de 4.050 m de longitud, compuesto por 3.510 m de túnel sumergido bajo el canal Drogden y dos portales de 270 m cada uno. Su sección transversal se compone de cuatro espacios, dos para las vías de ferrocarril y dos para el tráfico vehicular. Entre ellos se ubica una galería para servicio y escape (ver gráfico 1). La megaestructura submarina se conforma de 20 elementos prefabricados de hormigón. Cada uno alcanza las extraordinarias dimensiones de 176 m de largo x 38,8 m de ancho x 8,6 m de alto y un peso de 55.000 toneladas. Al momento de su

ejecución, estos elementos prefabricados eran los más grandes del mundo utilizados en túneles. Todo aprendizaje, todo innovación.

El montaje submarino representa una proeza, porque se hizo a más de 10 m de profundidad. Los segmentos de túnel se transportaron remolcados desde el patio de fabricación. Una vez posicionado cada segmento con gran exactitud, mediante tecnología GPS, se procedía a su inmersión y posicionamiento, colocándolo sobre una base granular previamente preparada y nivelada en el fondo del mar. Una vez selladas las juntas por personal de buceo, se procedió progresivamente al desecado del interior del conducto.

Así, las monumentales piezas de hormigón se colocaron en una zanja pre-dragada en el fondo del mar y cubierta con una capa de roca protectora que dejó una profundidad marina libre de 10 m en los 600 m de ancho del canal de Drogden.

La autopista del túnel dispone de dos carriles de 3,5 m de ancho sin berma, pero con una pista de emergencia de 1 m de ancho. Las barreras de seguridad de Nueva Jersey protegen la parte inferior de los muros, revestidos de paneles de aluminio lavables. Por su parte, los techos y el sector superior de los muros se encuentran cubiertos con aislamien-

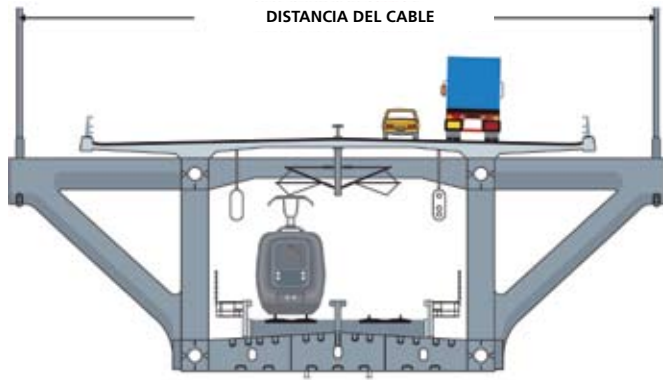
to para el fuego, diseñado para resistir la acción de un incendio de  $1.350^{\circ}\text{C}$  durante dos horas. Además, cada 88 m hay puertas de emergencia de 1,2 m de ancho, conectadas a la galería de escape.

No se descuidó ningún detalle. Las entradas para las autopistas poseen filtros de luz en el techo para permitir que los automovilistas se adapten a la luz artificial. Por su parte, el ingreso para las vías férreas cuenta con aberturas superiores para contrarrestar el efecto de aire comprimido por los trenes.

Cada espacio destinado a la circulación vehicular contiene 80 ventiladores distribuidos en cuatro grupos, mientras en cada vía del ferrocarril hay 20 artefactos. La función principal del sistema de ventilación consiste en eliminar el humo y el calor en caso de fuego y mantener el aire limpio. Los sensores de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y visibilidad, se instalaron en cuatro puntos estratégicos.

La tecnología abunda. El túnel de la carretera posee un avanzado sistema de control de tráfico que, a través de cámaras instaladas cada 60 m, permite al Centro de Tráfico vigilar el flujo y detectar automáticamente los vehículos en fila y estacionados. Señales de información variable modifican la velocidad cuando hay carriles bloqueados, y el tráfico se orienta hacia la otra pista. No hay altavoces, pero el Centro de Tráfico utiliza tres canales de FM para comunicarse con los automovilistas. En circunstancias normales, la velocidad máxima es de 90 km/h y el transporte de sustancias peligrosas sólo se autoriza entre las 23:00 y 06:00 horas. Las precauciones incluyen sistemas de extinción de gases en la sala técnica ubicada en el punto más profundo de la estructura sumergida. Ahora sí, la luz aparece al final del túnel. Llegamos a la isla artificial.

**GRÁFICO 2.  
SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUENTE ELEVADO**



### La isla

Como si un túnel sumergido fuera poco, el proyecto subió la apuesta de la complejidad incorporando una isla artificial. ¿Para qué? Tiene su lógica. La isla se creó para nivelar el tráfico desde el puente al túnel. La explicación: La autopista se encuentra en la parte superior del viaducto y la vía del ferrocarril en la inferior (ver gráfico 2). En cambio, como se mencionó, en el túnel sumergido el flujo de trenes y vehículos están al mismo nivel. En consecuencia, se requería una etapa intermedia para equiparar las alturas de circulación, función que cumple la isla artificial.

Ésta se denomina Peberholm, bautizada así por un juego de palabras entre sal y pimienta, ya que la isla vecina natural al norte lleva el nombre de Saltholm. Tiene 4.055 m de longitud y se construyó con arena, arcilla, piedra y cal de la excavación de los fondos marinos del Oresund, durante el dragado del canal para la ejecución del túnel y para las pilas del puente. Hubo retos mayúsculos: En las operaciones de dragado se controlaron las cantidades de ma-

terial derramado al lecho marino, no pudiendo exceder el máximo permitido de 5%. Así fue.

Su ubicación se evaluó detalladamente para evitar impacto medioambiental, alteración del flujo de agua por el estrecho y modificaciones en las zonas de sedimentación. La altura mínima sobre el nivel del mar alcanza 1,5 m, siendo la máxima 5 metros. Los contornos, con sus líneas cóncavas y puntos redondeados, reflejan distintos factores. Por una parte, su diseño no debe impedir el flujo de agua de Oresund y por otra, debe estar en armonía con la autopista que la cruza en una curva con ligera forma de S. La protección de la costa consiste en granito proveniente del oeste sueco y varía de un gris claro a oscuro. Las piedras más grandes están colocadas en las secciones sur, occidental y oriental, como protección contra las fuertes olas y el hielo. En la sección norte hacia Saltholm, las piedras son considerablemente más pequeñas.

El concepto verde tampoco puede faltar en una obra emblemática. Peberholm es una zona donde la flora y la fauna se desarrollan



La isla artificial, construida con arena, arcilla, piedra y cal, tiene una longitud de 4.055 metros.

**Masonite®**  
The Beautiful Door.®



[www.masonite.cl](http://www.masonite.cl)

Oficina Comercial: 56 (2) 7472012  
Planta: 56 (43) 404 400  
e-mail: [puertas@masonite.cl](mailto:puertas@masonite.cl)

## LOS PREFABRICADOS

Los 49 tableros (42 de 140 m de largo y 7 de 120 m, con un peso promedio de 5.000 t) que constituyen la totalidad de los vanos de los puentes de acercamiento al viaducto colgante tienen una historia particular. Fueron construidos en la ciudad española de Puerto Real por la empresa Dragados Offshore, de esa misma nacionalidad. La sección estructural de los vanos es mixta acero - hormigón.

El tránsito circula en dos niveles. En la parte superior de hormigón con un ancho de 23,5 m hay cuatro vías para flujo vehicular, más dos adicionales de emergencia. En la parte inferior de 12 m de gálibo horizontal libre, se ubican las dos vías de ferrocarril más la pasarela de servicio a cada extremo.

No podía ser de otra manera, se empleó la más alta tecnología y un hormigón especial, el H-50, para garantizar una vida útil prevista de cien años en un ambiente sumamente agresivo como los mares del Norte y Báltico. Nada es fácil y menos en esta obra, porque se debía construir los prefabricados y transportarlos por vía marítima hasta la costa sueca. El primer embarque se realizó en septiembre de 1997 con una pontona semisumergible de 24 mil t y 150 m de eslora, guiada por un remolcador de altura de 15.000 HP, que transporta dos vanos de 5.500 t cada uno. El viaje se prolongó por 14 días. El montaje se efectuó con la grúa flotante "Svaven" con una capacidad de carga de 9.900 t, para lo cual se construyó un balancín de 1.500 t que izaba el tablero a 60 m para colocarlo sobre las pilas. Así, finalizaba cada ciclo del prefabricado. Sin dudas, una historia particular.

oriental (3.739 m). Se compone de una doble vía de ferrocarril en el piso inferior y una autopista de cuatro carriles de autopista con vereda en el piso superior.

Una estructura imponente diseñada en forma de "C" con un radio mínimo de 12.800 metros, creada por el arquitecto Georg K.S. Rotne. Los puentes de aproximación se componen de elementos prefabricados (ver recuadro Los prefabricados) y en el viaducto colgante se empleó una solución mixta que incluye la ejecución in-situ. Las cifras asustan: 280.000 m<sup>3</sup> de hormigón, 82.000 t de acero estructural, 60.000 t de acero corrugado pretensado y 2.000 t de cable atirantado.

La estructura colgante consiste en un entramado de acero pintado con una cubierta superior de hormigón. La sección metálica se diseñó como una caja cerrada de perfiles de vigas equipados con sistemas internos de des-humidificación. No se trata de romper récord, pero hay más cifras para Guinness. La luz principal del puente colgante es de 490 m, la más grande del mundo al momento de su inauguración. A los lados, se encuentran dos vanos de 160 m cada uno. Posee un gálibo vertical para la navegación de 57 m, siendo los calados de agua del estrecho entre 2,5 a 9,5 metros. El lapso principal se suspende en cuatro pilares de hormigón de 204 m de altura,

dos vías de cables (80 en total), que se han diseñado como una sola torre con una viga que cruza bajo la viga del puente.

Estas torres de más de 200 m merecen un párrafo aparte. Se trata de cuatro elementos monumentales cuyas dimensiones se reducen desde el nivel del mar, aumentando la sensación de fuerza y estabilidad. Un espectáculo sorprendente, porque las torres con sus cables en forma de arpa, se observan desde alejados pueblos ubicados en las costas suecas y danesas.

**A la derecha se observa una de las torres principales durante su construcción, los trabajadores indican su altura total: 203,5 metros. Abajo, se observa un corte transversal de los puentes de aproximación.**



libremente casi sin contacto humano. La Asociación Botánica Lund realiza inventarios de la vida vegetal de la isla localizando más de 300 diferentes especies establecidas en los relleños de cal. Algunas de éstas son exóticas en Dinamarca y Suecia como la *Sisymbrium Supinum* y la *Erucastrum Gallicum*. ¿Aves? No faltan. La isla es un lugar privilegiado de anidación para algunas especies protegidas como el charrán y las avocetas. Estas colonias cubren una gran superficie del sector sur oc-

cidental. Seguimos subiendo. Ahora es el turno de elevarse hasta el puente colgante.

### El puente

¿Es todo? No, falta, aún queda una estructura fabulosa. El viaducto entre la isla artificial Peberholm y Lernacken, en la costa sueca, constituye la sección oriental del enlace y se divide en tres grandes secciones: puente occidental de acercamiento (3.014 m), viaducto colgante (1.092 m) y puente de acercamiento



Una grúa con capacidad de carga de 9.990 t realizó el montaje de los elementos prefabricados de los puentes de aproximación al viaducto colgante.



La mayor parte del transporte marítimo atraviesa sobre el túnel sumergido de Oresund en Drogden, pero numerosas embarcaciones emplean el canal de Flintrännen de 370 m de ancho ubicado bajo el puente colgante. Por ello, los pilares y muelles cercanos a los pilares se equiparon con islas de protección submarina para salvaguardar la estructura de colisiones.

Los muelles del puente se prefabricaron en tierra y se remolcaron en forma alineada como elementos prefabricados, mientras los pilares se construyeron en forma escalonada in situ. Estos últimos, se encuentran equipados con escaleras y un ascensor simple para el acceso a las anclas de los cables y las luces

de alerta para la aviación.

Los cables son parte de un patrón puro y bien equilibrado con idénticos ángulos hacia las torres y colocados fuera de la plataforma del puente para protegerlos contra colisiones. Son paralelos y simétricos en torno a las torres, recibiendo una carga distribuida en forma uniforme. Bajo ciertas condiciones meteorológicas y de luz, los cables quedan invisibles dejando las torres como la parte más prominente del enlace. Para evitar su agitación ante fuertes vientos, se instalaron amortiguadores de oscilación.

Las instalaciones y el equipamiento de seguridad tampoco faltan. Hay teléfonos de emergencia ubicados en todas las escaleras de

emergencia, en intervalos de 700 m aproximadamente en ambas direcciones. Los muelles del puente y torres están equipados con unidades de extinguidores de gas, y tuberías de distribución de agua para combatir el fuego. Las señales electrónicas de información han sido instaladas en intervalos de 1500 m para proporcionar información sobre las condiciones meteorológicas y del viento.

Una obra imponente, que deja múltiples elementos de análisis para futuros artículos. Una muestra más de los complejos desafíos que asume la industria de la construcción, y todo lo que queda por aprender. Una muestra más que el mar aún tiene mucho por enseñar. ■

[www.oresundsbron.com](http://www.oresundsbron.com)

#### EN SÍNTESIS

El Enlace Oresund representa una de las mayores obras de ingeniería de la historia europea, según los expertos. Las razones no faltan, porque el proyecto une las ciudades de Copenhague (Dinamarca) y Malmö (Suecia) que se encuentran a más de 16 kilómetros. La solución para atravesar el Estrecho de Oresund se compone de una península artificial en costas danesas (430 m), un túnel submarino (4.050), una isla artificial (4.055 m), un puente de acercamiento occidental (3.014 m), un viaducto colgante (1.092 m), y un puente de acercamiento oriental (3.739 m) a las costas suecas. La inversión superó los US\$ 1.500 millones y la megaobra se inauguró en julio del año 2000.

BIT 62 SEPTIEMBRE 2008 ■ 69

## Seguro. Rápido. Eficiente. Competencia en encofrados ¡Cerca de usted!

Si está buscando soluciones de encofrado, Doka está a su disposición en más de 140 oficinas de venta en 65 países. Proyectos a medida, flexibles y eficientes. En todo el mundo y por supuesto cerca de usted. **Competencia en encofrados para su obra.**

#### Competencia de productos Doka

Los diferentes sistemas de encofrado y componentes Doka le ofrecen el equipo perfecto para cada requisito.

#### Competencia en servicio Doka

Servicio se escribe con mayúsculas en Doka. Le asesoramos para que lleve a cabo con éxito su trabajo a lo largo de todo el proyecto de construcción.

