

El proyecto Delta

La conservación ambiental y la protección de las inundaciones en Zeeland (Holanda)*

Abel Enguita

Los holandeses han mantenido una lucha constante contra los ríos y el mar



Presa de Haringoliet 1971



Una lucha permanente contra el mar

Hace alrededor de 10.000 años, al final de la última era glacial, se formó el Mar del Norte y el territorio que hoy conocemos como los Países Bajos comenzó a existir como una tierra de pantanales. Durante muchos siglos la región fue inhabitable, pero con el transcurrir del tiempo se formaron turberas y comenzó el asentamiento de población sobre las dunas más altas. En el siglo X se construyeron los primeros diques y con ellos la defensa del suelo se convirtió en un contraataque al mar. Tales diques se levantaron como protección de la tierra firme de las inundaciones y, también, para ganarle al mar nuevas tierras, los polders.

Las herramientas empleadas al principio eran muy sencillas, no mucho más que palas y cestos, y los primeros diques eran terraplenes de escasa altura que el mar perforaba con facilidad.

El exceso de agua de los polders era un problema adicional y hubo que construir esclusas para vaciarla en el mar con la marea baja. La invención del molino de viento, hace alrededor de 600 años, hizo posible mantener secos polders que tenían una profundidad cada vez mayor. Más aún, los molinos permitían bombear el agua de grandes tanques y lagos, desecándolos, con lo que se ganaba aún más tierras. Los diques, no obstante, continuaron siendo hasta el siglo XIX –en que aparecieron nuevos materiales, técnicas constructivas y maquinarias, tales como el hormigón, las presas de piedra y las máquinas de vapor– unas formas de protección primitivas. Actualmente, la línea de defensas costeras señala dónde el poder del agua sobrepasó al de la población. Cada siglo ha sido testigo de inundaciones, a muchas de las cuales se les dio nombre (p. e., la inundación del día de Todos los Santos en 1570) y aunque los holandeses volvieron a la lucha, a menudo tuvieron que rendirse cediendo al mar grandes extensiones. Las zonas de The Verdonken Land van Saeftinghe (en Zeeland Flanders), the Verdonken Land van Reimersnaal (Sur de Beveland) y Zuidland (Schouwen-Duiveland), por ejemplo, se perdieron frente al

* Este artículo constituye una síntesis abreviada de las descripciones del proyecto contenidas en "The Delta Project" del Mº de Transportes y Obras Públicas de los Países Bajos, editada en 1989 y en "Le barrage anti-tempête dans l'Escaut oriental", del Oosterschelde Stormvloedkering Bouwcombinatie, de 1987.

mar. El balance global de los siglos pasados muestra que se ha perdido más tierra de la que se ha ganado.

El mayor desastre por inundación en la historia del país tuvo lugar durante la noche del primero de febrero de 1953. El mar se adentró en muchos polders del suroeste de los Países Bajos, inundando unas 200.000 Ha. de suelo fértil de cultivo y muchas ciudades y pueblos. Los diques fueron destruidos en 67 lugares y perforados en más de 400. Se ahogaron 1.835 personas y 72.000 se vieron forzadas a evacuar la región; murieron más de 200.000 vacas, caballos, cerdos y otro ganado y sufrieron daños más de 47.000 edificios.

La inundación fue causada por una marea alta de primavera, excepcionalmente alta por el efecto combinado y mutuamente reforzado del sol y la luna, coincidente con una persistente tormenta del noroeste.

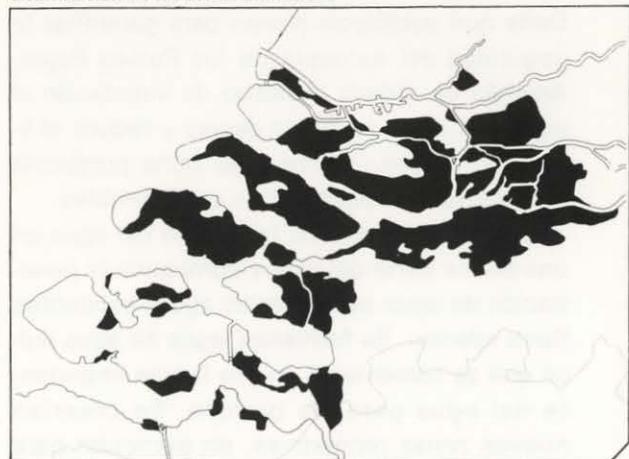
Los diques no igualaron el alto nivel del mar, de cuatro a cinco metros por encima del AOD (Amsterdam Ordnance Datum, o nivel medio del mar con relación a Ámsterdam), algo sin precedentes.

La población holandesa estaba decidida no obstante a no ceder las tierras inundadas. Primero pensaron en reparar el daño causado y luego en prevenir que volviese a ocurrir tamaño desastre. La última brecha abierta, próxima a Ouwerkeek, se volvió a sellar en noviembre de 1953.

Los atractivos de las regiones del Delta

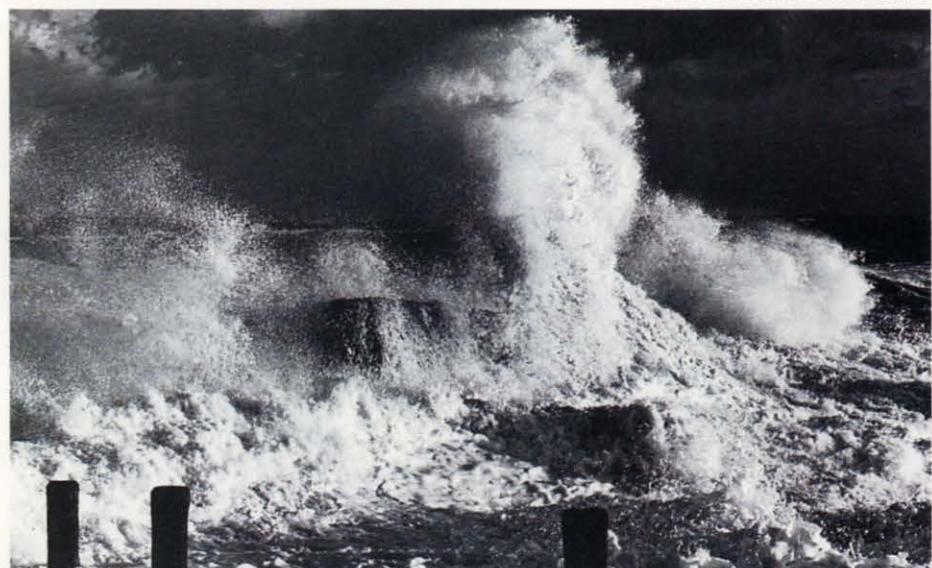
Los deltas proveen a menudo muchas de las condiciones necesarias para mantener un sistema de plantas y animales rico y variado. Su desarrollo y el suministro de materia orgánica proveniente del mar y minerales prove-

Delimitación de las zonas inundadas



Regiones que se inundarían regularmente si los Países Bajos no estuvieran protegidos por diques

La lucha secular contra el mar



Evolución del suroeste de los Países Bajos con el transcurso de los siglos



En 1953 el mar, adentrándose por las múltiples brechas abiertas en los diques, inundó 200.000 has. destruyendo todo a su paso



nientes del río permiten a los deltas actuar como incubadoras para alevines. La fuerza motora tras el ecosistema de los deltas es la marea. La exposición regular de barrizales y franjas de arena en la marea baja y su inmersión durante la marea alta es indispensable para los innumerables crustáceos y moluscos, gusanos y otra fauna que vive en ellos.

Sin embargo, los asentamientos humanos, el transporte, la agricultura, la pesca, el comercio y la industria que florecen gracias a las favorables condiciones del delta son una amenaza para el ecosistema. El tamaño creciente de

los barcos requiere el drenaje de canales de navegación más profundos y la construcción de puentes más grandes. La industria descarga residuos en el agua, y las toxinas vertidas a kilómetros de distancia aguas arriba se asientan con el aluvión en la boca del río.

La actividad humana somete a presión al ecosistema, una presión que desde principios de los años setenta se ha tenido conciencia de que no debe continuar sin freno y que debe establecerse un balance entre los intereses de la ecoología y la economía.

Mejores protecciones (contra las inundaciones) con menos diques

Poco tiempo después de la inundación de 1953, un comité especialmente designado presentó propuestas para la prevención de otro desastre en el futuro. Las propuestas se centraron en el acortamiento de la longitud del litoral y fueron recibidas con entusiasmo, pues, después de todo, la fuerza de una línea defensiva aumenta a medida que se reduce su longitud.

El comité recomendó que los canales sujetos al efecto de las mareas en el Rhin, Maas y Delta del Scheldt deberían ser superados cerca de la costa y que los diques a lo largo del mar y los ríos del resto del país deberían elevarse para permitir aguantar un nivel de cinco metros sobre el AOD en el área del *Hool of Holland*.

Estas medidas reducirían la frecuencia de inundaciones tierra adentro a una media de una cada 10.000 años y las inundaciones en las ensenadas a una cada 4.000 años, lo cual parecía suficientemente seguro por el momento.

El *New Waterway* y el *Western Scheldt* habrían de mantenerse abiertos a la navegación debido a su importancia económica para los puertos de Rotterdam y Amberes.

En 1958, el Parlamento aprobó la Ley del Delta que establecía planes para garantizar la seguridad del suroeste de los Países Bajos. Además de reducir el riesgo de inundación al aumentar la altura de los diques y reducir el litoral en 70 Km., el Proyecto Delta produciría unos beneficios económicos considerables.

Igualmente mejoraría la gestión del agua en una buena parte del país y combatiría la penetración de agua salada en las aguas existentes tierra adentro. Se formarían lagos de agua dulce que se convertirían en una fuente importante del agua para las granjas. Se crearían nuevas zonas recreativas, en particular para

La región mejorada por el Plan Delta



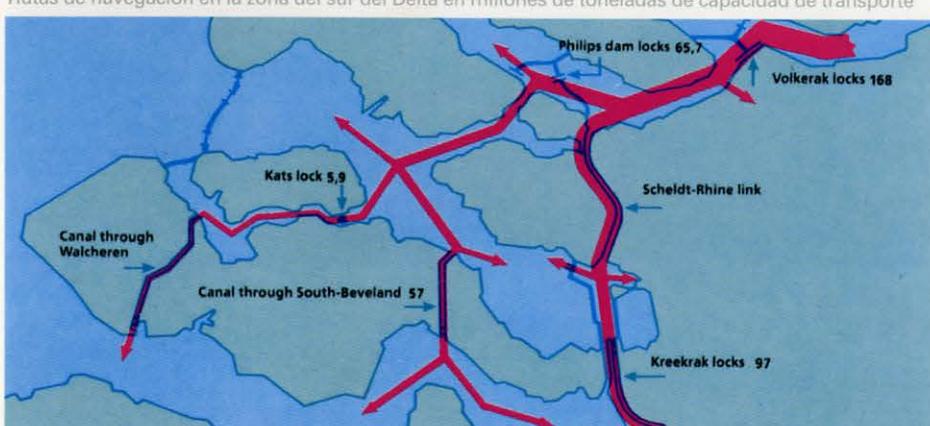
El barco Trias en acción colocando la última capa de coronación



Situación de las obras de compartmentación



Rutas de navegación en la zona del sur del Delta en millones de toneladas de capacidad de transporte



deportes acuáticos, y se mejoraría de forma notable la red viaria del suroeste del país.

Uno de los inconvenientes del Proyecto era que la industria de la pesca en agua salada y los criaderos de crustáceos y moluscos –tales como los de ostras y mejillones, centrados en torno a la ciudad de Yerseke, una importante fuente de ingresos para la región del Eastern Scheldt– desaparecerían, teniendo que trasladarse a otras áreas. Por aquel entonces, aún se prestaba muy poca atención al medio ambiente; la protección de las inundaciones y la economía eran las cuestiones principales.

Los planes originales para el Proyecto Delta implicaban la construcción de enormes presas en cuatro ensenadas afectadas por las mareas, *Veerse Gat*, *Eastern Scheldt*, *Brouwershavense Gat* y *Haringvliet*, reduciendo la longitud de los diques marítimos en la región de más de 700 Kms, a sólo 25 Km.

Asimismo, se proyectaron tres presas más hacia el interior, la de Volkerak –que serviría para separar las zonas de agua dulce de las de agua salada– y las de Grevelingen y del Zandkreek que eliminarían corrientes incontrolables en el área afectada por las mareas.

Para determinados fines específicos se necesitaban estructuras de ingeniería civil poco usuales. En el *Hollandse IJssel* había que construir una barrera contra las tormentas para proteger la región del Sur de Holanda, densamente poblada y asentada en un nivel bajo el del mar. En la presa de *Haringvliet* había que construir un amplio complejo de esclusas para descargar cualquier exceso de agua de los ríos Rhin y Maas en el Mar del Norte. Asimismo, había que realizar compuertas en diversas presas para los barcos comerciales y de recreo.

En síntesis, el calendario de los trabajos desarrollados fue el siguiente:

- 1958. Barrera de protección contra oleaje producido por tormentas en el *Hollandse IJssel*.
- 1960. Presa de Zandkreek.
- 1961. Presa de *Veerse Gat*.
- 1965. Presa de Grevelingen.
- 1969. Presa de Volkerak.
- 1971. Presa de *Haringvliet*.
- Presa de *Brouwers*.
- 1983. Dique de *Markiezaat*.
- 1986. Presa del *Eastern Scheldt*.
- 1987. Presa de *Philips*.
- 1987. Canal de descarga de *Bath*.

Barrera de protección contra oleaje producido por tormentas en el *Hollandse IJssel* 1958



Presa de Zandkreek. 1960



Presa de *Veerse Gat*. 1961



Presa de Grevelingen. 1965



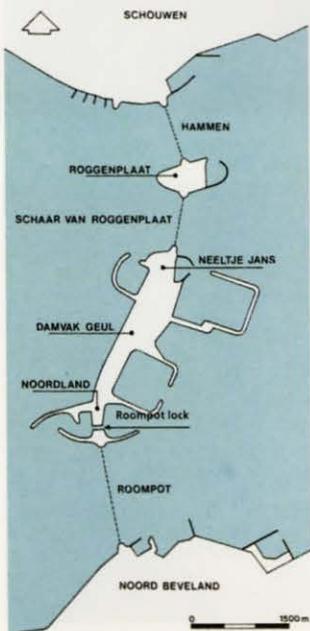
Presa de Volkerak. 1969



Presa de Brouwers



Presa de Eastern Scheldt. 1986



Dique de Markiezaat. 1983



Canal de descarga de Bath. 1987



Concienciación ambiental

En la segunda mitad de los años sesenta cambió la opinión sobre el medio ambiente, con la creciente concienciación de que si éste era sometido a un ataque global podrían producirse unos resultados catastróficos. Ganó terreno la idea de que había de haber límites al crecimiento y la visión optimista del futuro comenzó a desvanecer. Esto llevó finalmente a adoptar un nuevo enfoque para el Proyecto Delta.

La construcción de una presa sólida a través de la desembocadura del *Eastern Scheldt* perdió el apoyo general que una vez atraío.

Si había que construir la presa, el *Eastern Scheldt* no sería durante más tiempo una ensenada batida por la marea, el agua salada se convertiría en dulce y en lugar de elevarse y caer con las mareas mantendría un nivel constante. Más aún, las comunidades vegetales y animales se transformarían y los crustáceos y moluscos desaparecerían. Cada vez más gente se fue dando cuenta de que el *Eastern Scheldt* era un área de un valor excepcional y se fue preocupando de los efectos que tendría represar la ensenada sobre la flora y la fauna.

Científicos conservacionistas de la naturaleza y pescadores encabezaron la protesta contra una presa sólida. La lucha para mantener el *Eastern Scheldt* abierto fue recibiendo gradualmente un mayor apoyo, incluso en los círculos políticos, y el Gobierno finalmente decidió encargar a un comité especial la realización de un nuevo estudio.

En 1974 el comité recomendó abordar una solución de compromiso: el *Eastern Scheldt* debería mantenerse abierto la mayor parte del tiempo y cerrarse cuando pareciese que hubiera un riesgo de inundación. El diseño para la presa semiabierto debía elaborarse con sujetación a varios condicionamientos:

- debía ser técnicamente viable;
- los costes adicionales debía reducirse al máximo;
- el área en torno al *Eastern Scheldt* debía quedar protegida de las inundaciones para 1985.

El problema de ingeniería, por tanto, consistía en diseñar y construir una barrera fiable y abierta que permitiese la entrada de la marea, cada día, al *Eastern Scheldt*. Semejante proyecto jamás se había realizado en ninguna parte del mundo.

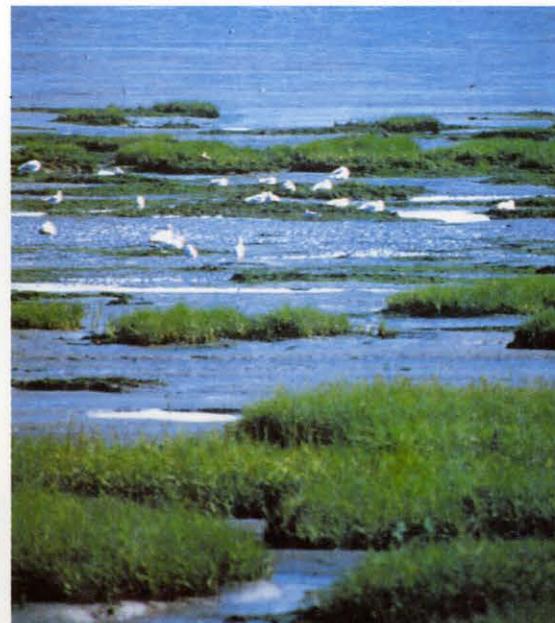
La idea desarrollada consistía en construir una barrera de protección contra el oleaje producido por tormentas a través de la desembocadura del *Eastern Scheldt* a base de 65 pilas-tras (piers) de hormigón colocadas en los tres canales –*Hammen*, *Schaar van Roggenplaat* y *Roompot*– y firmemente ancladas con bloques de piedra, y 62 compuertas de acero que pudieran elevarse o bajar se dispuestas entre las pilas-tras. En condiciones normales las compuertas estarían levantadas de modo que el movimiento de la marea en la ensenada podría mantenerse ampliamente. Las compuertas se bajarían durante las tormentas, cuando se esperaran niveles de agua excepcionalmente altos, represando el *Eastern Scheldt* y protegiéndole del Mar del Norte e impidiendo así que se produjesen inundaciones.

Como la barrera contra tormentas reduciría la marea en alguna medida, sería necesario compartimentar el *Eastern Scheldt* mediante la construcción de presas tierra adentro. Ello reduciría la zona afectada por las mareas, de modo que se mantendría una diferencia suficiente de nivel entre la marea alta y la marea baja, de unos 3,2 metros en Yerseke, lo que era importante para la industria de la pesca. También garantizaba que la ruta de navegación *Scheldt-Rhin* no estaría condicionada por las mareas, tal como había prometido a Bélgica el Gobierno de los Países Bajos. La compartimentación tenía la ventaja adicional de separar el agua dulce de la salada, lo que era deseable para una eficaz conservación ambiental y para la propia gestión del agua. Con ella se formaron lagos periféricos detrás de las presas de Philips, en el noroeste, y de Oester, en el sureste.

Se dragó un canal de descarga, conducente al *Western Scheldt*, para controlar el nivel y calidad de los lagos, y por razones técnicas y ambientales se construyó otro dique más próximo a *Bergen op Zoom*, que dio lugar a que se crease otro lago. La parte final de los trabajos de compartimentación permitió que el canal a través de *South Beveland* fuese apto para el tráfico de gabarras.

La ejecución paso a paso

La barrera contra oleaje producido por tormentas se construyó paso a paso. El lecho arenoso del *Eastern Scheldt*, donde son arras-



El Eastern Scheldt es una zona con una gran riqueza de especies animales salvajes

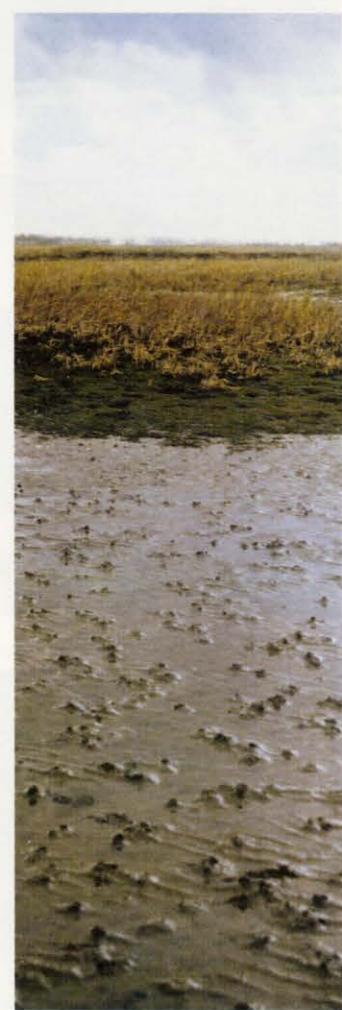


tradas continuamente enormes cantidades de arena cambiando la posición de bancos de arena y canales, exigía una cimentación sólida. El fondo donde deberían asentarse las pilas-tras había de mejorarse. Para ello se depositó sobre el fondo del mar unos "colchones" realizados con bloques de hormigón sujetos a láminas de polipropileno, para proteger la zona donde había que colocar las pilas-tras.

La barrera es muy pesada y el lecho marítimo hubo de ser compactado hasta una profundidad de quince metros utilizando un barco especialmente diseñado para ello, el "Mytilus", que aumentara su capacidad portante, mediante un sistema de vibración por medio de cuatro tubos de acero, que forzaba a salir el agua de entre los granos de arena. El proceso de compactación del fondo duró tres años.

La protección del lecho, su mejora –dragando los estratos de arcillas existentes in situ y sustituyéndolos con arena recubierta de una capa de grava– y su compactación en profundidad no eran, sin embargo, suficientes y hubo que construir una cimentación sobre el fondo reforzado para prevenir que la arena fuera arrastrada por el agua y garantizar que las pilas-tras quedarían asentadas uniformemente.

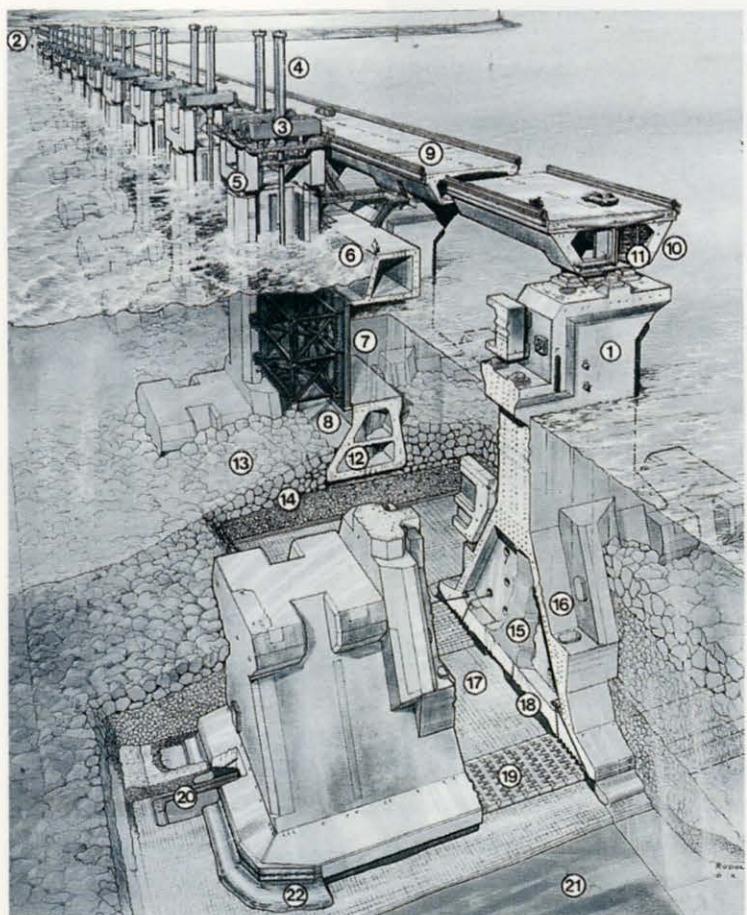
La espina dorsal de la barrera estaba formada por 65 pilas-tras enormes, de 30 a 40 metros de altura y un peso en seco de hasta 18.000 toneladas, que se construyeron en tres grandes dársenas, que se mantenían secas mediante la acción de 320 bombas subacuáticas.



Detalle de la barrera anti-tempestad del Eastern Scheldt

Leyenda

1. Pilastra
2. Presa de marrillo entre las pilas.
3. Viga para la supresión del mecanismo de control de las compuertas
4. Gatos hidráulicos.
5. Elemento superior de la pilastra.
6. Viga superior.
7. Compuerta.
8. Viga inferior.
9. Carretera.
10. Elemento de tablero con dispositivo de control de compuertas.
11. Pasadizo para canalizaciones y conductos.
12. Arena de relleno de la viga inferior.
13. Lecho superior del fondo.
14. Corte del fondo.
15. Arena de relleno del pedestal de la pilastra.
16. Apoyos de las vigas inferiores.
17. Colchón superior
18. Mezcla de cemento, arena y agua.
19. Colchón de bloques de hormigón.
20. Colchón inferior.
21. Subsuelo de la presa (arena compactada).
22. Saco de grava.



Dársenas de construcción de las pilas



Ejecución de una de las pilas



Colocación de una compuerta desde el barco-grúa, Taklift IV





cas. Las pilas, ejecutadas con hormigón pretensado, estaban huecas, y fueron rellenas con arena una vez colocadas en su posición. En construir cada pilastra se tardó un año y medio. Cuando todas las pilas de una dársena se terminaban, ésta era inundada y se abría el dique circundante para que pudieran ser transportadas a uno de los canales de la desembocadura del *Eastern Scheldt*. Esta operación requirió el empleo de barcos no usuales. El "Ostrea" por ejemplo, se diseñó y construyó para levantar las pilas en la dársena de construcción, y transportarlas a los canales y colocarlas luego con gran precisión sobre los "colchones" de bloques de hormigón. El "Macoma" se construyó para amarrar al "Ostrea" mientras colocaba las pilas y para limpiar el sitio inmediatamente antes.

Las pilas se remataban con unos "capuchones" –de 4,3 m a 10 m de altura– hechos de hormigón pretensado que aumentaban su altura y permitían acomodar la estructura de la compuerta. Una vez en posición, eran asimismo rellenos con arena. Los "capuchones" se conectaban entre sí por encima del nivel del agua por medio de otras vigas de hormigón que constituyan el límite superior de apertura de la barrera.

Las compuertas de acero, de 5,9 a 11,9 metros de altura (la mayor de las cuales pesa 480 toneladas), constaban en unas grandes vigas mixtas de chapa de 1 centímetro y tubos de acero y fueron diseñadas para resistir las cargas producidas por diferentes niveles de agua por cada lado y pueden elevarse y bajarse a una velocidad de 3 mm./segundo, con la ayuda de dos cilindros hidráulicos de 21,8 a 34,5 metros de longitud. Para su colocación se utilizó otro ingenio singular, el barco-grúa "Toklift IV".

La barrera contra tempestades tiene que cerrarse por término medio una vez al año, por causa de que el agua alcanza niveles extremadamente altos, y se opera desde el Tops-huis, un edificio de control central que se levanta sobre el Mar del Norte a alguna distancia de la barrera.

El 4 de octubre de 1986 la reina Beatriz declaró oficialmente abierta la barrera del *Eastern Scheldt*.

La construcción de la barrera anti-temporales requirió el diseño y construcción de barcos no usuales. Vistas del Ostrea, Macomo y Taklift



Abel Enguita Puebla
Arquitecto Urbanista