PLAN DELTA

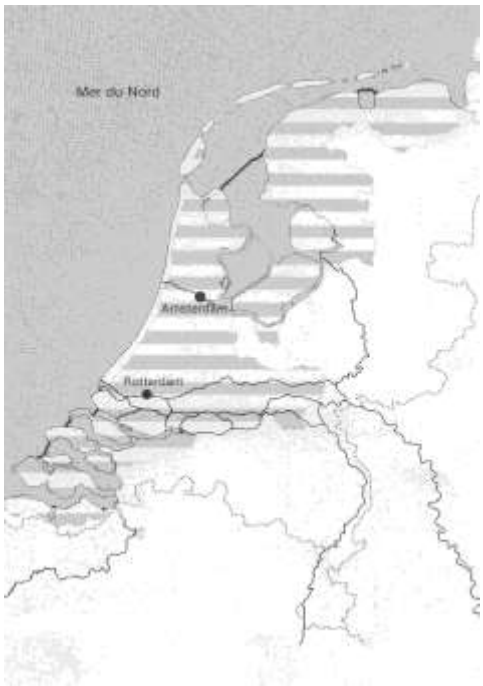
fundación en el mar

Por JORGE **GAJARDO** LILLO *DISEÑO INDUSTRIAL* *VII ETAPA*

Europa

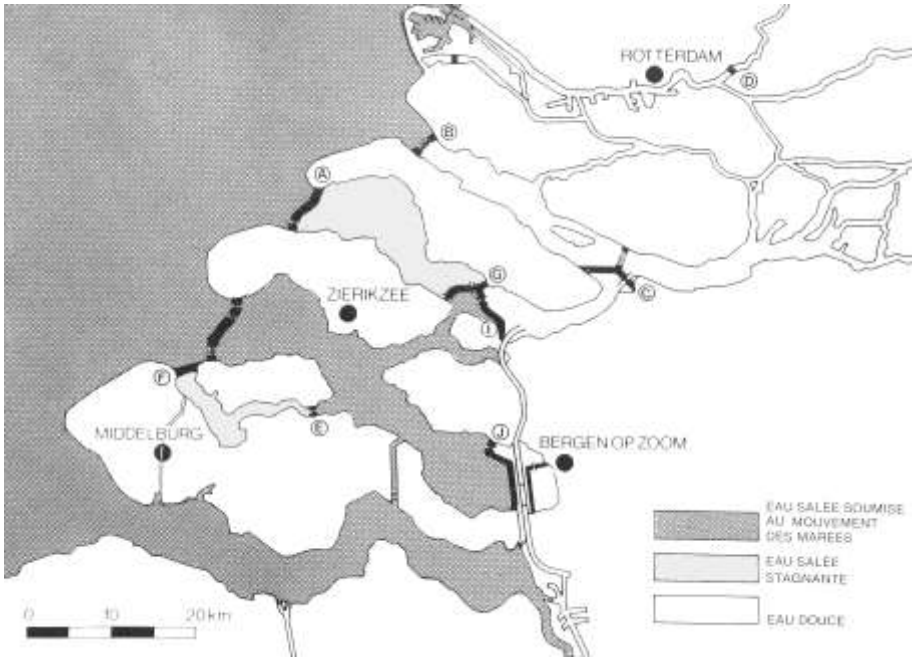
Holanda

Territorio inundable bajo el nivel del mar



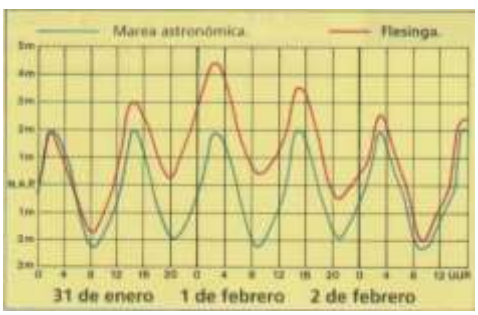
Territorio inundado en las crecidas de 1953

Catastro de aguas dulces y saladas



Holanda *país de agua*

Inundación de 1953



Plan Delta

Barrera de marea en el Hollandse Yssel
1958

Aquí comienza el Plan Delta, con la construcción de la barrera contra tormentas en el Hollandse Yssel, una vía fluvial que a través del río Nieuwe Maas se comunica directamente con el mar, protegiendo así a la región baja de Holanda de las inundaciones.

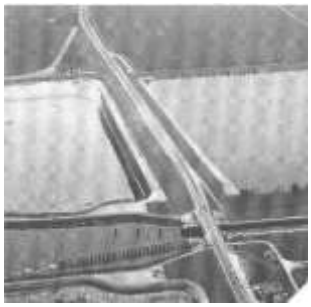
El complejo consta de **4 torres situadas a más 44 metros sobre el nivel del mar (NAP)**, de las cuales cuelgan dos compuertas móviles; una esclusa de cuenco para la navegación y un puente móvil para el trafico terrestre.

En circunstancias normales la barrera cuelga muy por encima del agua sin perturbar la navegación. En caso de mares muy elevadas**, la barrera de 80 mts. de longitud** cierra el paso al río. Los barcos pueden seguir circulando a través de la

esclusa de cuenco.

El dique del Zandkreek
1960

Con la construcción de diques van adelantando las obras del Plan Delta. Primeramente, El llamado proyecto de las tres islas que consiste en unir entre sí las islas de Walcheren y de Beveland Septentrional y Beveland Meridional.



A tal efecto se construye en el Zandkreek, entre las dos islas de Beveland, **un dique de cierre y una esclusa de navegación.**

La obra se inicio en 1959. En mayo de 1960 el dique, que **tiene 830 mts. de longitud**, se cierra mediante el **sistema de cajones de hormigón**.

El dique del Veerse Gat
1961

Cada marea ***arrastra más de 70 millones de metros cúbicos de agua*** por el Veerse Gat.

Se inicia la aplicación de nuevas técnicas: **cajones franqueables al agua** en lugar de en reemplazo de los cajones cerrados que se venían utilizando hasta la fecha.

Estos nuevos cajones están **dotados de compuertas cerrables**, que se colocan sobre un umbral de guijarros en el lugar que se desea cerrar. El agua puede circular libremente. En la bocana de **320 mts. de ancho se han dispuesto 7 cajones** voluminosos (de una **altura comparable a la de un edificio de 7 plantas).**

Al producirse el cambio de marea, momento en que el agua permanece tranquila por poco tiempo, entre flujo y reflujo, se procede a bajar simultáneamente la las compuertas de todos los cajones, quedando así cerrada de una vez la abertura. Sobre los cajones se erige un dique a ritmo acelerado, lanzando arena a chorro.

El cierre del Grevelingen
1965

El cierre del estuario de Grevelingen se inicia en 1958 con la construcción **de un dique de seis kilómetros** entre Schouwen-Duiveland y Goeree-Overflakkee, una esclusa de cuenco y unos puertos cerca de Bruinisse. En el bajío de Oude Tonge se levanta gran parte del dique según el método tradicional de lanzamiento de arena a chorro, quedando todavía dos aberturas por cerrar.

La Meridional de dimensiones **más pequeñas se cerrará con cajones uniformes tras haberse construido un umbral con materiales nuevo: nylon y asfalto colado**. Pero para la bocana mayor del norte se utiliza un método totalmente nuevo: **un teleférico o andarivel con vagonetas desde las cuales se echaran toneladas de piedras.**

Por medio **del teleférico dotado de cables de 9 cm. de diámetro se echan al agua 170.000 tons**. De piedras,

quedando inaugurado en 1965 un nuevo camino para el tráfico.

El dique del Volkerak
1969

Por razones de técnica, gestión de aguas y tráfico, se procede al cierre del Volkerak entre Haringvliet y Hollands Diep. Las obras se inician en 1957 y consiste en varias partes: **un dique sobre los bajíos de Hellegat, -Hellegatsplein- un puente de 1200 mts. sobre el Haringvliet y un gran complejo de esclusas con dique de cierre en el Volkerak.**

El dique en Hallegat se construye totalmente **de arena el Volkerak se cierra con 12 cajones franqueables** en 1969. En tal fecha se hallan en uso las esclusas cerca de Willemstad, como elemento accesorio de la comunicación

Escalda - Rin, de tráfico muy intenso.

El dique del Haringvliet
1971

Para la gestión de aguas y la evacuación del agua superflua del Rin y Mosa se requiere que el dique pueda dar paso al agua. Se invierten 14 años en construir el **dique de 4.5 kilómetros de largo**. Para realizar este objetivo se piensa en un proyecto ingenioso y único en su clase: construir **un complejo de esclusas de descarga con un ancho de afluencia de 1000 mts. y una esclusa de cuenco al lado para la pesca.**

Las 17 aberturas pueden cerrarse tanto del lado marino como del lado fluvial mediante compuertas de acero. **La construcción de las esclusas tiene lugar en una excavación rodeada por un dique periférico** - una especie de pólder- en medio del Haringvliet, tras lo cual se procede al cierre de los canales flujo.

Mientras **las esclusas de descarga se emplean temporalmente como cajones franqueables al agua, se vierten 100.000 bloque de hormigón mediante el método del teleférico.** En 1970 queda ultimado el dique y en 1971 se inaugura la carretera al tráfico

terrestre.

El dique Brouwer
1971

El cierre de **la bocana de 6.5 kilómetros de largo y 30 mts. de profundidad**, Brouwerhavense Gat, entre Goeree y Schouwen se convierte en un ensayo general para la última parte del Plan Delta: el Escalda Oriental.

En el banco poco profundo Kabbelaars y en Middelplaten se levantan diques de arena. El nórdico Spriengersdiep se cierra con cajones franqueables, fabricados con anticipación en un dique de construcción en el estuario de Grevelingen

Para el Brouwerhavense Gat meridional entra de nuevo en acción el método del teleférico. A fines de 1971 queda realizado el dique y se forma el lago de Grevelingen. Diez años más tarde, se construye una esclusa de paso en el dique, de suerte que el contenido de sal con el agua del mar del norte

puede mantenerse a nivel.

La barrera del Escalda Oriental
1986

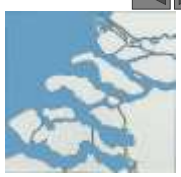
Este es el proyecto más difícil: **un dique de 8 kilómetros** entre Schouwen y Noord-Beveland**. Un brazo de mar con una carrera de marea media de 3 mts. y una profundidad mayor a 40 mts**. Las capacidades de flujo y reflujo ascienden a 1.100 millones de metros cúbicos cada una (el Brouwerhavense Gat 350 millones de metros cúbicos). **En los tres bajíos de poca profundidad se construyen islas artificiales: Roggenplaat, Neeltje Jans y Noordland. Estas dos últimas se unen entre sí mediante un tramo de dique de tres kilómetros.**

En 1973 se habían ultimado aproximadamente 5 kilómetros de dique. En la boca de mar quedaban tres canales principales por cerrar: Hammen, Schaar van Roggenplaat y Roompot. Se concibe cerrarlos mediante el método del teleférico y empleando bloques de hormigón prefabricados.

Apoyadas en el fondo de los canales se erigen torres de acero, entre las cuales han de tenderse los cables para el teleférico. Pero no se llega a tanto, la opinión pública se opone al cierre del escalda oriental por razones de índole ambiental y por la cuestión pesquera. Esto motiva una modificación radical del Plan Delta.

Philipsdam
1987

En medio del Dique se ha **construido un gran complejo de esclusas en una isla de trabajo**. Las dos esclusas para la navegación mercante son adecuadas para embarcaciones de empuje de cuatro unidades. Para los barcos de recreo se ha construido una esclusa aparte.



Para evitar que durante la esclusada, penetre gran cantidad de agua salada desde el Escalda Oriental y vaya a mezclarse con el agua dulce de los lagos Krammer/Volkerak - y a la inversa, se transporte demasiada agua dulce al Escalda Oriental - **el complejo de esclusas ha sido dotado de un sistema de separación de agua dulce / agua salada, basado en el hecho de que el agua salada es más pesada que el agua dulce.**

Durante al esclusada de los barcos, el agua dulce se reemplaza por agua salada del Escalda Oriental, y viceversa. Este sistema se aplica igualmente en las esclusas de Kreekrak para evitar que el agua salobre y contaminada de la zona industrial de Amberes vaya

a dar en el lago de Zoom.

El malecón del Marquesado
1983

Durante la construcción del **malecón que mide 5 kilómetros de longitud**, entre las esclusas Kreekrak y la Molenplataat, se produjo un gran contratiempo. En 1982, el malecón estaba prácticamente terminado, pero **se levantó una tempestad de 3.70 mts + NAP de altura causando una brecha en la estructura.**

Al año siguiente esta brecha quedó ultimada y detrás del malecón del Marquesado ha surgido un lago de agua dulce. La mayor parte de la

superficie continua siendo zona de recreo.

Oesterdam
1986

Se ubica Tholen y Zuid - Beveland**, siendo el dique más largo del Delta con 11 kilómetros de longitud.**

Debido al dique, la comunicación Escalda - Rin queda cortada queda cortada del Escalda Oriental, originándose un pasaje libre de mareas. El trazado del Oesterdam está muy cerca del canal Escalda - Rin. Por ello, la mayor parte de la fosa del Escalda Oriental continua afectada por la acción del flujo y reflujo. Bajo la costa de la isla de Tholen hay una esclusa en el Oesterdam para la pequeña navegación entre el lago Zoom y el Escalda Oriental, Esta esclusa está destinada principalmente a al navegación de recreo y a la la pesca.

La composición del suelo es caprichosa y en

muchos sitios del trazado hay que mejorar el suelo.

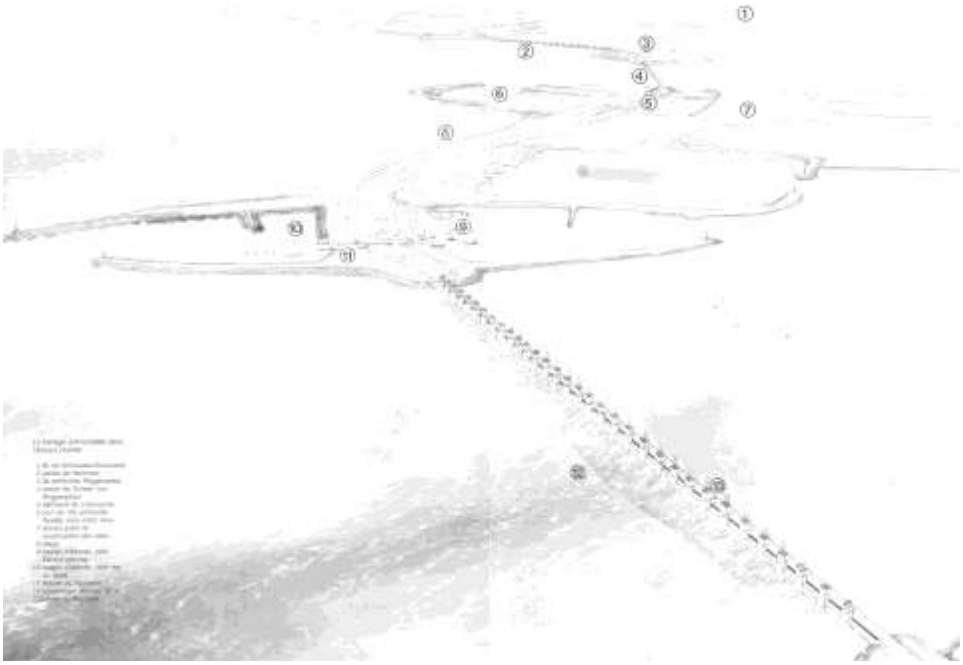
Esclusa de descarga Bthse
1987

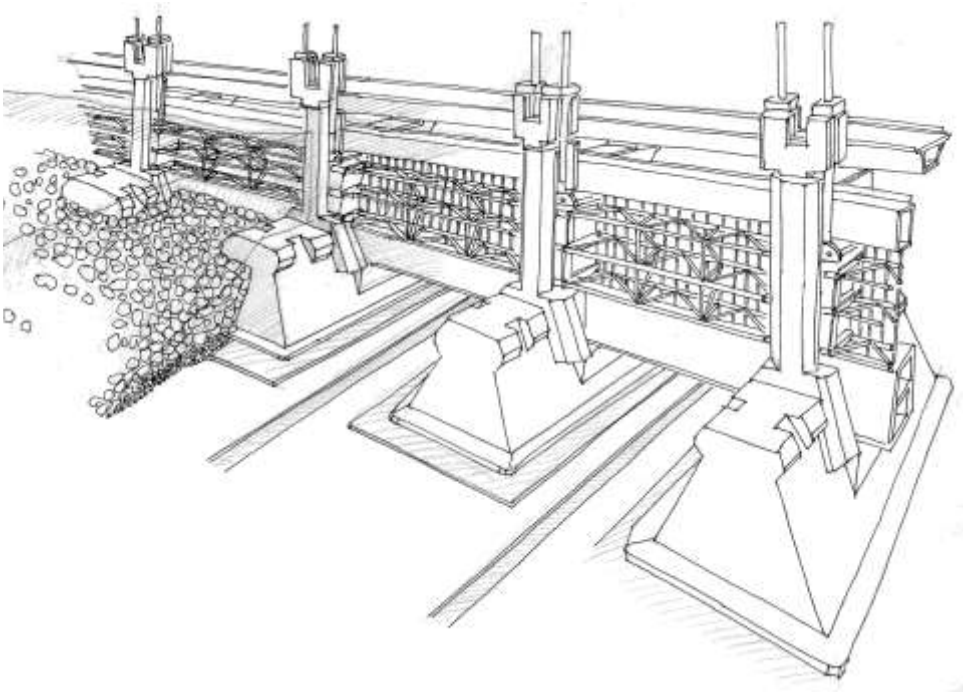
En caso de necesidad se debe poder evacuar el agua de río y el agua de pólder. Para tal fin se ha excavado, a través de la parte más angosta de Zuid - Beveland **el canal de descarga Bathse, que tiene 8 kilómetros de longitud. Corre a lo largo de la comunicación Escalda - Rin y puede evacuar 8.5 millones de metros cúbicos de agua al día.**

Al final del canal, cerca del Escalda Occidental, se halla una esclusa de descarga, consta de galerías de hormigón. La esclusa forma parte de la estructura de defensa contra el mar. Las compuertas de la esclusa han sido fabricadas a fin de poder retener los altos niveles de agua del Escalda Occidental sin que penetre agua salada.

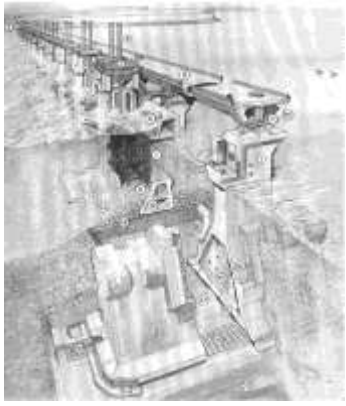
Entre las obras de compartimentación figura también el mejoramiento del canal a través de Zuid - Beveland: nuevas esclusas cerca de Hansweert, ampliación del canal y una desembocadura sin esclusas

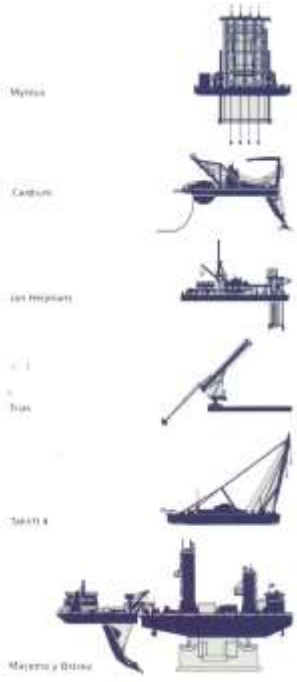
en la vecindad de Wemeldinge.





Construcción paso a paso

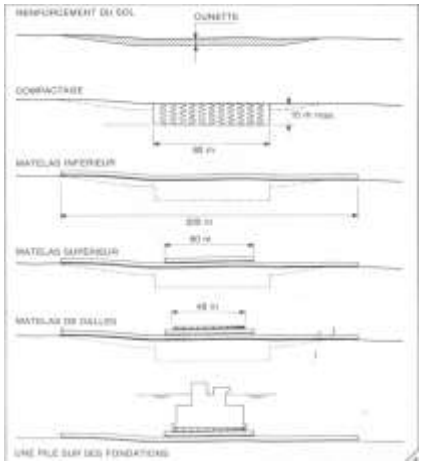


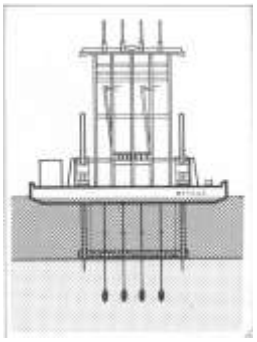


Detalles de la barrera antitempestad.

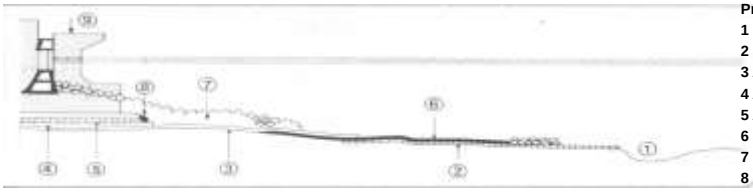
1 Pilar.
2 Dique.
3 Mecanismo de compuertas
4 Brazos hidráulicos.
5 Elemento superior del pilar.
6 Viga superior.
7 Compuerta.
8 Viga inferior.
9 Vía de carretera.
10 Dispositivo de control de compuertas.
11 Galería de comunicación.
12 Sección de relleno (8).
13 Rocas grandes.
14 Rocas pequeñas.
15 Sección de relleno del pilar (1).
16 Asiento viga inferior.
17 Alfombra superior.
18 Sección de cimentación.
19 Alfombra de asentamiento.
20 Alfombra inferior.
21 Subsuelo compactado.
22 Sello de gravilla.

Compactación de suelos





En el lugar donde se ha de colocar la barrera, se mejora el subsuelo, **dragando la arcilla y poniendo arena en su lugar**. Para contrarrestar la socavación causada por la corriente, se coloca encima **una capa de gravilla**. Para aumentar la capacidad de fuerza del fondo **se compacta la arena hasta una profundidad de 15 mts.**



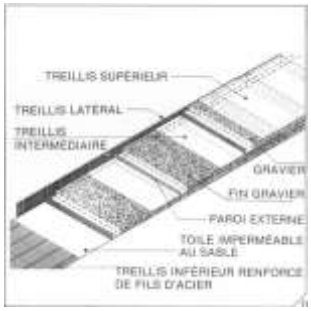
Protección del fondo
1 Fosa de prevención.
2 Bloques de Hormigón.
3 Alfombra de fundación Inf.
4 Alfombra de fundación Sup.
5 Alfombra de asentamiento.
6 Base de asfalto.
7 Rocas.
8 Sello de gravilla.
9 Pilar.

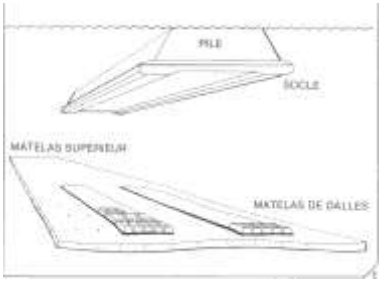
Mytilus

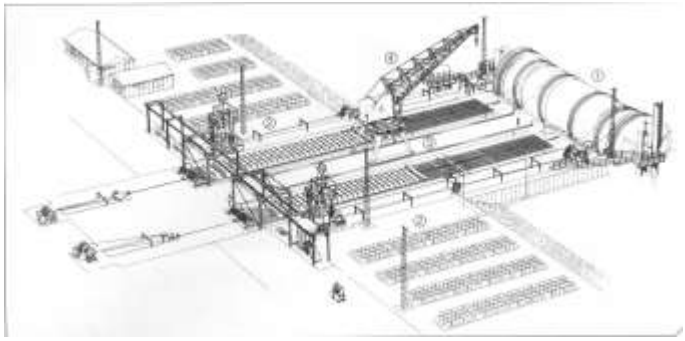
Para realizar al tarea de compactación se utiliza un barco pontón de construcción especial, MYTILUS, el que se encarga de **introducir 4 tubos de acero en el fondo. Haciendo vibrar estos tubos, los granos de arena van juntándose cada vez más entre si. A medida que va eliminándose el agua va compactándose el subsuelo**, evitándose de este modo la formación de arena movediza.

Para obtener un fondo bien compacto es necesario un periodo de 3 años. Sin embargo la protección del fondo, el mejoramiento del subsuelo y la compactación del fondo no son suficientes para asegurar debidamente los pilares. **Sobre este fondo compactado hay que aplicar aún otro subsuelo para evitar que los granos de arena sean llevados por la corriente y para conseguir que los pilares sean colocados en la forma más plana posible**.

Alfombras de material sintético







Fabrica de alfombras de asentamiento.

1 Cilindro.

2 Depósito de bloques de hormigón.

3 Vía de transporte.

4 Grúa para la colocación de los bloques en la alfombra.

Fabricación de las Alfombras

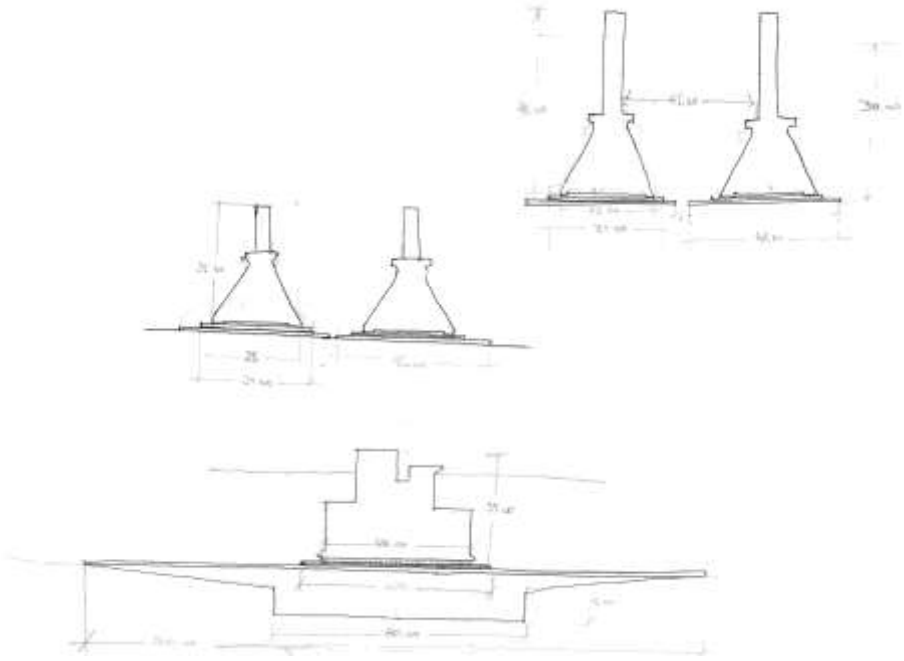
Para formar el subsuelo se emplean alfombras de cimentación que consisten en **material sintético y varias clases de grava**. Tales alfombras son de dos clases: las alfombras **primeras de 200 x 40 mts. y 36 cms. de espesor que se colocan debajo y las segundas alfombras, más pequeñas, de 60 x 31 mts. que se colocan sobre las mayores. De cada clase se requieren 65.**

Una vez fabricadas se enrollan en grandes cilindros flotantes. El cilindro con la alfombra encima se conduce hacia una embarcación de diseño especial, CARDIUM, que se encarga de colocar la alfombra en su lugar.

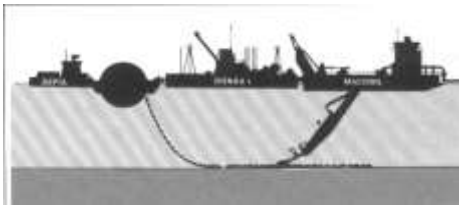
En la parte anterior se encuentra una enorme boca de succión para allanar el fondo. Inmediatamente después se desenrolla la alfombra. La alfombra debe colocarse en el lugar exacto, estando en un brazo de mar turbulento, además el tiempo que se dispone para hundir la alfombra es limitado, ya que deben colocarse durante el cambio de marea, **entre bajamar y pleamar, en menos de una hora.**

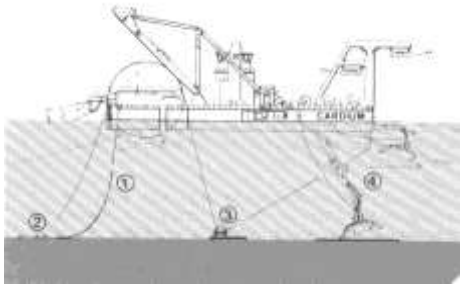
El CARDIUM recibe asistencia del vertedor de piedras y asfalto JAN HEIJMANS. Este barco **mantiene el extremo en que comienza la alfombra en su lugar y rellena con piedras las acanaladuras que hay entre las alfombras.**

Los pilares se disponen a 45 mts de distancia entre si, así que entre las alfombras de 42 mts de ancho quedarán acanaladuras de 3 mts, aquí se colocan las alfombras de fajina, para evitar que las corrientes arrastren las piedras de las acanaladuras. Las alfombras actúan como si fueran una construcción de filtro. Es por eso que deben colocarse varias capas diferentes de arena y de grava.

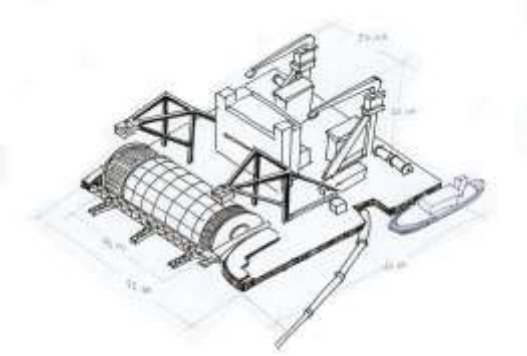


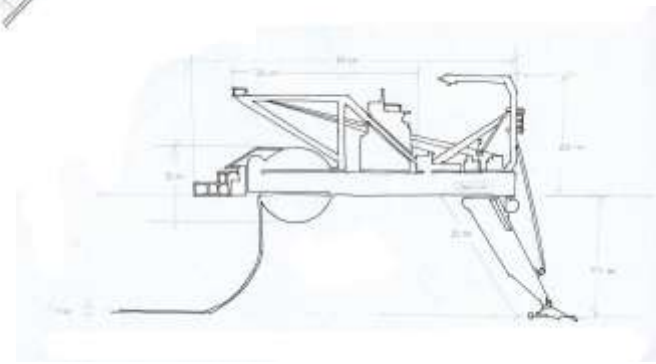
Cardium





1 Alfombra de fundación.
2 Bloque de asentamiento.
3 Bloque de compactación.
4 Boca de succión.



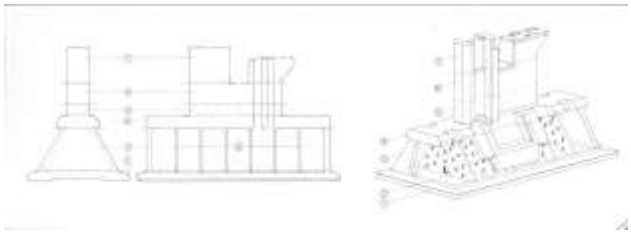


Pilares como una espina dorsal

Diques de construcción:

1 2 3 Los 65 pilares construidos.

4 Bloques inferiores (cajones franqueables).



1 Zócalo.

2 Paredes permeables.

3 Muro exterior.

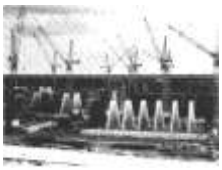
4 Asiento superior de vigas.

5 Elemento Inferior.

6 Elemento Intermedio.

7 Elemento superior.

Construcción de pilares

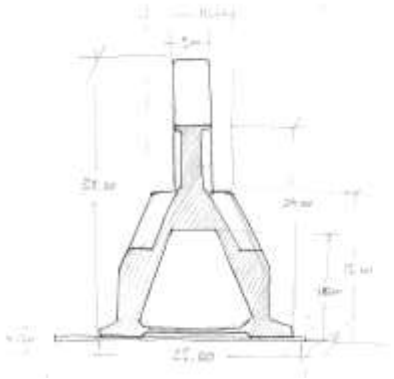


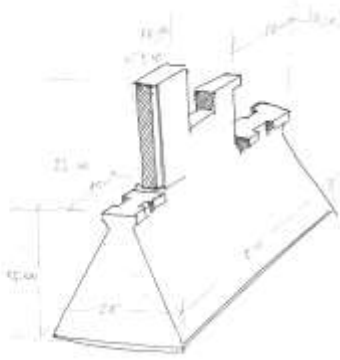
Los 65 Pilares, constituyen la espina dorsal de la barrera. Se edifican en 3 grandes **diques de construcción de 15 mts de profundidad**. Para mantenerlos secos se requiere del funcionamiento de 320 bombas sumergibles.

Se trata de construcciones **de hormigón, de 30 a 40 mts de altura y un peso seco de 18.000 tns como máximo**. Una central de hormigón propia suministra en cuatro años 450.000 m3 de material. Los pilares son huecos; **una vez colocados en su lugar se rellenan con arena**. No son construcciones lisas puesto que están dotadas de numerosos nichos o compartimentos huecos para poder fijar entre los pilares los demás elementos de hormigón de al barrera y las compuertas de acero.

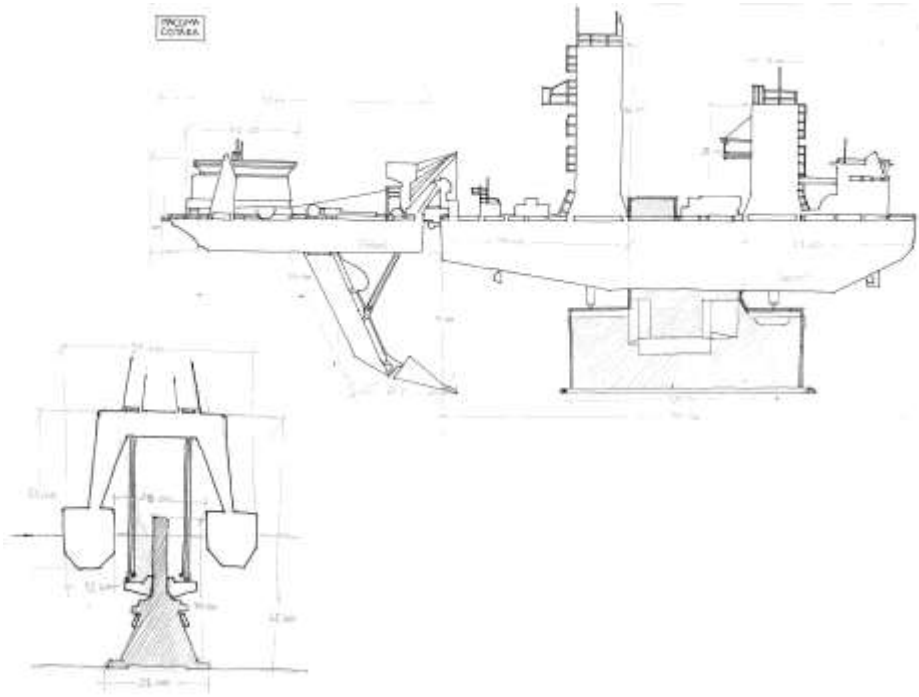
La construcción de cada pilar tarda algo menos de un año y medio en llevarse a cabo, no se dispone más que de 4 años, la solución está en la fabricación en serie; cada dos semanas se inicia la construcción de un nuevo pilar.

Para limitar su peso **se hacen de hormigón pretensado.**

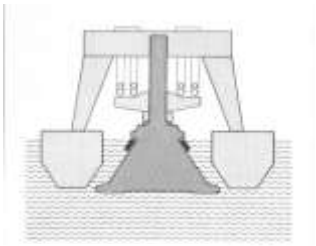




Ostrea y Macoma

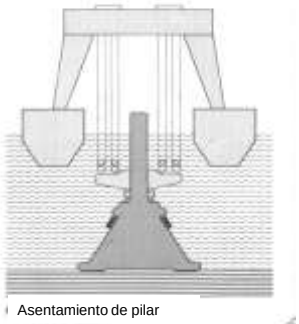


Traslado de los pilares



Transporte de pilar

Itinerario del traslado de los pilares.

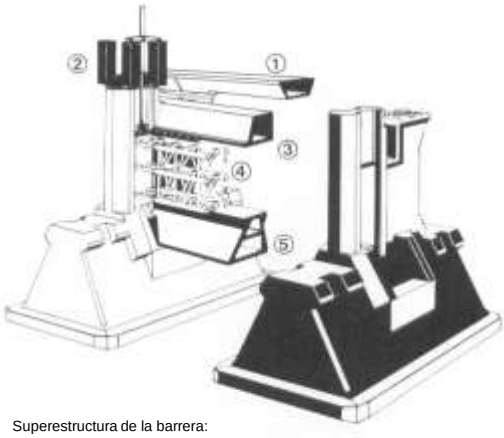


Asentamiento de pilar

Cuando ya han quedado terminados todos los pilares en un dique de construcción, éste se sumerge y se procede al dragado del dique. Los pilares están listos para ser conducidos hacia uno de los tres canales de la boca del Escalda Oriental. Apareciendo 2 embarcaciones excéntricas OSTREA y MACOMA, **el primero se encarga de levantar los pilares de los diques de construcción, transportarlos al canal y colocarlos con gran precisión sobre las alfombras. Para el anclaje de este barco elevador de pilares y para la limpieza del lecho de cimentación se construyó el Macoma**. La colocación de los pilares se realizará en el cambio de marea, esta fase del proyecto tardará un año en realizarse.

Ahora corresponde llenar el espacio que media entre la base del pilar y las alfombras de cimentación**. El relleno se hace con una mezcla de arena, cemento y agua**, este momento es clave para que los pilares queden perfectamente unidos a la cimentación. Después de esta operación puede aumentarse la estabilidad rellenando la parte inferior con arena. A fin de evitar que se causen deterioros a los pilares se aplican capas protectoras de hormigón. Unos sacos de piedras y asfalto, con un peso de 30 a 40 tons, protegen las bases de los pilares. Y esto se requiere porque cada pilar se empaqueta en un umbral de piedras y gijarros.

Asentamiento del pilar



Superestructura de la barrera:

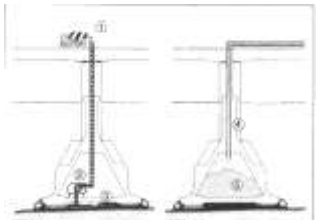
1 Vía carretera.

2 Elemento superior del pilar.

3 Viga superior.

4 Compuerta de acero.

5 Viga inferior.



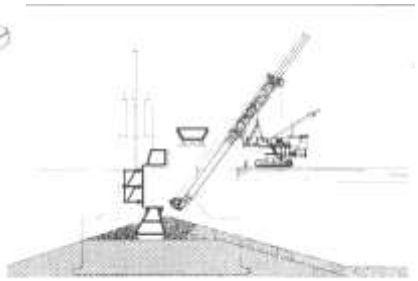
1 Descarga de mezcla.

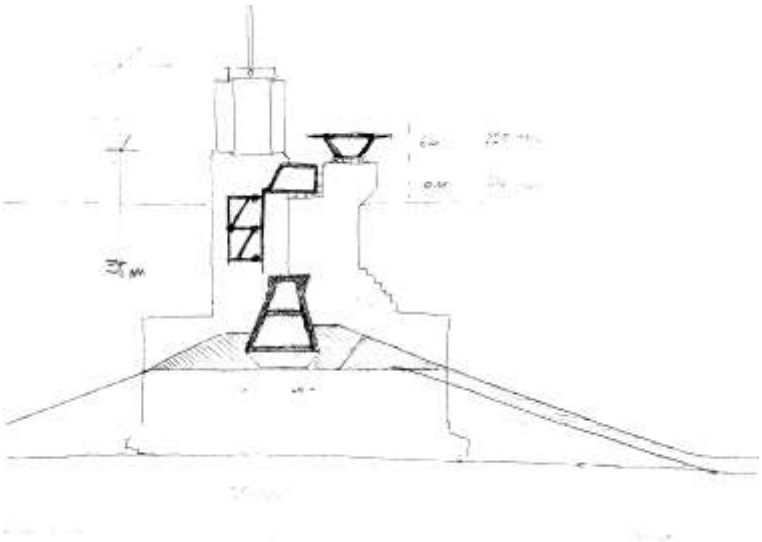
2 Bomba.

3 Llenado de sección.

4 Descarga de arena.

5 Deposito de arena.





Faena de Rocas

Con la construccuón de un umbral se logra aumentar la estabilidad de los pilares, asi mismo las piedras cierran mejor la desembocadura del Escalda Oriental, ya que lo que se pretende es dejar abierto solo el espacio de las compuertas.

En la parte inferior del umbral se colocaron piedras livianas y encima piedras de mayor peso incluso de 10.000 kilos.

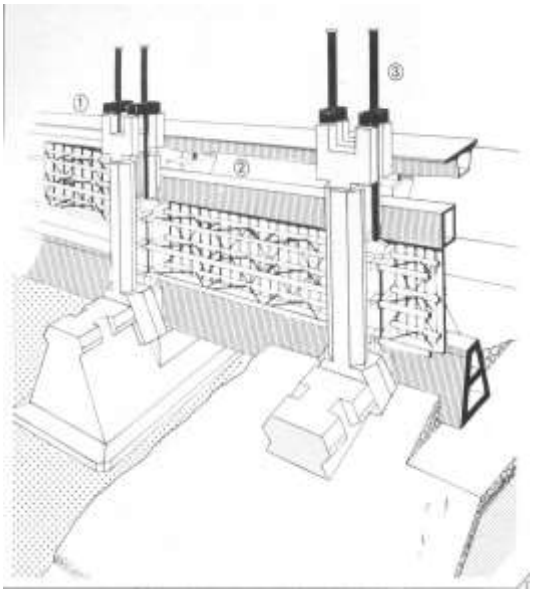
El umbral se edifica empleando 5.000.000 de toneladas de piedra natural, como esta clase de piedras no se encuentran el Holanda se deben traer por barco desde Alemania, Finlandia, Suecia y Belgica durante 4 años

Trias

Las pierdras de pesos mayores no puedren ser vertidas en forma suelta debido al riesgo de dañar los pilares; por ello se construyó un barco vertedor de baja altura, el TRIAS.

Esta embarcación está dotada de una gran grua con un brazo corredor largo que deposita las piedras pesadas en el lugar exacto que se desea.

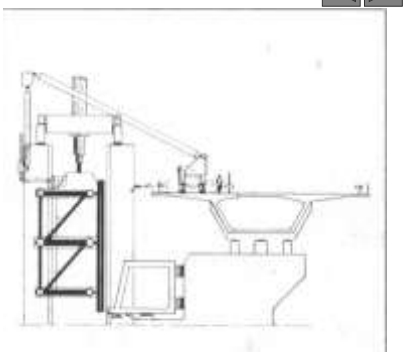
Armado de la Superestructura



1- Mecanismo de elevación de compuertas.

2- Cierre antitempestad.

3- Brazo hidráulico de alzamiento.



El orden de la superestructura comprende:

Galerias de tráfico,

Pilotes para los pilares,

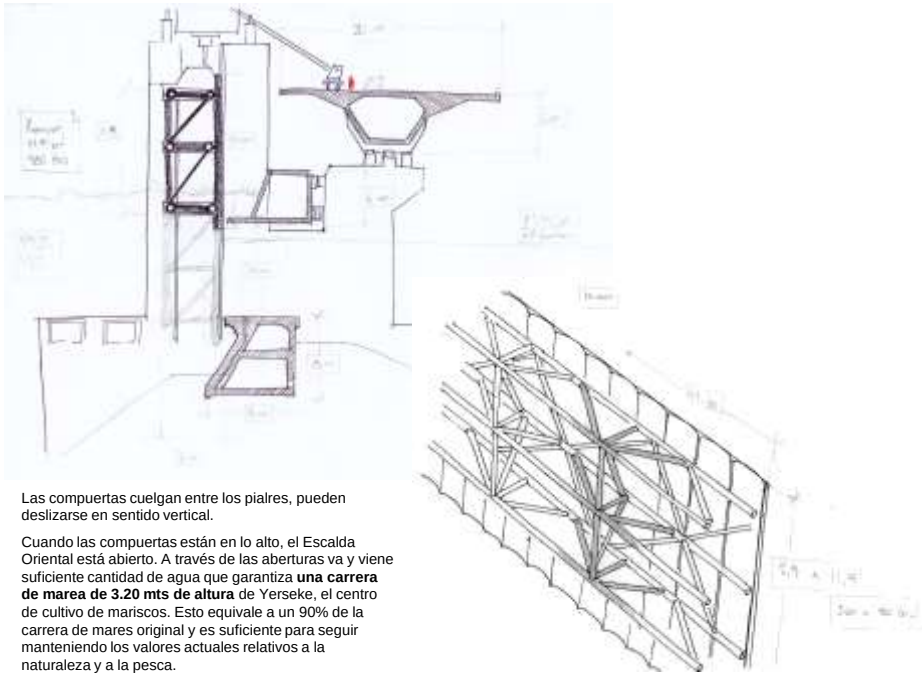
Compuertas,

Vigas de umbral y

Vigas superiores.

Las galerias de tráfico hechas de hormigón, de 45 mts de largo, se colocan sobre los pilares. Por encima de las galerias corre una carretera. Las galerias se cuelgan en su lugar con la ayuda de una cabria TAKLIF 4. Por dentreo son huecas y en su interior se instalan los instrumentos y equipos de propulsión y de mando para mover las compuertas.

Taklift IV

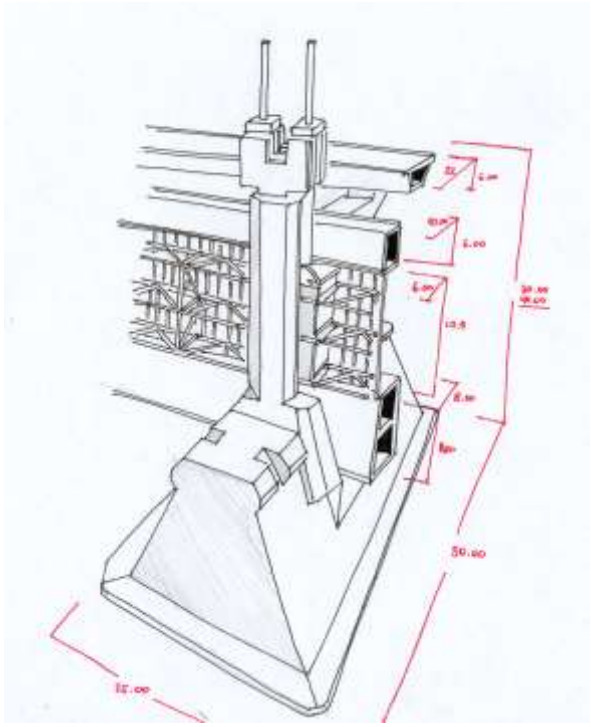


Las compuertas cuelgan entre los pialres, pueden deslizarse en sentido vertical.

Cuando las compuertas están en lo alto, el Escalda Oriental está abierto. A través de las aberturas va y viene suficiente cantidad de agua que garantiza **una carrera de marea de 3.20 mts de altura** de Yerseke, el centro de cultivo de mariscos. Esto equivale a un 90% de la carrera de mares original y es suficiente para seguir manteniendo los valores actuales relativos a la naturaleza y a la pesca.

Instalación de compuertas

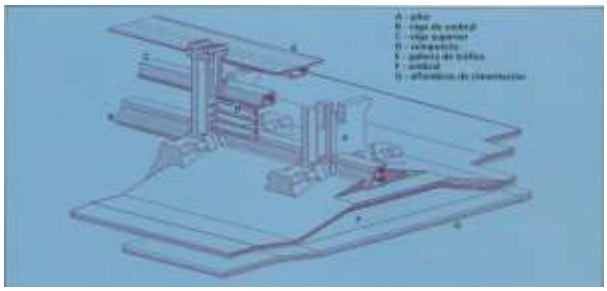
Sobre los pilares se instalan pilotes de hormigón pretensado que sirven para elevar los pilares en el lugar donde han de colgar las compuertas. **La altura de las 124 vigas en T oscila entre 4.3 y 10 mts y su peso varia entre 250 y 450 tons. Las vigas de umbral unen los pilares bajo el agua. Las 62 galerias huecas que mide 39 mtss de largo, 8 mts. de alto y 8 mts. de ancho**, se fabrican en un dique de construcción. Después de colocada entre los pilares, donde las velocidades de las corrientes van haciendose cada vez mayores, dedido a que las aberturas de las corrientes son cada vez mas estrechas, las vigar de umbral se rellenan de arena



Barreras contra tormentas

Las compuertas de acero tiene por misión detener el agua del mar del Norte en caso de malas condiciones atmosféricas, la altura de **las compuertas varia, según la altura en que estén colocadas, de 5.9 hasta 11.9 mts en la brecha de cierre más profunda, Roompot, se halla tambien la compuerta mayor de 480 tons**

Resultados finales



La barrera de marea ha sido construida para obtener una mejor protección contra los ataque s del mar y al mismo tiempo para conservar el medio ambiente valioso y único en su clase que allí existe. Esto determina también el alto grado de gestión de la barrera.

Las compuertas de acero estan abiertas la mayor parte del tiempo posible. El punto de partida que se adopta es: Cerrar la barrera en caso de que el pronostico de un nivel de agua elevado exceda un limite determinado (el nivel de cierre). Este ha sido establecido en el flujo marcado por el mareógrafo de Amterdam (NAP) + 3.25 mts.