

# APLICACIONES EN PUERTOS, BAHIAS Y MUELLES

Colchones de Concreto  
Encapsulado **HYDROTEx**<sup>®</sup> para la  
Protección contra la socavación



Somos Synthetex® un equipo dedicado de pensadores enfocados en soluciones que diseñan y fabrican formaletas textiles técnicas para prevenir la socavación, controlar la erosión y proteger la infraestructura en tierra, en agua y bajo el mar. Fabricado localmente, enviado globalmente y llenado con concreto en el lugar de su proyecto, nuestra formaleta textil ofrece una instalación más económica, segura y fácil que los métodos tradicionales de roca y concreto prefabricado. Entendemos que los equipos encargados de proyectos de control de erosión y socavación necesitan, en última instancia, más que un producto y más que un aliado. Quiere un proveedor de soluciones que esté igualmente comprometido con el éxito de su proyecto. Es por eso que los miembros de nuestro equipo se convierten en los miembros de su equipo, desde la identificación de la solución hasta la instalación exitosa por el bien de su proyecto, por el bien de su negocio y por el bien de nuestro mundo.



## Tabla de contenido

### Valor de HYDROTEX

Propuesta de Valor.....	3
Atributos Clave.....	5
Desafíos de Diseño.....	6
Soluciones HYDROTEX.....	7

### Concreto Encapsulado HYDROTEX

Metodología de Diseño.....	8
Métodos de Diseño de Nivel de Cubierta.....	10
Ríos	
Vías Navegables	
Instalación	
Disposición y Preparación del Sitio	
Instalación	
Especificaciones del Producto.....	16
Sección Uniforme.....	17
Bloque Articulado	
Punto de Filtro	
Fabricación	

Apéndices.....	28
----------------	----

## Leyenda de Iconos

**AB** Bloque articulado (BA)

**FP** Punto de filtro (PF)

**EM** Enviromat (EM)

**US** Sección uniforme (SU)



## El valor que te brindamos

Entendemos que las empresas encargadas de proyectos de protección contra la socavación, control de erosión y refuerzo de infraestructura necesitan más que una solución de productos, e incluso más que un socio comercial. Desean una empresa que se convierta en miembro de su equipo, que también esté enfocada en el éxito de su proyecto y su negocio.

Somos los inventores, diseñadores y fabricantes de HYDROTEX®, un sistema de formaleta textil, de doble capa con control de espesor interno y opciones de fabricación diseñadas para enfrentar los desafíos hidráulicos y de contención propios del entorno de su proyecto. Las personalizaciones incluyen la capacidad de articular, proporcionar alivio de presión hidrostática, aumentar la resistencia a la tracción, la adición de herrajes especializados para el llenado, refuerzo o posicionamiento de paneles, y adaptación para ajustarse a áreas con curvas o formas inusuales.

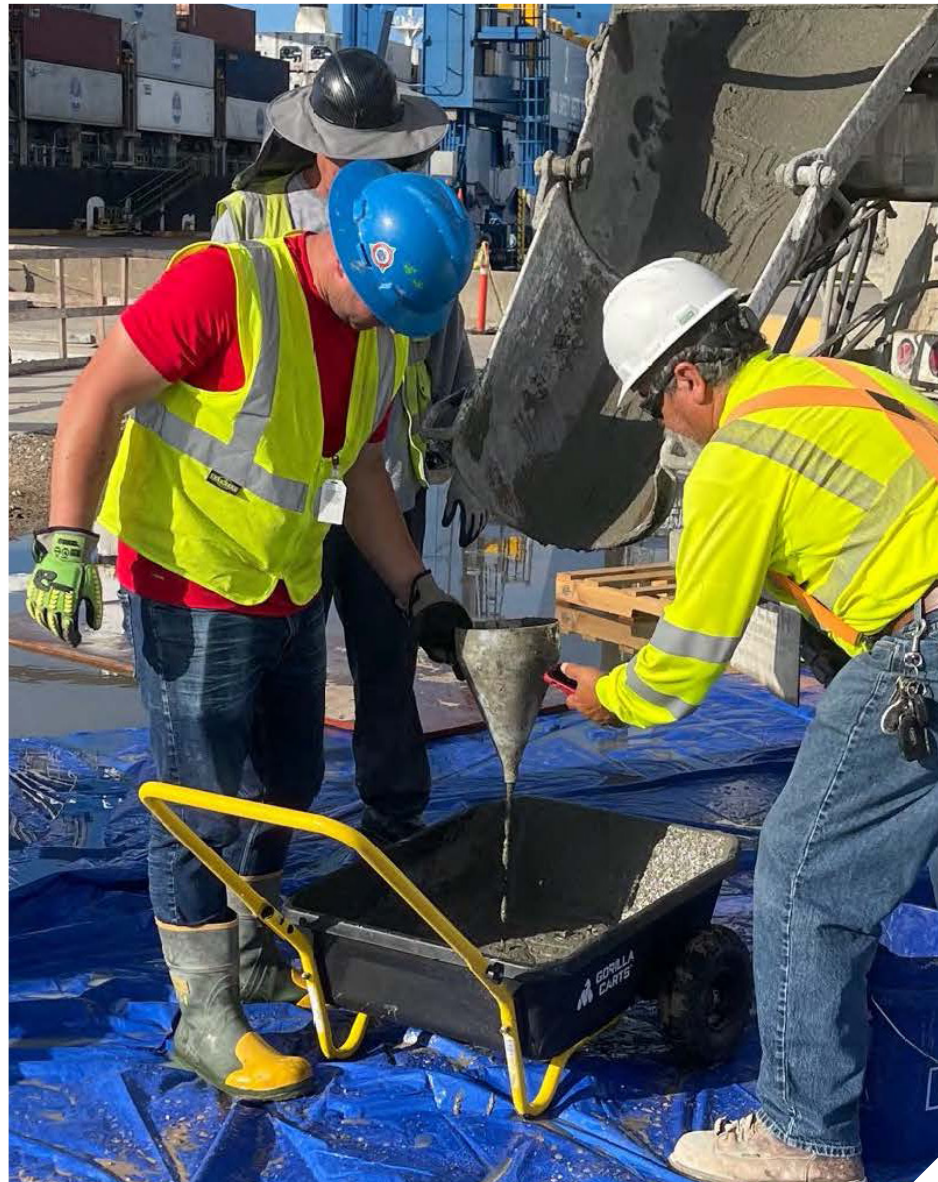
Como su proveedor integral, mantenemos la continuidad a lo largo de todo el proceso, desde el diseño de soluciones hasta el envío de productos. Ser tanto el diseñador como el fabricante también genera ahorros significativos para nuestros clientes, especialmente en comparación con las firmas de consultoría de diseño que no tienen capacidades internas de fabricación. Sumado a 4 semanas de capacitación y soporte complementario en sitio, es fácil ver cómo Synthetex ofrece un valor tremendo para los negocios de nuestros clientes.

**Nuestra motivación es lograr una solución exitosa y una instalación adecuada, no simplemente una transacción de productos. Es por eso que nuestro equipo te brinda apoyo en todo, desde la identificación de soluciones hasta la formación técnica y soporte en campo, en beneficio de tu proyecto, de tu negocio y del bienestar del mundo**





**“ Conocer a nuestro equipo es el primer paso para lograr soluciones colaborativas duraderas.”**



Hoy en día, los dueños de puertos e ingenieros buscan soluciones alternativas a la protección convencional contra la socavación y revestimiento con escollera. Los colchones de concreto encapsulado han marcado la diferencia en la facilidad de instalación, calidad, costo de instalación y seguridad, al entender cómo integrar de la tecnología de formaletas, métodos de diseño y la fabricación para crear la solución en concreto.

Los lectores comprenderán mejor cómo el enfoque de diseño y los productos desarrollados por Synthetex funcionan de manera cohesionada para beneficiar a los dueños de puertos, ingenieros y demás partes involucradas.

Este folleto presenta la aplicación ampliamente aceptada de sistemas de concreto con formaleta textil y metodologías de diseño para los dueños de puertos, ingenieros y contratistas. Los lectores conocerán cómo la experiencia en proyectos, las metodologías de diseño, los productos y las capacidades internas de tejido y fabricación de Synthetex proporcionan soluciones basadas en un enfoque orientado al cliente y centrado en el cliente para la prevención y revestimiento contra la socavación con soluciones en concreto.

Conocer a nuestro equipo es el primer paso para lograr soluciones colaborativas duraderas.



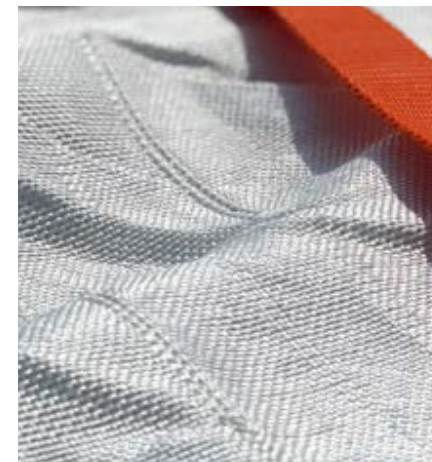
## Formaleta textil HYDROTEX

### Atributos Clave para Aplicaciones



**Diseñado a medida para adaptarse y soportar entornos portuarios.**

Nuestro equipo de ingeniería considera pilotes, obstrucciones y áreas de formas especiales o curvas en su diseño para que cada panel sea fabricado a medida para encajar en el área exacta donde será instalado.



**Los colores de la tela mejoran la visibilidad bajo el agua.**

Las formaletas textiles HYDROTEX® son de color blanco brillante con sujetadores de color naranja brillante, lo que facilita que los buceadores vean los paneles bajo el agua.



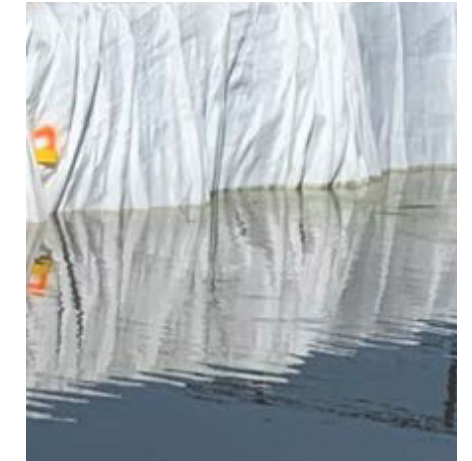
**Articulación creada con estructura interna de cables**

Para zanjas de anclaje y topografía que requieran articulación, diseñamos HYDROTEX® con nuestro patrón de Bloques Articulantes (AB) con cables internos unidireccionales o bidireccionales que conectan los bloques adyacentes.



**Mayor resistencia incorporada**

Las formaletas textiles HYDROTEX® están tejidos con hilos de poliéster de alta resistencia y alta tenacidad, lo que los hace más duraderos y menos susceptibles a desgarros o enganches en entornos portuarios.



**formaleta diseñado para facilitar el despliegue bajo el agua.**

Sumergir la formaleta se realiza fácilmente con HYDROTEX® debido a su construcción de hilos de poliéster. Esto elimina la flotación no deseada asociada con formaletas hechos con una combinación de hilos de polietileno (PET) y nailon (PA).



**Incluye capacitación y soporte en sitio.**

Se incluyen 4 semanas de capacitación en la instalación y soporte técnico en sitio sin costo adicional, porque entendemos cómo este servicio facilita una instalación exitosa.





## Soluciones HYDROTEX (lista parcial)



**AB** **Autoridad Portuaria de Canaveral**  
Terminales 7, 8 y 9  
Puerto Canaveral, EE. UU.  
Bloque Articulado (AB)  
50,000 m<sup>2</sup>



**AB** **Malecón Ben Choeman**  
Ciudad del Cabo, Sudáfrica  
Bloque Articulado (AB)  
y Sección Uniforme (US)  
43,000 m<sup>2</sup>



**AB** **Autoridad Portuaria de Arica**  
Arica, Chile  
Sección Uniforme (US) y  
Bloque Articulado (AB)  
17,000 m<sup>2</sup>



**AB** **Autoridad Portuaria de Houston**  
Terminal 2  
Houston, EE. UU.  
Bloque Articulado (AB)  
25,000 m<sup>2</sup>



**AB** **Puerto de Moín**  
Limón, República de Costa Rica  
Bloque Articulado (AB)  
y Sección Uniforme (US)  
43,000 m<sup>2</sup>



**AB** **Puerto de Jeddah**  
Jeddah, Arabia Saudita  
Bloque Articulado (AB)  
y Sección Uniforme (US)  
23,100 m<sup>2</sup>



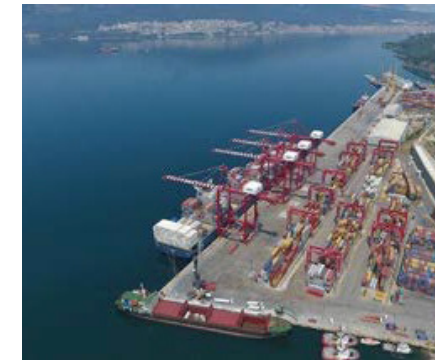
**US** **Autoridad Portuaria de Israel**  
Nuevo Terminal de Contenedores  
Haifa, Israel  
Sección Uniforme (US)  
54,000 m<sup>2</sup>



**AB** **Maersk Vado Ligure**  
Vado Ligure, Italia  
Sección Uniforme (US)  
31,000 m<sup>2</sup>



**AB** **Autoridad Portuaria de Canaveral**  
Terminal 1  
Puerto Canaveral, EE. UU.  
Bloque Articulado (AB)  
20,000 m<sup>2</sup>



**AB** **Puerto Bolívar**  
Ecuador  
Bloque Articulado (AB)  
47,033 m<sup>2</sup>



**AB** **Terminal de GNL Buckeye**  
Corpus Christi, EE. UU.  
Sección Uniforme (US) y  
Bloque Articulado (AB)  
42,000 m<sup>2</sup>



**AB** **Protección del muelle del Puerto de Lomé**  
Lomé, Togo  
Sección Uniforme (US) y  
Bloque Articulado (AB)  
6,500 m<sup>2</sup>



**US** **Puerto de Walvis**  
Muelles 1 y 2  
Walvis Bay, Namibia  
Bloque Articulado (AB)  
5,000 m<sup>2</sup>



**AB** **Puerto de Durban**  
Muelle 2  
Durban, Sudáfrica  
Bloque Articulado (BA)  
5,000 m<sup>2</sup>



## Soluciones HYDROTEX (lista parcial)





## Tipos de Embarcaciones

Dependiendo de su carga, las embarcaciones se pueden dividir en varias categorías, clases y tipos, algunas de las cuales se muestran a continuación. Las tres categorías más grandes de embarcaciones son contenedores, graneleros y petroleros, que a su vez se pueden dividir en clases y tipos más precisamente definidos. Así, los petroleros se pueden dividir en petroleros de petróleo, petroleros de gas y petroleros químicos, pero también hay combinaciones, por ejemplo, petroleros de petróleo/químicos. Esto proporciona solo un esbozo general. En realidad, hay muchas otras combinaciones, como "Transportadores de contenedores a granel multipropósito



Buque de Crucero



Buque Portacontenedores de Gas Natural Licuado (GNL)



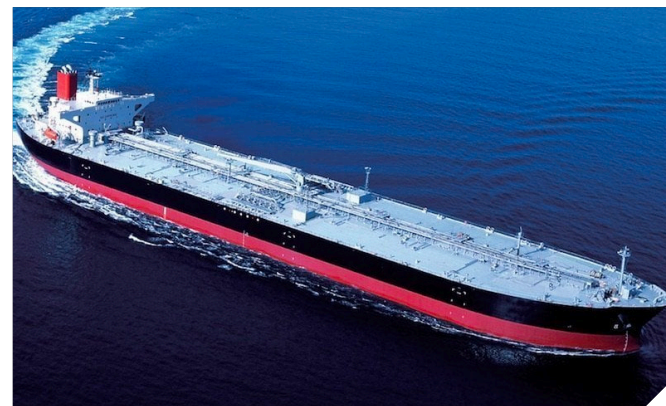
Buques de Carga a Granel



Ferry de Chorro



Buque Contenedor



Buque Tanque

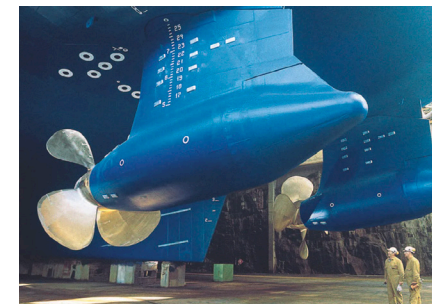


## Sistemas de Propulsión



Las capas de cobertura de concreto encapsulado HYDROTEX® ofrecen resistencia a los chorros de alta velocidad de la hélice principal y la propulsión de proa, así como a aquellos inducidos por las olas generadas por el viento y las estelas de los barcos.

Los barcos han ido aumentando en tamaño y profundidad, y la potencia instalada de las hélices principales y las hélices de proa resultantes ha aumentado. Estos cambios mejoran la maniobrabilidad de los barcos, pero también dan lugar a velocidades de flujo inducido más altas en las hélices principales y las toberas de las hélices. Los muelles portuarios deben diseñarse para estas velocidades extremas con el fin de evitar la socavación del fondo, la erosión de la pendiente y el fallo de las estructuras de ataque.



Hélice Principal y Azipod



Propulsor de Proa



Chorro de Agua

Aunque la socavación del lecho y la erosión de la pendiente ocurren cerca de las estructuras de ataque debido a las corrientes naturales, son especialmente vulnerables a la acción de la hélice de la embarcación. Especialmente durante el atraque y desatraque, las fuerzas erosivas en el lecho marino frente al muelle o en la pendiente debajo del muelle pueden ser sustanciales. La acción de la(s) hélice(s) de la embarcación es un factor erosivo principal debido a las velocidades del chorro resultantes, que pueden alcanzar hasta 8 m/s cerca del fondo en comparación con la corriente de marea, que suele estar limitada a alrededor de 1 y 2 m/s. Las corrientes de la hélice se deben a:

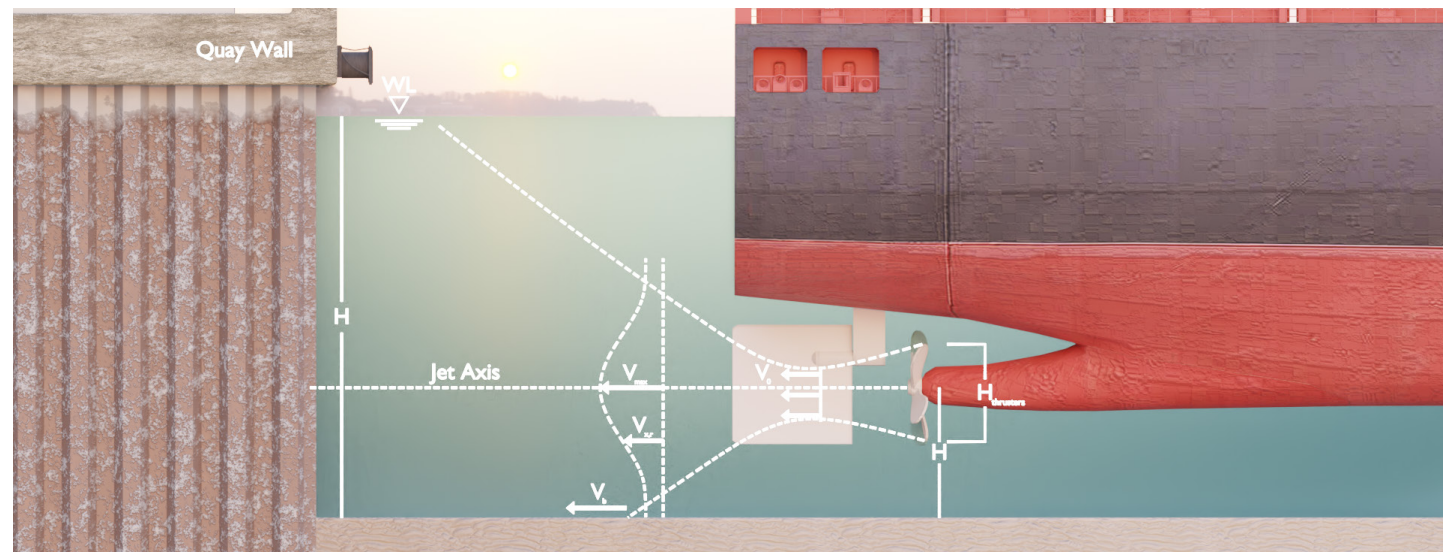
- La hélice principal o de popa (o 'hélice') que causará un chorro inducido directamente detrás de la hélice, dirigido por el timón.
- Las hélices de propulsión lateral, que se encuentran transversalmente a la línea longitudinal de la embarcación, comúnmente ubicadas en la proa y ocasionalmente en la popa.

Los impactos, como la erosión del fondo causada por la hélice principal de la embarcación, dependen de muchos factores que pueden ser diferentes en cada situación. Típicamente, con fines de diseño, la condición predominante ocurre cuando la hélice está más cerca del fondo, es decir, cuando la embarcación está cargada y la marea está en su punto más bajo. El uso de los motores principales y las hélices de las embarcaciones puede variar considerablemente en las operaciones de atraque y desatraque. Estas a su vez pueden depender de factores como el uso del muelle, los flujos de carga, la situación física local en relación con la marea, la corriente y el viento, así como las costumbres, regulaciones, disponibilidad de remolcadores, etc., del puerto local.





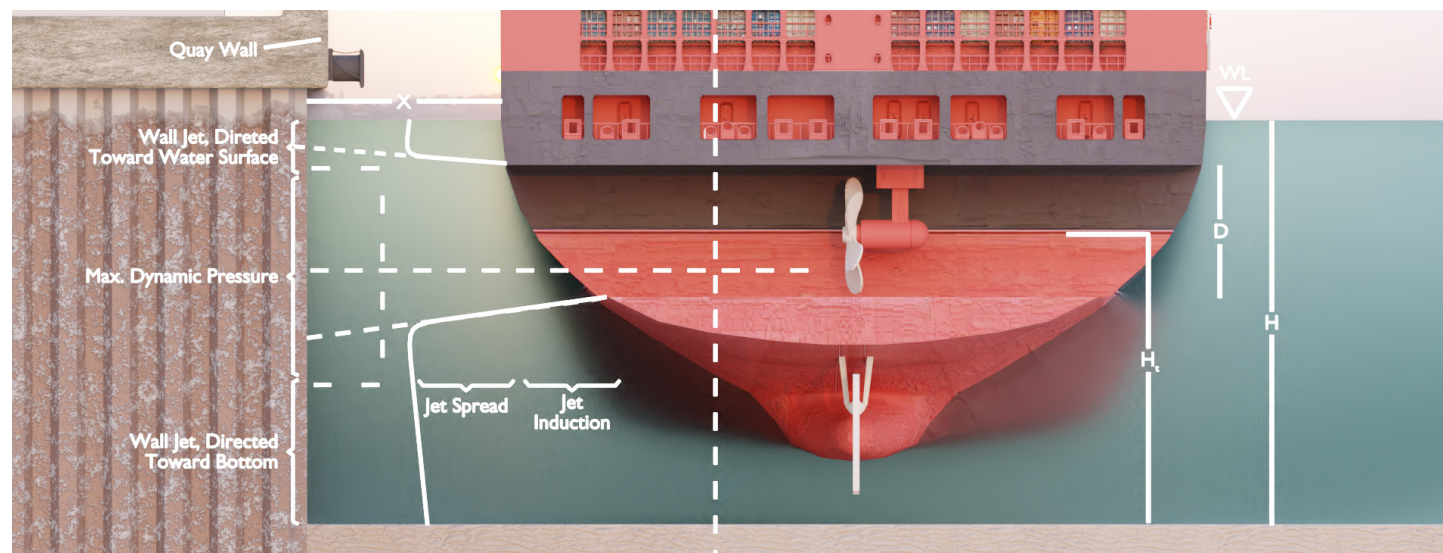
## Dinámica de Sistemas de Propulsión



La figura a continuación proporciona definiciones para los chorros de la hélice principal, sin timón, y muestra las características relacionadas con el lavado. Las diversas velocidades se describen mediante la siguiente ecuación general. El chorro se disipa a lo largo del eje del chorro y radialmente lejos del eje del chorro.

Para un timón en la mitad de la embarcación detrás de una hélice principal, el chorro se divide en corrientes inferior y superior desde la embarcación. El Método Holandés se utiliza para determinar la velocidad del fondo debido al chorro de la propulsión.

$$U_0 = C_3 \cdot \left[ \frac{f_p \cdot P_{max}}{\rho_w \cdot D_p^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$



Igual que el chorro de la hélice principal, la velocidad del chorro de la propulsión se disipa axial y radialmente con la distancia desde el eje inferior, donde el barco está más allá de la influencia de un muelle sólido. A medida que el chorro de la hélice principal se aleja de la embarcación, la velocidad es

$$U_{Bottom} = \alpha_L \cdot 1.9 \cdot U_0 \cdot \frac{D_T}{L}$$



## Estructuras de Muelle

Numerosos factores influyen en la selección de un tipo estructural sobre otro. Evalúe cada uno de estos factores en relación con los costos de construcción y operación de la instalación antes de tomar una decisión final sobre el tipo estructural. Haga mayor hincapié en seleccionar el tipo que resistirá fuerzas inesperadas de atraque/ amarre, condiciones meteorológicas e hidrológicas adversas y los efectos corrosivos de un entorno marino riguroso, de modo que requiera poco o ningún mantenimiento. Las características geotécnicas de un sitio dado y el análisis económico de los tipos estructurales alternativos a menudo dictarán los requisitos estructurales. Por ejemplo, en áreas con suelos cercanos de mala calidad pero con buen soporte en el extremo para pilotes, una estructura soportada por pilotes abiertos con un muro de contención bajo (o sin muro de contención) será la más económica. Por otro lado, en áreas con suelos cercanos de buena calidad pero con bajo soporte para pilotes, un muro de contención sólido puede ser más económico. Considere los impactos ambientales al seleccionar el tipo.

### Estructura sólida de muelle

En la construcción de muelles sólidos, se construye una pared sólida con una cara frontal vertical a lo largo de la cara de atraque, y el espacio entre la parte trasera de la pared y la costa se llena con material dragado adecuado o tierra excavada. Las paredes de bloque, cajones y contrafuertes en la construcción marina requieren dragado para formar una plataforma estable y la formación de una base de piedra sobre la cual colocar las unidades respectivas. El dragado generalmente se realiza mediante agarre, succión con cortador o succión de remolque, y suele ser realizado por un subcontratista especializado. El levantamiento topográfico del dragado debe ser controlado mediante GPS diferencial con tolerancias estrictas. Luego, la plataforma o excavación en el lecho marino se cartografiaría mediante sonar multihaz para producir un conjunto de planos y secciones transversales que se compararán con los requisitos de los planos de construcción.

### Estructura de Muelle Abierto

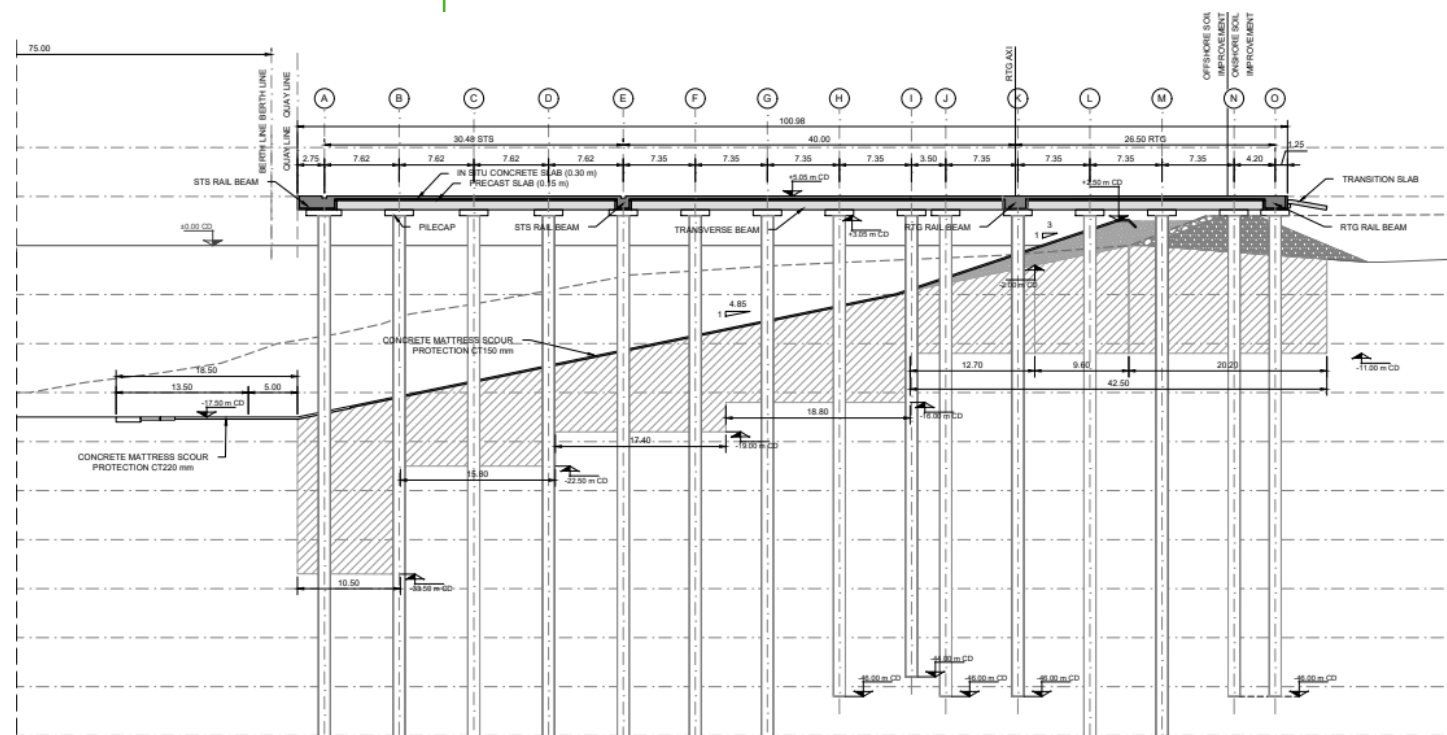
La construcción de muelle abierto implica la creación de una cubierta que soporta carga, sostenida por pilotes de apoyo que se extienden desde la cara de atraque hasta la línea de costa. La cubierta suele construirse en hormigón armado y se apoya en pilotes de acero o hormigón armado. Una capa de colchones de concreto de sección uniforme o bloques articulados protege la pendiente bajo la cubierta contra la erosión y el delantal del pie de la pendiente contra la socavación. Los muelles de muelle abierto pueden construirse de una de tres maneras:

- Convencional
- Plantilla
- Jack-up

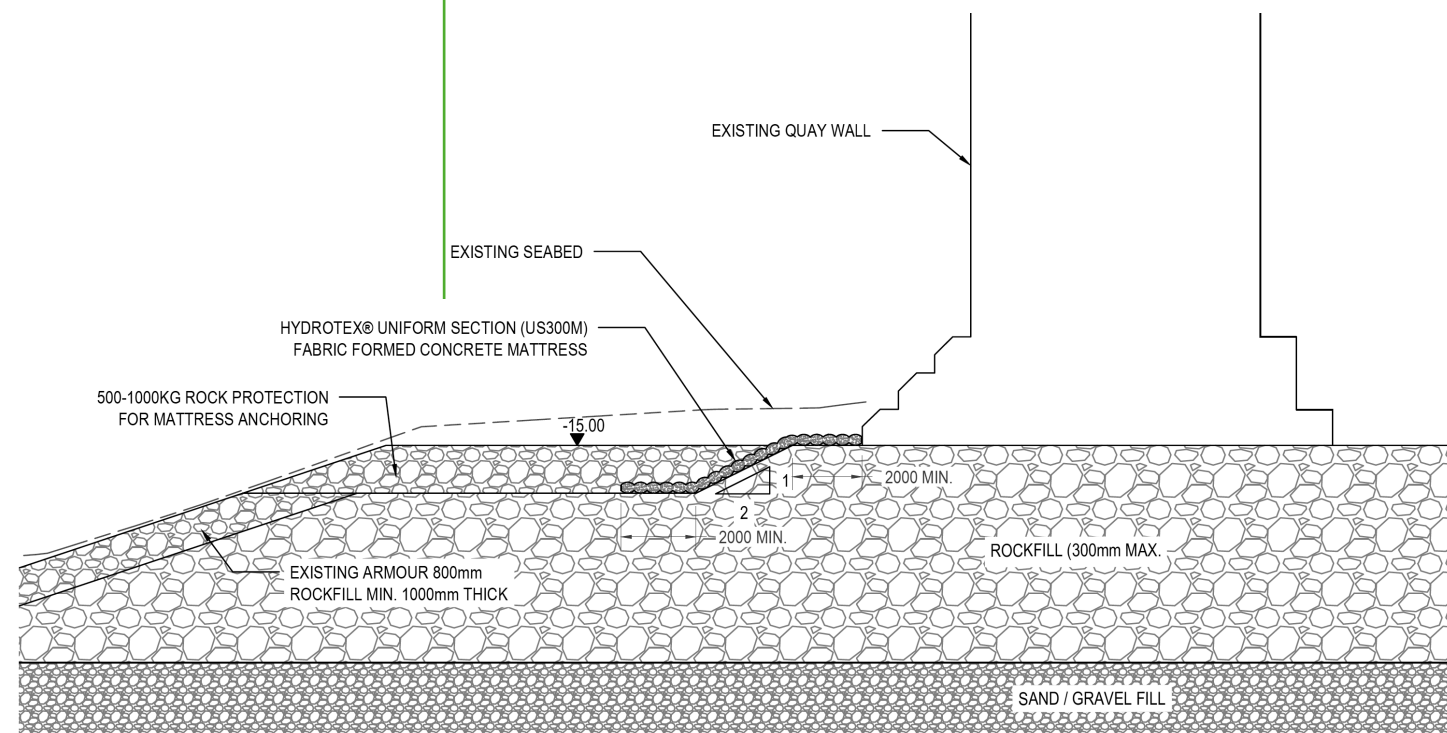




## Estructuras de Muelle



Sección transversal abierta de muelle con talón descendente



Sección transversal sólida de muelle con talón descendente



## Sistemas de colchones de Concreto Encapsulado Sección Uniforme, Articulado y Punto de Filtro



Revestimiento de Sección Uniforme Hydrotex

Las formaletas HYDROTEX® se han utilizado como formaleta para el concreto en muchas aplicaciones de control de erosión y prevención de socavación. Se unen dos capas de tela para formar una envoltura que se inyecta con una lechada fluida de árido fino para producir una capa superior de concreto duradero con el espesor especificado. Los tipos de concreto encapsulado incluyen Punto de Filtro, Banda de Filtro, Sección Uniforme, Bloque Articulado y bolsas de textil rellenas de concreto. El propósito de esta sección es familiarizar al ingeniero de diseño con los tipos distintivos de recubrimientos con colchones de concreto encapsulado, e introducir los conceptos y metodologías de diseño para la selección adecuada del tipo y el espesor de la formaleta textil para resistir de manera efectiva las fuerzas erosivas asociadas con las olas y las corrientes. También se aborda la instalación de sistemas de revestimiento con concreto encapsulado.

El tejido HYDROTEX está compuesto por hilos sintéticos formados en una formaleta textil tejida. Los hilos utilizados en la fabricación de la tela están hechos de poliéster o aramida.

Los sistemas de concreto encapsulado HYDROTEX® se han utilizado en instalaciones de construcción civil en todo el mundo, muchos de ellos en condiciones y lugares remotos muy severos. En el proceso, han establecido un punto de referencia en la protección contra la erosión y la socavación al superar el recubrimiento tradicional de pendientes con concreto, bloques de concreto prefabricado (ACB), gaviones y escolleras.

Sección transversal de concreto encapsulado que muestra el flujo del concreto y la estructura





## Características del Sistema

Proceso de relleno de Colchón de  
Concreto Bloque Articulado



### Bajo costo: Formaletas económica:

Bompear concreto de agregado fino en la formaleta textil HYDROTEX hará que el formaleta adopte la geometría más eficiente para soportar el peso de la capa de concreto de cobertura. La formaleta no necesita refuerzos adicionales aparte del soporte directo del subsuelo. La función clave de la formaleta es controlar la geometría y deformación de la misma para lograr la forma y el grosor requeridos.

### Mejora en la calidad del concreto:

La naturaleza porosa de la formaleta textil ayuda en el proceso de curado y reduce los defectos en la superficie del concreto. El exceso de agua y aire puede salir a través de la tela. Las imperfecciones y porosidad de aire se reducen con mejoras en la textura y apariencia de la superficie. La densidad, resistencia y durabilidad del concreto en la superficie también se mejoran.

### Formaleta estructuralmente eficiente:

La formaleta textil se puede utilizar para producir elementos con secciones transversales variables que cambian tanto en profundidad como en amplitud para seguir los principales esfuerzos. La cantidad de concreto utilizada y, por lo tanto, el peso propio de la estructura, puede reducirse considerablemente en comparación con las secciones transversales rectangulares convencionales, como el revestimiento tradicional de pendientes con concreto.

### Acabado:

La superficie del concreto es controlada directamente por la naturaleza y textura del textil. El rango de superficie, textura y tono está regido por la superficie, textura y permeabilidad del textil.

### Conexión:

En cualquier proceso de construcción, la continuidad de las superficies es esencial. El diseño de cualquier instalación implica el establecimiento de las secciones clave donde la precisión es fundamental, como las conexiones entre los paneles de formaleta. Se han desarrollado diversas técnicas de conexión y ensamblaje.



## Ventajas del Sistema

Proceso de llenado del colchón de Concreto  
Bloque Articulado



### Adaptación a los Contornos de la Subrasante

Las formaletas HYDROTEX llenadas en el sitio (in-situ) permiten adaptarse a contornos irregulares, curvas, subrasantes, pendientes y banquetas en el momento en que son llenadas. En consecuencia, el subrasante y la protección de concreto están en contacto directo, reduciendo la posibilidad de socavación.

### Trabajo de Movilización Sencillo

La formaleta textil HYDROTEX es liviana, por lo que puede ser enviado rápidamente a cualquier parte del mundo. El componente "pesado" del sistema, el concreto de agregado fino, está fácilmente disponible en proveedores de concreto en todo el mundo. Una vez que el sitio esté preparado, solo se necesitan herramientas manuales simples, una bomba de concreto y una manguera para llenar la formaleta. En áreas de acceso difícil o restringido, el concreto puede ser bombeado a la formaleta desde distancias de hasta 800 pies (250 metros). Independientemente del tamaño del trabajo, la facilidad de movilización, transporte y la reducción de requerimientos de equipo y mano de obra significan que el trabajo avanza más rápido y a un menor costo por unidad cuadrada de área protegida.

### Facilidad de Instalación

Un equipo pequeño puede encargarse de la instalación del concreto encapsulado y la formaleta se puede instalar sin desaguar el sitio. Los formaletas textiles HYDROTEX se entregan en el lugar de trabajo listos para ser llenados y no requieren materiales adicionales de formaleta. La instalación consiste en preparar el área, colocar la formaleta y llenarla con concreto de agregado fino a través de un línea de suministro de concreto y una manguera. No se requiere formaleta de madera ni de acero.

### Compatibilidad Ambiental

El formaleta textil HYDROTEX está diseñado para generar el menor impacto ambiental posible. Las capas de tela de la formaleta actúan como filtros, permitiendo que el exceso de agua de la mezcla escape mientras retienen los sólidos de cemento y la arena.

### Amplia gama de Soluciones en Concreto Encapsulado

Construido con tejidos de alta resistencia diseñados, la formaleta textil HYDROTEX® se presenta en una variedad de tipos de formaleta. Cada tipo ha sido diseñado para ajustarse a un conjunto específico de parámetros de producto, lo que permite al ingeniero especificar diferentes tipos y espesores para adaptarse a diferentes condiciones del sitio. Los revestimientos y las capas protectoras de colchón HYDROTEX se utilizan para crear sistemas de protección contra la erosión y la socavación que van desde zanjas de drenaje hasta revestimientos de acondicionamiento de ríos, y desde estanques hasta embalses. Las Unidades de Protección Hydrocast® son estructuras de concreto monolítico utilizadas para la construcción de delantales de escorrentía de presas hasta grandes bloques de lastre. Todo lo cual se puede instalar por encima o por debajo del agua.





## Tpos de Productos **HYDROTEX**

Los productos de formaleta textil HYDROTEX® tienen la resistencia de las opciones tradicionales de roca y concreto prefabricado, al mismo tiempo que ofrecen una instalación más fácil, segura, personalizada y asequible.

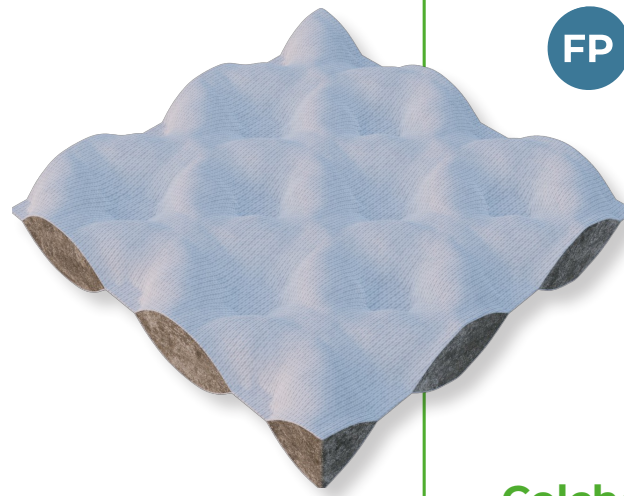
### Colchón de Concreto Bloque Articulado (AB)



**AB**

La formaleta Bloque Articulado, una vez llenada, se convierte en un colchón de concreto compuesto por bloques rectangulares en forma de almohada. Los perímetros entrelazados entre los bloques funcionan como bisagras para permitir la articulación. Los cables permanecen incrustados en los bloques de concreto para unirlos y facilitar la articulación. Se logra un alivio de la presión hidrostática mediante las bandas de filtración formadas por los perímetros entrelazados de los bloques.

### Colchón de Concreto Punto de Filtro (AB)

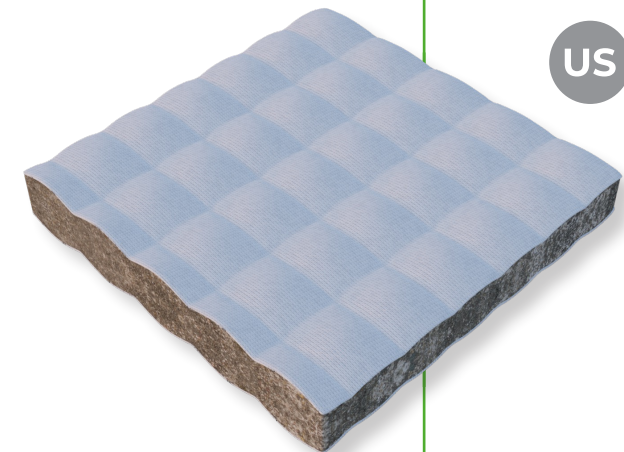


**FP**

El formaleta Punto de Filtro, cuando es llenada, se convierte en un colchón con una superficie acolchada con depresiones en puntos de filtración (drenajes) a intervalos regulares para proporcionar un revestimiento de concreto resistente a la erosión y permeable al agua, con un coeficiente relativamente alto de fricción hidráulica para reducir la velocidad del agua y el impacto de las olas.

El espaciado de los puntos de filtración determina el grosor y peso del revestimiento, mientras que los puntos de filtración especialmente diseñados alivian la presión hidrostática y reducen el estrés aplicado a la formaleta textil durante el bombeo.

### Colchón de Concreto Sección Uniforme (AB)



**US**

La formaleta Sección Uniforme, cuando es llenada, se convierte en un colchón de concreto de espesor constante, con una superficie de patrón empedrado. El espesor y el peso del revestimiento están controlados por cordones separadores. Los cordones se entrelazan entre las dos capas de tela, en pares paralelos, de modo que los cordones en la capa superior e inferior se crucen entre capas en puntos de descenso.



## Enfoque de Diseño



La documentación técnica preparada por Synthetex, LLC, para cada proyecto, incluye un "Informe de Evaluación del Colchón de Concreto" que contiene un análisis de los efectos de la propulsión de embarcaciones utilizando métodos de evaluación disponibles, velocidades máximas de diseño calculadas para el equipo de propulsión de la embarcación, configuración del tipo de muelle y geometría del fondo y/o pendiente. También se calcula la velocidad de efusión a partir de la configuración de potencia asumida o proporcionada para un escenario de desastre descrito.

Se han utilizado formulaciones empíricas más convencionales y/o aquellas con fundamentos de pruebas de modelos. El rendimiento de la propulsión principal y de la hélice se predice en función del grosor de la hélice previsto del colchón de agregado fino de concreto para la extensión de cobertura mostrada en los planos adjuntos. Se han tenido en cuenta varias referencias en el cálculo de las velocidades de diseño detrás de las hélices y las hélices laterales.

Antes de iniciar un contrato de "Evaluación Preliminar de Colchón de Concreto", se requieren los planos del contrato y las dimensiones clave de diseño de las embarcaciones y datos de propulsión





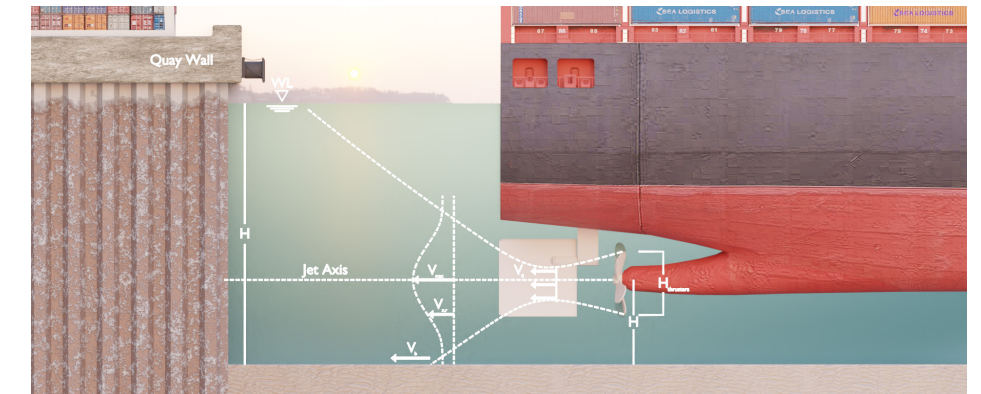
## Dimensiones clave de la embarcación y parámetros de propulsión



Parámetros		Embarcación 1	Embarcación 2	
Capacidad	TEU	19,000	-	
Longitud total (Loa)	m	400	40	
Anchura (B)	m	58.6	13	
Calado (T)	m	16	5.5	
Hélices principales:				
Potencia total instalada	kW	56,800	5,400	
Número de hélices	-	1	2 x 2700 kW	
Diámetro de la hélice	m	10.0	3.0	3.0
Altura de la hélice	m	-	-	1.8
Tipo de hélice	-	Libre / no conductora con timón	Propulsor de azimuth	Voith Schneider
Distancia entre las hélices	m	N/A	N/A	N/A
Distancia de la punta de la hélice a la quilla	m	0.5	-	-
Propulsores de proa				
Potencia total instalada	kW	2,500		
Número de propulsores	-	2		
Diámetro del propulsor	m	2.8		
Tipo de hélice		Con tobera		
Distancia entre propulsores	m	-	-	
Distancia de la punta del propulsor a la quilla	m	2.5		
Longitud de la tobera del propulsor	m	7.3		



## Distribución de Velocidad



This figure shows the wash characteristics, the various velocities are described by the following general equations

La evaluación analiza dos tipos de chorros generados por sistemas de propulsión y sus efectos en la estructura del muelle.

1. Hélice principal
2. Propulsores laterales transversales

### Teoría General de Propulsión

Las embarcaciones que utilizan propulsores y propulsión principal para maniobrar hacia y desde un muelle generarán velocidades en la línea de fango que inducen al material del fondo a ser socavado y transportado o redepositado dentro del área del muelle y a lo largo de cualquier pendiente submarina circundante. La pendiente de la línea de fango y las velocidades del fondo promediadas en el tiempo se pueden calcular en tres pasos básicos:

1. Velocidad de salida en la hélice;
2. Velocidad a lo largo del eje de la hélice y con la distancia desde la hélice; y
3. La distribución de la velocidad dentro del lavado con la distancia desde la hélice.

En principio, todos los métodos de cálculo se basan en la teoría del disco actuador, asumiendo que el chorro de la hélice puede considerarse como un chorro libre sumergido que sale de un orificio hacia un fluido infinito y utilizando las ecuaciones relevantes para la zona de flujo establecido:

$$U_{axis} = \frac{1}{2C} \cdot U_0 \cdot (D/x)$$

y

$$\frac{U_{x,r}}{U_{axis}} = \exp\left[-\frac{1}{2C^2} \frac{r^2}{x^2}\right]$$

Donde:

- $U_{axis}$  = velocidad de flujo en el eje del chorro (m/s)
- $U_0$  = velocidad de salida (m/s)
- $U_{x,r}$  = velocidad de flujo en el chorro en la ubicación x, r (m/s)
- $D$  = diámetro del chorro al inicio (m)
- $x$  = distancia horizontal desde la salida del chorro (m)
- $r$  = distancia radial desde el eje del chorro (m)
- $C$  = coeficiente (-)





Para un timón situado a media nave detrás de una hélice principal, el chorro se divide en corrientes inferior y superior. El eje del chorro inferior se dispersa debido a la desviación hacia abajo en un ángulo vertical de aproximadamente 12 grados, cuando el barco está más allá de la influencia de un muelle sólido.

### Ecuación General para la Velocidad de Salida de la Propulsión Principal

Basándose en las ecuaciones desarrolladas por las fórmulas de Albertson, se ha derivado la distribución del flujo para las hélices

$$U_0 = C_1 f_n n_{max} D_p \sqrt{K_T}$$

(sin timón)

y

$$U_{x,r} = A \left(\frac{D_p}{x}\right)^a U_0 \exp\left(-\frac{1}{C_2^2} \cdot \frac{r^2}{x^2}\right) f$$

(timón, confinamiento)

donde:

- $U_0$  = velocidad de salida (m/s)
- $U_{x,r}$  = velocidad de flujo en la ubicación x, r (m/s)
- $f_n$  = porcentaje del número máximo de revoluciones (-)
- $n_{max}$  = número máximo de revoluciones (s-1)
- $D_p$  = diámetro de la hélice (m)
- $K_T$  = coeficiente de empuje o relación adimensional entre la fuerza propulsora, número de revoluciones y diámetro de la hélice (-)
- $r$  = distancia radial al eje de la hélice (m)
- $x$  = distancia a la hélice (m)
- $C_1, C_2$  = coeficiente
- $A$  = coeficiente
- $a$  = exponente

Las fórmulas solo son aplicables en agua no restringida, sin ninguna limitación lateral o de profundidad.

Sin embargo, la relación empírica a continuación puede utilizarse en situaciones en las que no se disponga de información sobre el número de revoluciones de la hélice y/o los valores del coeficiente de empuje KT.

$$U_0 = C_3 \cdot \left[ \frac{f_p \cdot P_{max}}{\rho_w \cdot D_p^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

donde

- $P_{max}$  = potencia máxima del motor instalado (W)
- $f_p$  = porcentaje de la potencia del motor instalado utilizada), 5 - 15%

Los valores para el coeficiente C3 son

- $C_3$  = 1.17 para hélices con conducto (hélices con toberas)
- $C_3$  = 1.48 para hélices libres



### Velocidad Inferior del Chorro de Propulsión Principal

A medida que el chorro del propulsor principal se aleja de la embarcación, la velocidad en el chorro se disipa a lo largo del eje del chorro y radialmente hacia afuera desde el eje del chorro. La conversión de la velocidad de salida a velocidades máximas en el fondo se logra mediante dos métodos. En ambos métodos, se asume que el chorro se inclina hacia abajo 12 grados hacia el lecho (según Römisch, 1993, y Führer y Römisch, 1977). Los dos métodos tienen fórmulas para determinar la velocidad del chorro con la distancia a lo largo del eje del propulsor, y una fórmula separada para determinar la velocidad del chorro a alguna distancia radial del eje del propulsor.

#### Método Alemán

$$V_{axis} = A \cdot V_0 \cdot \left(\frac{x}{D_p}\right)^{-a}$$

$$V_{x,r} = V_{axis} \cdot \exp\left[-22.2 \cdot \frac{r^2}{x^2}\right]$$

#### Método Holandés

$$V_{axis} = 2.8 \cdot V_0 \cdot \left(\frac{D_p}{x}\right)$$

$$V_{x,r} = V_{axis} \cdot \exp\left[-15.4 \cdot \frac{r^2}{x^2}\right]$$

Donde:

- $A$  =  $1.88 \cdot \exp[-0.061 \cdot (h_p/D_p)]$  con un timón central
- $a$  = influencia solo del fondo y superficie del agua
- $x$  = distancia desde la hélice en la cual el chorro toca el lecho
- $r$  = distancia vertical entre el eje de la hélice y el lecho

Después de determinar la velocidad inferior del chorro de la hélice utilizando los dos métodos, se utiliza la velocidad inferior máxima para establecer el espesor requerido del colchón de concreto.

### Ecuación General para la Velocidad de Eflujo de los Propulsores

Los propulsores pueden considerarse como chorros libres con una abertura de salida, para los cuales la velocidad de eflujo se deriva de acuerdo con

$$U_0 = 1.15 \cdot \left(\frac{f \cdot P}{\rho_w \cdot D_p^2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

donde:

- $P$  = Potencia del propulsor
- $\rho_w$  = Densidad del agua
- $D_p$  = Diámetro de la hélice

Similar al chorro principal de la hélice, la velocidad del chorro propulsor se disipa axial y radialmente con la distancia desde la embarcación. Nuevamente, existen dos métodos para determinar la velocidad en el fondo debido al chorro propulsor.

#### Método Alemán

$$V_{Bottom} = 2.8 \cdot V_0 \cdot \frac{D_p}{L+h_T} \text{ for } L/h_{thruster} \geq 1.8 m$$

#### Método Holandés

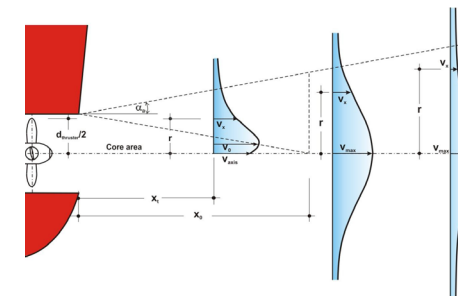
$$V_{Bottom} = \alpha_L \cdot 1.9 \cdot U_0 \cdot \frac{D_p}{L}$$

Donde:

- $\alpha_L$  = Factor, función de la distancia entre la pared y el fondo (Ref.1, Figura 8.5)
- $D_p$  = Diámetro del propulsor
- $L$  = Distancia entre la abertura del propulsor y la pared del muelle

Donde:

- $h_T$  = altura del eje del propulsor sobre el lecho marino





## Diseño de Protección del Fondo

El diseño de un colchón de concreto con espesor uniforme evaluará tres aspectos de la operación de la embarcación

1. Resistencia a la succión ascendente desde la hélice principal,
2. Resistencia al flujo del chorro de la hélice principal sobre el colchón, y
3. Resistencia al flujo del chorro de la hélice de la propulsión lateral sobre el colchón.

### Cálculos de Espesor del Colchón de Mortero

Los cálculos del espesor del colchón de concreto para resistir la velocidad del flujo de la hélice principal y la propulsión del propulsor en la punta del muelle y/o pendiente debido a los efectos de propulsión se determinaron según el Informe 180 de la PIANC "Directrices para Proteger Estructuras contra la socavación Causado por Buques", 2015, y Geosintéticos y Geomembranas en Ingeniería Hidráulica y Costera, de Pilarczyk, K.W.

El espesor del colchón de concreto depende de la densidad del material de mortero, la estabilidad, factores de corte y turbulencia, un factor de profundidad, el ángulo de la pendiente, así como el ángulo de fricción en la superficie del colchón de mortero.

Muro de Dique, Requisitos de Espesor del Colchón de Concreto - Diseño de la Propulsión de la Embarcación					
Propulsión de la Embarcación	Velocidad de Eflujo de la Hélice (m/s)	Velocidad Máxima en el Fondo (m/s)	Espesor del Colchón de Concreto - $\sigma_c = 2,295 \text{ kg/m}^3$		
			Resistencia a la succión	Resistencia al flujo	Espesor recomendado
			mm	mm	mm
Buque					
Hélices de proa (100% de potencia)	11.00	2.44	-	28	150
Hélice principal (15% de potencia)	6.45	5.16	132	127	150

El grosor del colchón también se determina en función del Método Hawkswood para la carga por succión debajo de las hélices principales.

Los cálculos de las velocidades de propulsión y las estimaciones del grosor del colchón, para las embarcaciones de ejemplo mencionadas anteriormente, se encuentran en la Evaluación Preliminar del Colchón de Concreto de Synthetex, la cual se proporciona para cada proyecto. La tabla anterior es un ejemplo de la información disponible en la Evaluación Preliminar del Colchón de Concreto.

La evaluación de la resistencia del colchón al flujo de chorro es una función de la velocidad máxima en el fondo desde el chorro (hélice principal o propulsor) y la densidad relativa del colchón.



La ecuación de Pilarczyk se lee [CIRIA, CUR, CETMEF, 2007]

Espesor Mínimo del Colchón de Concreto,  $D_n$

$$D_n = \frac{\phi}{\Delta_m} \cdot \frac{0.035}{\psi_{cr}} \cdot \frac{k_h}{k_s} \cdot \frac{k_T \cdot V_b^2}{2 \cdot g}$$

$\Delta_m$  = Densidad relativa del colchón de concreto

$D_n$  = espesor mínimo de la capa de cobertura de los colchones de concreto

$g$  = aceleración debida a la gravedad [m2/s]

$V_b$  = velocidad del chorro de la hélice en el fondo [m/s]

$\phi$  = parámetro de estabilidad [-]

$\psi_{cr}$  = parámetro crítico de Shields [-]

$k_s$  = parámetro de pendiente [-]

$k_T$  = factor de turbulencia [-] (no debe confundirse con  $kt_2$  utilizado en versiones anteriores del trabajo de Pilarczyk)

$k_h$  = parámetro de profundidad

$np$  = porosidad del colchón de concreto, no aplicable para un colchón de sección uniforme monolítica

**Nota:** Las tablas de espesor de colchones de concreto están disponibles en unidades del sistema estadounidense y unidades del sistema internacional (SI).

El cálculo de la velocidad del chorro propulsor tiene en cuenta el uso de dos propulsores y la superposición de la influencia del chorro a medida que impacta en el muro del muelle y se desvía hacia el lecho marino.

### Diseñar la capa de cobertura para estabilidad contra cargas hidráulicas.

El enfoque de diseño para las capas protectoras de concreto encapsulado bajo el ataque de las olas trata la capa protectora como una placa. La placa debe tener un grosor adecuado para que los momentos de flexión inducidos por el impacto de las olas no generen tensiones críticas dentro del concreto.

### Calcular el espesor promedio necesario de una capa de revestimiento de concreto encapsulado HYDROTEX® colocada en una pendiente.

Para efectos de carga a largo plazo, el espesor de la capa de cobertura,  $D$ , se ha aumentado por un factor de seguridad de 1.25

$$D = 1.25 \frac{H_m \xi^{1/2}}{\phi \Delta_m \cos \alpha}$$

Donde:

$D$  = espesor promedio de la capa de cobertura HYDROTEX

$H_m$  = altura máxima de las olas del viento

$\xi$  = parámetro de rompimiento de las olas

$\phi$  = coeficiente de resistencia, (para colchones de concreto) ( $4 \leq \phi < 5$ )

$\Delta_m$  = densidad relativa del concreto,

$\rho_c$  = densidad del concreto de árido fino, 2,160 kg/m<sup>3</sup>

$\rho_w$  = densidad del agua, 1,030 kg/m<sup>3</sup>

$\alpha$  = ángulo de inclinación del talud

El valor del coeficiente de resistencia depende del tipo de onda y de la capa de drenaje, si la hay.





El parámetro de rompimiento de olas identifica, hasta cierto punto, la forma en que las olas se rompen, la estabilidad de la capa protectora y la altura de la carrera de las olas. Los criterios  $\xi$  limitantes pueden estar fuertemente influenciados por la rugosidad y porosidad de la pendiente.

Las olas que rompen en el enrocado pueden clasificarse como hundidas, desbordantes y arremolinadas. La siguiente ilustración indica cómo el valor afecta la ruptura de las olas.

Cuanto mayor sea el valor  $\xi$  mayor será la resistencia requerida de la capa protectora.

$$\xi = \frac{T \tan \alpha}{H_{z,1/3}^{1/2}}$$

Donde:

- $H_z$  = altura significativa de la ola
- $T$  = período de la ola máxima
- $\xi$  = parámetro de rompimiento de la ola
- $\alpha$  = ángulo de inclinación del banco
- $g$  = gravedad

El comportamiento de las capas de revestimiento de concreto encapsulado bajo ataque actual no se considera; normalmente, el ataque de las olas proporciona la carga determinante sobre la capa de revestimiento.

#### Calcular el Factor de Reducción para el Ángulo de Incidencia de la Ola.

Se puede aplicar un factor de  $(\cos \beta)^{1/2}$  reducción a la ecuación anterior para tener en cuenta el ángulo de incidencia de la ola respecto a la normal. La ecuación anterior se convierte en:

$$D = 1.25 \frac{H_m (\cos \beta)^{1/2} \xi^{1/2}}{\phi \Delta_m \cos \alpha}$$

Donde:

- $\beta$  = ángulo de incidencia de la onda respecto a la normal, °

#### Determinar los límites superiores e inferiores de la capa de cobertura.

##### Calcular el desbordamiento de las olas:

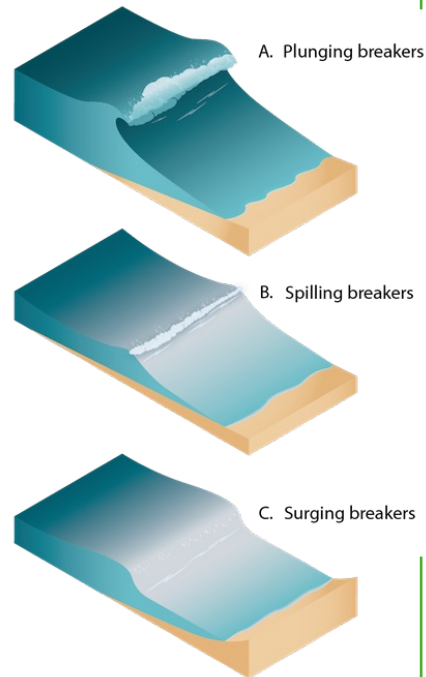
Las olas que rompen contra una pendiente se elevarán a una altitud mayor que el nivel del agua tranquila, dependiendo de la pendiente y la rugosidad de la estructura. Las superficies lisas experimentan un desbordamiento más alto que las superficies rugosas. Si es posible, el enrocado debe extenderse lo suficientemente alto como para evitar el desbordamiento. La extensión superior del enrocado dependerá de la altura de desbordamiento calculada según las características de las olas y del enrocado.

The effective run-up, on the slope can be defined as:

$$R = R_n \cdot r_r \cdot r_h \cdot r_B$$

Donde:

- $R_n$  = arrastre en pendientes lisas y planas definidas como la altura vertical sobre el nivel del agua tranquila
- $r_r$  = factor de reducción debido a la rugosidad de la pendiente
- $r_h$  = factor de reducción debido a la berma
- $r_B$  = factor de reducción debido al ataque oblicuo de las olas



a.) Para las olas regulares  $R_n$  se puede expresar mediante la fórmula de Hunt:

$$R_n \sqrt{\frac{H}{L_0}} \cdot \tan \alpha = 0.4T \sqrt{gH} \cdot \tan \alpha; \text{ for } \xi \geq 3$$

$$\frac{R_n}{H} = \xi; \text{ for } \xi < 3$$

Donde:

- $H$  = altura de la ola
- $L_0$  = longitud de onda
- $T$  = período de la ola
- $\alpha$  = ángulo de pendiente
- $\xi$  = parámetro de rompimiento de la ola

b.) Para olas irregulares, la fórmula de Hunt puede ser modificada para convertirse en

$$\frac{R_n}{H_{z,1/3}} = C_n \sqrt{2\pi} \xi = 2.5 C_n \xi_p; \text{ for } \xi = \xi_p < 2.5 \text{ and } T = T_p$$

Donde:

- $C_n$  = constante dependiendo del tipo de espectro de ondas y probabilidad de superación
- $H_{z,1/3}$  = altura significativa de la ola
- $T_p$  = período superior, es decir, el período que proporciona el mayor impacto de la ola
- $\xi_n$  = parámetro de rompimiento de la ola basado en

Si se excede el oleaje permisible solo en un 2% de las olas, entonces:

$$C_n = C_{2\%}$$

Y  $C_{2\%}$  puede estimarse a partir de mediciones de campo de la siguiente manera:

- $C_{2\%} = 0.55$  para un espectro pequeño
- $C_{2\%} = 0.70$  para un espectro amplio

En el caso de las olas provocadas por el viento, se recomienda un valor conservador de  $C_{2\%} = 70\%$  is recommended.  $R_n$  can then be found at using the following equations:

$$\frac{R_n}{H_{z,1/3}} = 1.75 \xi_p; \text{ for } \xi_p < 2.5 \quad \frac{R_n}{H_{z,1/3}} = 3.5; \text{ for } \xi_p \geq 2.5$$

Para las olas secundarias generadas por el barco, se recomienda un valor de  $C_{2\%} = 70\%$ . El parámetro de ruptura de la ola se define mediante:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_i}{L_{wi}}}}$$

Donde:

- $H_i$  = altura de los picos de interferencia
- $L_{wi}$  = longitud de onda de los picos de interferencia





El factor de reducción se puede encontrar utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\frac{R_n}{H_{z,1/3}} = 1.5 \xi$$

c.) Para pendientes que incorporan una berma, la altura de la ola reducida será disminuida por un factor  $r_b$

El efecto de reducción de una berma con ancho constante es máximo cuando la berma está cerca del nivel promedio del agua quieta. La altura de la ola también disminuye a medida que aumenta el ancho de la berma. Sin embargo, existe un ancho de berma óptimo. Para olas pequeñas y no rompientes, este es aproximadamente (donde es la longitud de onda en aguas profundas) y para olas fuertes y rompientes, alrededor de . Se puede suponer que las olas rompen cuando es mayor que 0.03.

Utilizando un ancho de berma igual o mayor que este valor óptimo y una profundidad del agua en el pie del enrocado de , el factor de reducción se puede estimar a partir de la Tabla 1.5.

d.) Para el ataque oblicuo de las olas, el factor de reducción se puede estimar mediante:  $r_\beta$

$$r_R = \cos(\beta - 10^\circ); \text{ for } \beta \leq 65^\circ$$

donde  $\beta$  es el ángulo de la dirección de propagación de la onda respecto a la pendiente.

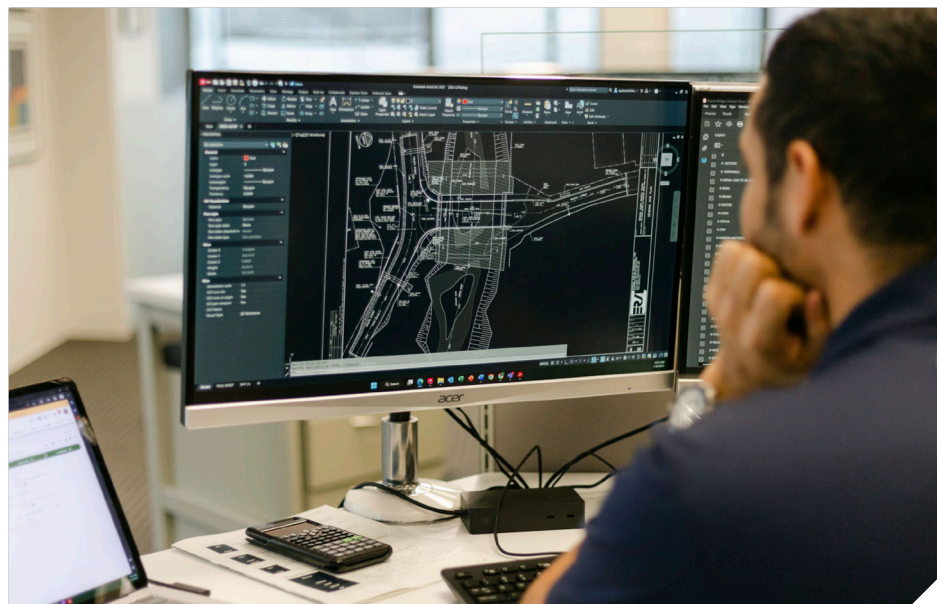
#### Calcular la Extensión Inferior del Ataque de las Olas:

Como regla general, la extensión inferior del enrocado sujeto a olas ya sea de viento o de barco se puede encontrar utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{R_d}{H_{z,1/3}} = 0.8 \xi + 0.5; \text{ for } \xi < 2.5$$

$$\frac{R_d}{H_{z,1/3}} = 2.5; \text{ for } \xi \geq 2.5$$

donde  $R_d$  es la profundidad vertical por debajo del nivel del agua quieta hasta la extensión inferior de la capa de cobertura. Puede ser necesario proporcionar protección más allá de este límite contra el ataque de corrientes.



Inclinación	Rb
1:5 to 1:7	0.75 - 0.80
1:4	0.60 - 0.70
1:3	0.50 - 0.60
1:2	0.50 - 0.40



## Extensión de Protección contra la Socavación Aguas Afuera del Muelle.

Al determinar la magnitud de la protección contra la socavación, se recomienda calcular la cuña pasiva de suelo necesaria.

Además de los cálculos de velocidad y colchón de concreto, la anchura del área a proteger a lo largo del frente del muelle depende de:

Para los motores principales de hélice, un ancho suficientemente protegido utilizado por Deltares / Delft Hydraulics es:

1. El área de influencia de los chorros (propulsor transversal y chorro principal de propulsión).
2. El ancho del volumen pasivo del suelo frente al muelle necesario para garantizar la estabilidad geotécnica de la pendiente.

Si se conoce la cuña pasiva del suelo, el ancho mínimo requerido de la protección inferior se puede calcular como el ancho de la cuña pasiva del suelo ampliado con una franja ancha de colchón de bloques articulados que actúa como un dedo de caída autolanzable, siguiendo la socavación del fondo no protegido adyacente. Sin embargo, se recomienda que el ancho requerido de la franja ancha se pueda calcular como el producto de la profundidad esperada de socavación y la pendiente lateral esperada del agujero de socavación cuando esté cubierto con una protección inferior [CIRIA, CUR, CETMEF, 2007].

Para los chorros de embarcaciones de un solo tornillo y de dos tornillos, se proporciona un ancho protegido suficiente utilizado por Deltares / Delft Hydraulics según las siguientes cifras:

Embarcación de un solo tornillo

$$B_{\text{protection}} = B_{\text{qua}} + 0.5 B_s + 0.5 D_p + 5m$$

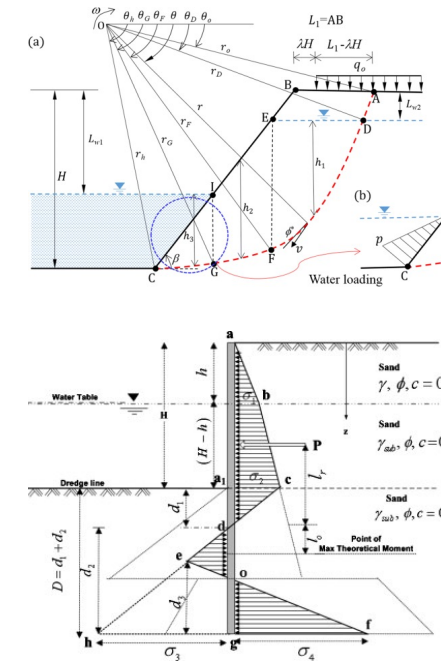
Embarcación de dos tornillos

$$B_{\text{protection}} = B_{\text{qua}} + 0.5 B_s + 0.5 S_p + 0.5 D_p + 5m$$

- $B_{\text{qua}}$  = distancia entre el barco y el muelle (m)
- $B_s$  = ancho de la embarcación (m)
- $S_p$  = distancia entre las hélices principales (m)
- $D_p$  = diámetro de la hélice (m)

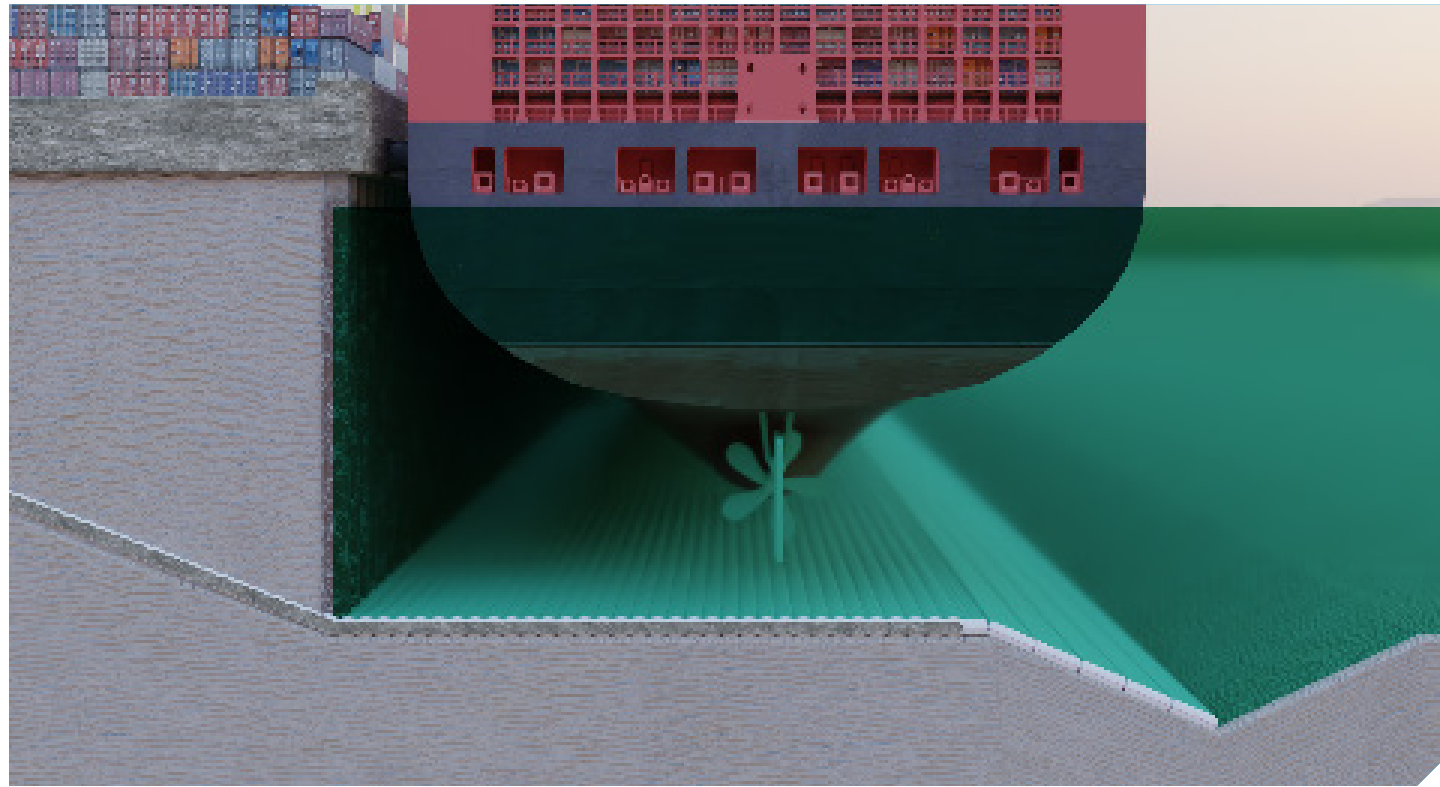
El ancho adicional de 5 metros es un valor basado en la experiencia y tiene en cuenta la cuestión requerida de la estabilidad geotécnica del muelle.

Se recomienda que un ingeniero geotécnico compare la velocidad del flujo a una distancia determinada del muelle con la velocidad crítica del flujo para el material del lecho en el mismo lugar. Esta evaluación y el ancho de la cuña de suelo pasiva determinan el ancho requerido a proteger.





## Perfiles Típicos de Embarcaciones frente a un Muelle Protegido con HYDROTEX



Embarcación de Hélice Única



Embarcación de Doble Hélice



## Extensión de Protección contra la Socavación a lo largo del Muelle



La longitud protegida a lo largo del muelle es al menos igual a la longitud del barco ampliada con 50 m delante de la proa y 50 m detrás de la popa. Sin embargo, esta longitud depende de los procedimientos de atraque.

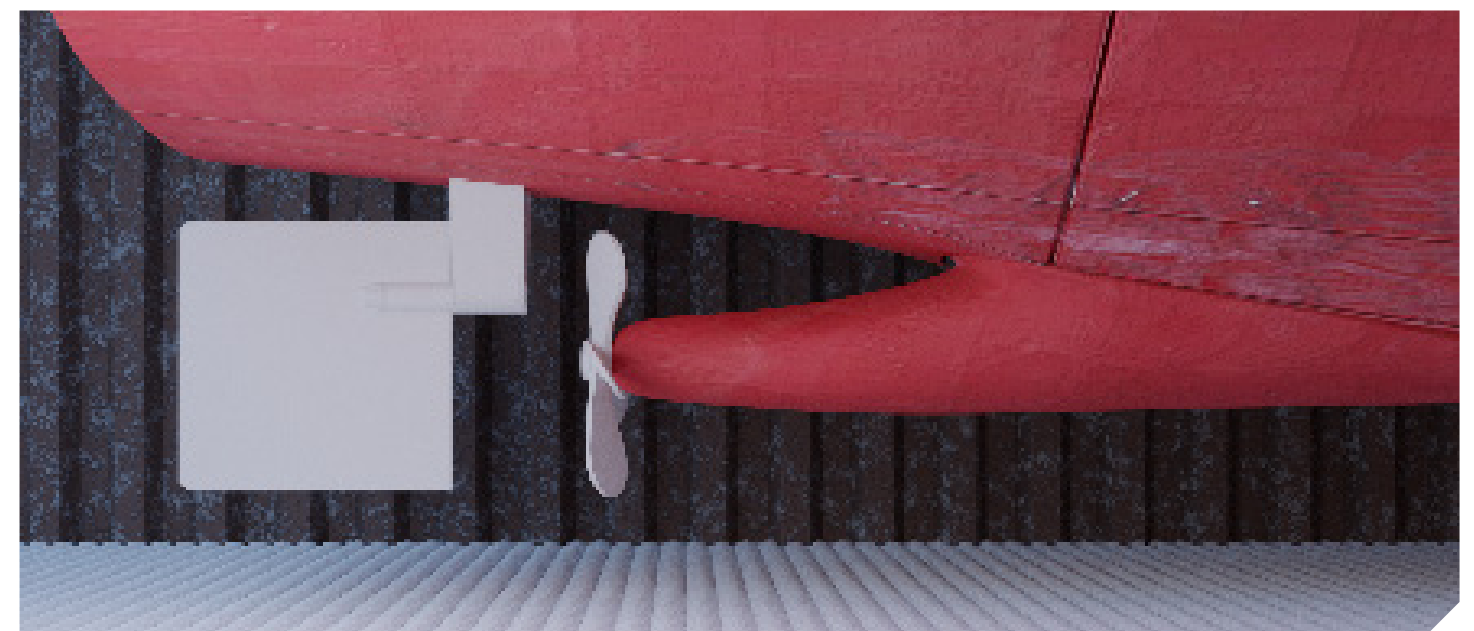
El área a lo largo del muelle que debe ser protegida depende de los siguientes cálculos:

$$L_{\text{main}} = (6 \text{ to } 8) D_p + (3 \text{ to } 5)$$

$$L_{\text{main},2} = (6 \cdot D_p) + (3 \text{ to } 5)$$

$$L_{\text{thruster}} = (3 \text{ to } 4) D_{\text{thruster}} + (3 \text{ to } 5)$$

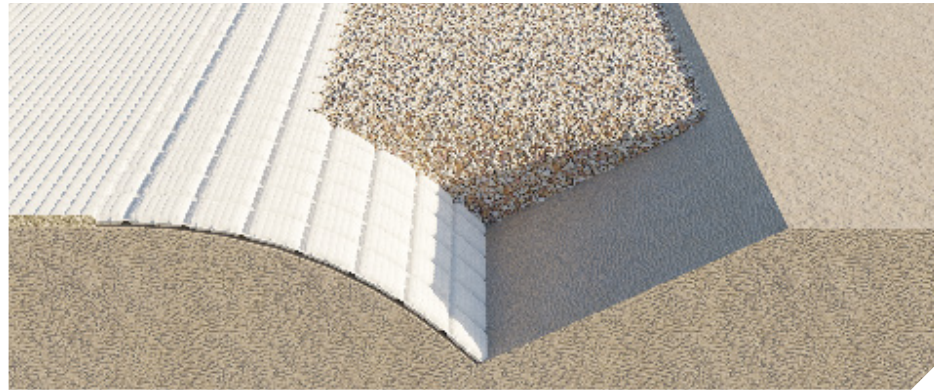
Perfil lateral típico en relación con la protección del muelle HYDROTEX





## Técnicas de Zanja en la Base Tradicionales y de Inicio Automático

### Técnica de Zanja en la Base Tradicional



Método de construcción típico de zanja de base

El método tradicional para tener en cuenta la protección contra la socavación a lo largo de los bordes exteriores de los revestimientos de piedra de protección:

- Se excava una zanja en la base hasta la máxima profundidad esperada de socavación, se coloca un delantal de concreto que se extiende desde el fondo y a lo largo de su base, y se llena con piedras de protección, protegiendo así el revestimiento de posibles socavamientos. Los recursos necesarios para excavar la zanja a la profundidad y configuración requeridas son costosos, y adquirir y colocar las piedras de protección conlleva costos adicionales.

### Técnica de Zanja en la Base de Inicio Automático



Técnica de zanja de base de inicio automático

El método alternativo a considerar para la protección contra la socavación a lo largo de los bordes exteriores de una plataforma de concreto o enrocado:

- Un delantal de inicio automático compuesto por colchones de concreto de Bloque Articulado HYDROTEX® reforzados con cables o secciones integralmente conectadas de colchones de concreto articulado, uniéndose con colchones de concreto HYDROTEX de Sección Uniforme para proporcionar una protección flexible en la zona de la que pueda responder a la socavación y, de esta manera, proteger la estructura de ser socavada.
- Un delantal de inicio automático utiliza los mismos procesos naturales de socavación para lanzar el delantal de base que cae.



## Arreglos en el Sitio y Preparación para la Instalación del Colchón de Concreto



Asesoría in situ proporcionada por ingenieros de Synthetex

### Entrega y Almacenamiento de Materiales

Los paneles son entregados por camión. La descarga y manipulación en el sitio debe realizarse con una carretilla elevadora. Cada panel está marcado con números de colchón y las dimensiones del colchón de su contenido.

Los paneles entregados al sitio por camiones deben ser descargados, inspeccionados y almacenados con la menor manipulación posible. Los paneles de Formaleta Textil deben ser transportados al punto de inspección y descargados. Cada panel está etiquetado con su número de panel en el lado adyacente al muelle. Al completar la inspección del panel, este puede ser replegado y enrollado en su núcleo de cartón de envío y almacenado hasta que sea necesario para la instalación.

### Dibujos de disposición general

Los dibujos de disposición, colchones individuales (paneles) y dibujos de componentes con dimensiones que coinciden con el diseño mostrado en los documentos del contrato se incluyen en el documento Evaluación preliminar de la colchón de concreto, preparado para cada proyecto.

### Preparación general de la base

La preparación de la base debe realizarse según las especificaciones del proyecto.

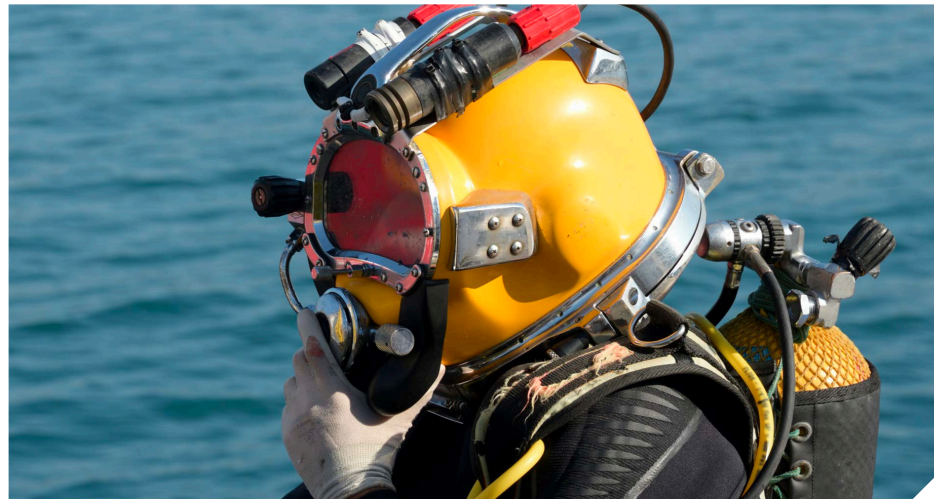
### Preparación de colchones

Todos los paneles de formaleta son únicos y se prueban con cremallera en la fábrica para asegurarse de que todas las conexiones entre paneles con cremallera estén funcionando correctamente. Sin embargo, se debe proporcionar un área plana y seca en el lugar de trabajo con suficiente tamaño para acomodar tres (3) paneles de formaleta adyacentes para la inspección de la formaleta y la fijación de las cerraduras de llenado.





## Instalación de colchones de Concreto Encapsulado



### Equipos de Buceo para la Instalación de colchones de Concreto

Debería haber tres (3) o más equipos de buceo encargados de preparar e instalar el colchón de concreto. Uno debería encargarse de la preparación y los otros dos de la instalación. Los dos (2) equipos de instalación deben tener una conexión de audio y video, a través de cámaras de buceo para el monitoreo, control de calidad, avance y seguridad.

### Directrices de Instalación para Muelles Cerrados y Abiertos

Synthetex ha preparado guías de instalación para la instalación de medidas de control de erosión y socavación con concreto encapsulado en muelles típicos cerrados y abiertos. Los métodos de instalación para colchones de concreto en muelles cerrados y abiertos comparten varios requisitos comunes. Sin embargo, los detalles del procedimiento pueden variar considerablemente.

### Provisión de Materiales, Equipos y Servicios de Buceo Requeridos

A continuación se presenta una lista recomendada de materiales, equipos y servicios de buceo necesarios para la instalación de delanteles de protección contra socavación con concreto vertido en sitio.

- Suministro para concreto de agregado fino
- Suministro de equipo y mangueras para bombeo de concreto
- Suministro de operarios para el bombeo de concreto
- Suministro de sistema de flotación para mangueras de concreto
- Grúa de alcance largo de servicio liviano para posicionar mangueras de concreto
- Montacargas para descargar y mover las formaletas textiles
- Equipo de elevación por aire para preparación final de la base, si es necesario
- Plataforma flotante para posicionar mangueras sobre puertos de llenado
- 2 supervisores de buceo ceretificados para supervisar las operaciones de buceo
- 10 buceadores certificados operando en dos equipos
- 1 médico buceador / operador de cámara de descompresión cualificado para proporcionar apoyo médico de emergencia en el lugar a los equipos de buceo
- 2 sistemas de buceo suministrados desde la superficie en contenedores certificados
- 1 cámara de descompresión certificada



## Colchón de concreto Encapsulado vs Revestimientos de piedra



Revestimiento de bloques articulados de concreto Hydrotex

Desde principios de la década de 1970, los colchones de concreto encapsulado para el control de erosión y socavación están reemplazando la protección de rocas en revestimientos. A medida que el clima mundial se calienta y las masas terrestres se pierden debido al aumento del nivel del agua, los ingenieros confían más en los revestimientos de ríos, vías navegables y costas. En consecuencia, la disponibilidad de rocas se ve afectada tanto por restricciones ambientales como por el costo del transporte. Los ingenieros hidráulicos y portuarios están adoptando actualmente colchones de concreto encapsulado instalados in situ en proyectos alrededor del mundo. Confían en que estos colchones de concreto encapsulado, que ofrecen concreto de alto desempeño y una sección transversal más delgada, proporcionan soluciones sólidas y ahorros significativos en tiempo de construcción, dragado y costo de materiales.

Los revestimientos diseñados con colchones de concreto encapsulado permiten tanto un consumo significativamente reducido de materiales naturales como la conservación del medio ambiente.

Para diseños de revestimiento comparables en enrocado y colchones de concreto, el espesor de una capa de roca de 4 pies (1.20 m) se logra mediante un espesor de capa de 1 pie (0.30 m) en el caso de los colchones.

Espesor correspondiente para roca vs Colchón de Concreto Encapsulado





## Impacto Ambiental

Cantera de roca típica del tipo necesario para la producción de Rip Rap



La explotación de canteras de roca causa daños a la propiedad, agotamiento de las aguas subterráneas, pérdida de la capa fértil superior del suelo, degradación de tierras forestales, efectos adversos en la biodiversidad acuática y la salud pública (Informe sobre el Estado del Medio Ambiente, 2003). En la mayoría de los países alrededor del mundo, la explotación de canteras no se gestiona de manera profesional para el sustento ambiental. La rehabilitación de canteras colapsadas o abandonadas, en su mayoría, no se lleva a cabo.

Uno de los mayores impactos negativos de la explotación de canteras en el medio ambiente es el daño a la biodiversidad. La explotación de canteras conlleva el potencial de destruir hábitats y las especies que habitan en ellos. Incluso si el hábitat no es eliminado directamente por la excavación, puede verse afectado indirectamente y dañado por impactos ambientales, como cambios en las aguas subterráneas o superficiales que provocan que algunos hábitats se sequen o que otros queden inundados. Incluso la contaminación acústica puede tener un impacto significativo en algunas especies y afectar a su reproducción exitosa.

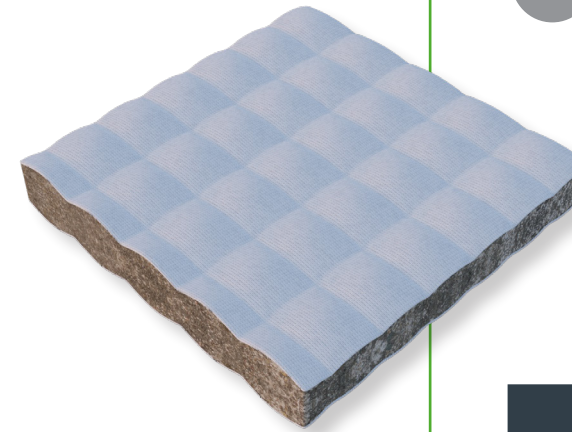
- La explotación de canteras remueve roca y suelo, agotando los recursos naturales y cambiando la topografía, lo que afecta el patrón de drenaje natural.
- La explotación de canteras conlleva problemas asociados como la contaminación del aire (grandes cantidades de partículas suspendidas y emisiones de polvo que desfiguran todo y causan trastornos respiratorios en los trabajadores que laboran en la cantera y en la población cercana). Además, las emisiones de camiones y volquetes que vienen a llevarse el material también afectan los niveles de TPM, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.
- Las canteras normalmente dependen de explosiones para debilitar la masa de roca dura, lo que provoca que salten fragmentos de roca, ruido y vibraciones. Esto genera grietas en edificios cercanos o pérdida de audición.
- La explotación de canteras deja una enorme cicatriz en el medio ambiente y destruye el entorno estético. Es difícil rellenar los huecos y restaurar los costados de las colinas. La explotación de canteras resulta en la eliminación de árboles y también aleja a la avifauna y fauna debido a las explosiones y la actividad humana.



## Colchón de Concreto de Sección Uniforme (US)

US

La formaleta de Sección Uniforme, cuando está llena, se convierte en un colchón de concreto de grosor constante, con una superficie de patrón adoquinado. El espesor y el peso del revestimiento son controlados por cuerdas separadoras. Las cuerdas se entrelazan entre las dos capas de tela, en pares paralelos, de manera que las cuerdas en la capa superior y la capa inferior se cruzan entre capas en puntos de descarga.



Número de Producto	Espesor Promedio	Masa por Unidad de Área	Cobertura de Concreto
	in (mm)	lbs./ft <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	ft <sup>2</sup> yd <sup>3</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
US200/50M	2 (50)	22 (107)	150 (18.2)
US300/75M	3 (75)	34 (165)	100 (12.15)
US400/100M	4 (100)	45 (220)	75 (9.11)
US600/150M	6 (150)	68 (330)	50 (6.08)
US800/200M	8 (200)	90 (440)	37 (4.50)
US1000/250M	10 (250)	113 (550)	30 (3.65)
US1200/300M	12 (300)	135 (660)	25 (3.04)
US1400/350M	14 (350)	157 (770)	21 (2.55)
US1600/400M	16 (400)	180 (880)	19 (2.31)

Sección Uniforme durante la instalación





## Colchón de Concreto Bloque Articulado (AB)

**AB**

La formaleta de Bloque Articulado, al ser llenado, se convierte en un colchón de concreto compuesto por bloques rectangulares con forma de almohada. Los perímetros entrelazados entre los bloques actúan como una bisagra que permite la articulación. Los cables permanecen incrustados en los bloques de concreto para conectarlos entre sí y facilitar la articulación. Algunos alivios de presión hidrostática se logran a través de las bandas de filtración formadas por los perímetros entrelazados de los bloques. Las bandas de perímetro entrelazadas entre los bloques sirven para definir el espaciado entre los bloques, facilitando así la articulación del colchón.



Número de Producto	Espesor Promedio	Masa por Unidad de Área	Cobertura de Concreto
	in (mm)	lbs./ft <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	ft <sup>2</sup> yd <sup>3</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
AB300/75M	3 (75)	34 (165)	100 (12.15)
AB400/100M	4 (100)	45 (220)	75 (9.11)
AB600/150M	6 (150)	68 (330)	50 (6.08)
AB800/200M	8 (200)	90 (440)	37 (4.50)
AB1000/250M	10 (250)	113 (550)	30 (3.65)
AB1200/300M	12 (300)	135 (660)	25 (3.04)
AB1400/350M	14 (350)	157 (770)	21 (2.55)
AB1600/400M	16 (400)	180 (880)	19 (2.31)
AB1800/450M	18 (450)	203 (990)	17 (2.65)
AB2000/500M	20 (500)	226 (1100)	15 (1.82)

Articulating Block showing separation between blocks

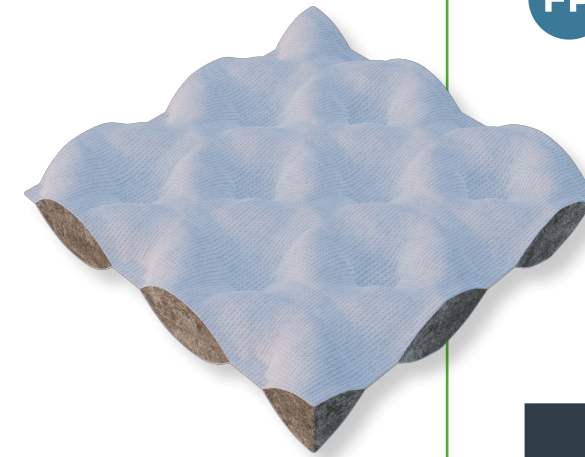


## Colchón de Concreto Punto de Filtro (FP)

**FP**

La formaleta de Punto de Filtro se convierte en un colchón con una superficie acolchada con depresiones en puntos de filtración (drenajes) a intervalos regulares, para proporcionar un revestimiento de concreto resistente a la erosión y permeable al agua, con un coeficiente relativamente alto de fricción hidráulica para reducir la velocidad del agua y la elevación de las olas.

El espaciamiento de los puntos de filtración determina el grosor y el peso del revestimiento, mientras que los puntos de filtración especialmente diseñados alivian la presión hidrostática y reducen el esfuerzo aplicado a la formaleta durante el bombeo.



Número de Producto	Espesor Promedio	Masa por Unidad de Área	Cobertura de Concreto
	in (mm)	lbs./ft <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	ft <sup>2</sup> yd <sup>3</sup> (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
FP220/55M	2.2 (55)	25 (120)	136 (16.6)
FP300/75M	3 (75)	34 (165)	100 (12.15)
FP400/100M	4 (100)	45 (220)	75 (9.11)
FP600/150M	6 (150)	68 (330)	50 (6.08)
FP800/200M	8 (200)	90 (440)	37 (4.50)
FP1000/250M	10 (250)	113 (550)	30 (3.65)
FP1200/300M	12 (300)	135 (660)	25 (3.04)

Un bloque de Punto de Filtro Instalado mostrando los puntos de filtración.





## Fabricación



Image 1 HYDROTEX líneas de tejido No. 1 & 2

La formaleta está construida con hilos sintéticos formados en una tela tejida técnica de doble capa. Los hilos utilizados en la fabricación de la tela son de poliéster de alta resistencia y alta tenacidad. No se utilizan hilos con densidades inferiores a 1.0, como el poliamida (Nylon), polietileno y polipropileno, en nuestra tela debido a sus características de flotación. Cada capa del formaleta de tela se ajusta a los requisitos físicos, mecánicos e hidráulicos del proyecto.

La formaleta de Synthetex se fabrica en máquinas de tejido de última generación, bajo la supervisión de personal altamente calificado en ubicaciones en Estados Unidos e India, utilizando estándares internacionales de control de calidad. El proceso de fabricación procede de la siguiente manera:

- Se inspeccionan los hilos de poliéster de alta resistencia y tenacidad.
- Los paquetes de hilos inspeccionados (carretes) se colocan en los soportes.
- Se pasan hilos individuales, desde los carretes, a través de dispositivos de tensión y se enrollan en los lizos de urdimbre del telar.
- Los lizos de urdimbre del telar se transfieren al departamento de tejido y se tejen en anchos de rollos de molino de 320 mm, 360 mm o 550 mm.
- Se inspeccionan los rollos de ancho de molino y se cortan a longitudes especificadas por panel de formaleta.
- Los rollos de ancho de molino inspeccionados y cortados se transfieren al departamento de fabricación y se cosen en paneles de formaleta con deflectores y cremalleras.
- Se inspeccionan los paneles de formaleta cosidos.
- Los paneles de formaleta cosidos se colocan en el área de suelo abierto del departamento de fabricación y se instalan los accesorios necesarios, como puertos de llenado y ventilación.
- Se inspeccionan los paneles fabricados.
- Los paneles fabricados se pliegan y envuelven con cubiertas protectoras o se enrollan en tubos de cartón o plástico y se colocan en una cubierta protectora.



Image 2 Línea de fabricación HYDROTEX No. 1 e instalación de hardware HYDROTEX No. 3



## Cálculos para el diseño del colchón de concreto Encapsulado HYDROTEX

Los siguientes cálculos se realizan para cada uno de los proyectos designados barcos y ubicación del muelle. Se proporciona una tabla con los datos de los barcos y la propulsión necesarios para realizar los cálculos.

### Cálculos principales del chorro de la hélice

- Eje de la Hélice sobre la Quilla (proveído)
- Eje de la Hélice sobre el colchón de Concreto
- Relación de Separación de la Punta de la Hélice con la Separación Superior del colchón
- Separación sin Compresión del Defensa
- Distancia desde la Línea del Defensa hasta la Hélice Exterior
- Eje Horizontal del Lavado de la Hélice con Timón
- Eje Vertical del Lavado de la Hélice con Timón
- Distancia Radial Horizontal desde la Hélice hasta la Intersección del Lavado con el Fondo
- Velocidad Principal de la Hélice
- Velocidad Máxima del Fondo
- Calado Máximo de Operación Típico
- Distancia Vertical desde el Lavado de la Hélice hasta la Intersección del Lavado con el Fondo
- Distancia Horizontal desde la Hélice hasta la Intersección del Lavado con el Fondo
- Distancia Radial Vertical desde la Hélice hasta la Intersección del Lavado con el Fondo
- Pendiente del Eje (Hacia Abajo) de la Corriente en el Plano Vertical
- Distancia Horizontal desde la Hélice hasta el Punto de Intersección con el Fondo

### Velocidades principales de la hélice a chorro

- Velocidad de eflujo en la hélice principal

- Distancia desde la hélice
- Chorro dividido por la timonera
- Dispersión del chorro
- Distancia detrás de la hélice cuando la dispersión del lavado está obstruida. Velocidad máxima a lo largo del eje central del chorro a una distancia X de la hélice para la dispersión obstruida del chorro.
- Velocidad del lecho a una distancia X de la hélice considerando la geometría de la sección transversal.
- Grosor mínimo del colchón de concreto
- Cálculos de la propulsión lateral
- Eje de la hélice sobre la quilla (proporcionado)
- Eje de la hélice sobre el colchón de concreto
- Relación de espacio libre de la punta de la hélice a la parte superior del colchón.
- Velocidad de eflujo de la hélice

### Calculo de la geometría de la pendiente de la cama para la hélice de proa

- Soporte sin compresión para defensa
- Bajo la pendiente del muelle
- Distancia horizontal mínima desde la relación del propulsor hasta la cubierta
- Distancia horizontal desde el extremo del túnel hasta la intersección de la línea central de lavado con la pendiente
- Velocidad de salida en la hélice
- Velocidad axial máxima a lo largo del eje central del chorro
- Velocidad en el fondo a una distancia X hacia afuera del muelle
- Espesor mínimo del colchón de concreto en la pendiente

