

Tipología de muelles: Prefabricación o fundido en sitio?

Ing. Luis Alberto Chaves. Gerente General, DC-PORT S.A.S.
Ing. Carlos Gómez. Coordinador del Área de Puertos, DC-PORT S.A.S.

Fotos: Cortesía Luis Alberto Chaves y Carlos Gómez



← Puerto de Rotterdam.

En este artículo se presentarán algunas consideraciones sobre diferentes tipos de muelles y las alternativas para construirlos. La infraestructura puede estar conformada por tablestacas, pilotes hincados o pilotes preexcavados. La superestructura puede ser fundida en sitio, prefabricada o de cualquier combinación entre las dos opciones. La mejor combinación en términos técnicos y económicos no resulta evidente en un principio, por lo que se requiere un cuidadoso análisis de los costos comprometidos en las distintas alternativas posibles.

Existen dos tipos principales de muelles: los de tipo cerrado y los de tipo abierto. Los muelles de tipo cerrado son aquellos en que la superestructura del muelle se coloca sobre el suelo y éste se confina perimetralmente con un sistema de tablestacado. En los muelles abiertos la placa portuaria se construye sobre los pilotes, de tal manera que el agua pasa por debajo del muelle.

En Colombia se han construido muelles de los dos tipos, siendo muchos más los de tipo abierto sobre pilotes. La selección de la modalidad más ventajosa para un caso determinado depende de una serie muy variada de factores.

Muelles cerrados con tablestacas

Un factor para determinar cuál tipo de muelle se va a diseñar consiste en la ubicación física. Si se trata de un muelle marginal, pegado a la costa o parcialmente incrustado en tierra, esto facilita construir un muelle cerrado. Bajo esta condición los volúmenes de material de relleno son bajos y se favorece su colocación desde tierra.

Así mismo, un punto favorable a esta solución es cuando el proyecto contempla realizar dragado y las condiciones del material existente son apropiadas para el relleno en la zona del muelle.

Otro factor que influye en la selección, son las características del material en la zona donde se ancla la tablestaca. Si el terreno tiene adecuada capacidad portante para el anclaje de las tablestacas, estas resultarán más cortas y, por lo tanto más económicas. Pero si el material es rocoso, es decir muy duro, entonces la tablestaca no penetra en el terreno, por lo que instalarla resulta muy complicado.

Por otra parte, las tablestacas que se utilizan en muelles de este tipo pueden ser metálicas o de concreto.



1

Las tablestacas de concreto son más económicas y son viables cuando las profundidades en el sitio no son muy grandes y el tipo de suelo permite que penetren en el estrato portante. Garantizar la estanqueidad también representa un reto en las tablestacas de concreto, y debe ser resuelto con ingenio.

También hay tener en cuenta que los muelles siempre estarán en áreas de propiedad de la Nación, por lo que la ley establece un pago anual como contraprestación por el uso del terreno. En Colombia, las instalaciones en tierra pagan un porcentaje del valor estimado de área ocupada, mientras que las instalaciones acuáticas pagan una décima parte de este valor. En los muelles cerrados la Nación exige pagar el 1,6% sobre el valor calculado del terreno, mientras que en los muelles abiertos se paga solamente el 0,16%. A pesar de estos porcentajes, en muchas ocasiones el valor absoluto no es significativo frente al valor de la contraprestación.

Muelles abiertos sobre pilotes

En los muelles abiertos, los pilotes utilizados pueden ser hincados, o preexcavados. Los pilotes hincados pueden ser de concreto o metálicos.

Pilotes hincados

En los pilotes de concreto hincados el material resulta más económico, pero son muy pesados, por lo cual los equipos necesarios pueden resultar muy costosos. Además, en pilotes largos deben realizarse empalmes, lo que es complicado y oneroso. Por este motivo se

utilizan poco en la actualidad. En los tubulares de acero el material es más costoso, pero los equipos de hincas son más económicos debido al menor peso de los pilotes.

Tanto para pilotes de concreto como metálicos, los equipos de hincas permiten instalarlos con inclinación, lo que les da mayor versatilidad cuando lo requiere el diseño. De otra parte, los registros del número de golpes durante la hincas permiten determinar la capacidad real de cada pilote con muy buen grado de certeza.

En cierto tipo de estructuras como las piñas (*dolphins* o duques de alba), que son pequeñas plataformas independientes sobre pilotes para atraque, es casi imperativo utilizar pilotes inclinados por su mayor eficiencia para absorber la energía de los buques en el momento del atraque.



2

↑ Fotos 1 y 2: Instalación de tablestacas en puerto en Perú.

Pilotes preexcavados

Los pilotes preexcavados se utilizan ahora con mayor frecuencia que antes, ya que esta solución puede resultar más económica cuando es posible aplicarla.

Los pilotes preexcavados requieren un estricto control de calidad y un sistema muy cuidadoso de colocación. Debido a que el fraguado del concreto se da dentro del agua, hay que garantizar que los pilotes no se muevan antes de haber obtenido la resistencia necesaria. Esto obliga a implementar un muy buen arriostamiento en la cabeza de los pilotes o a instalar estructuras temporales. Esta es una razón por la que la normatividad internacional del proceso constructivo de pilotes preexcavados es muy rigurosa.

Plataformas portuarias

Las plataformas de trabajo que conforman la superestructura pueden ser fundidas en sitio o ser realizadas con diverso grado de prefabricación. Antes, la gran mayoría de soluciones se fundían en sitio, pero la tendencia actual es aumentar el nivel de prefabricación en la construcción de muelles.

Los elementos principales que componen la plataforma del muelle son un conjunto de vigas que van colocadas sobre la cabeza de los pilotes, una losa de concreto apoyada sobre las vigas y una viga de borde en donde van instaladas las defensas de neopreno.



Una opción frecuente contiene:

1. Vigas fundidas en sitio.

Después de colocar los pilotes se instala el encofrado, se coloca el refuerzo y se vacía el concreto de las vigas. Para esta operación, el encofrado se apoya sobre los pilotes o se coloca un entramado con estructura autoportante del cual se descuelga el encofrado.

2. Elementos prefabricados entre las vigas.

Entre viga y viga se colocan prefabricados en concreto que pueden ser de diverso tipo. Usualmente son elementos pretensados de dimensiones que permiten su adecuada manipulación y colocación.

3. Losa superior fundida en sitio.

En la parte superior de la plataforma se funde en el sitio una última capa de concreto para completar las dimensiones necesarias y garantizar un acabado final apropiado.

4. Viga frontal descolgada para la ubicación de las defensas de neopreno.

La viga de borde exterior generalmente es descolgada y con un área de apoyo adecuada para ubicar allí las defensas de caucho. Puede ser prefabricada o fundida en el sitio.

➔ Instalación elementos prefabricados en *port-cobieres*.



En esta otra opción se incrementa el nivel de prefabricación en los muelles:

1. Vigas prefabricadas.

En esta modalidad se prefabrican parcialmente las vigas que van ubicadas entre los pilotes. Por lo general, este prefabricado tiene forma de cajón. Luego se ubican sobre los pilotes y una vez posicionadas se colocan los aceros de refuerzo y se vacían los espacios faltantes teniendo especial cuidado en garantizar la continuidad de todo el sistema.

2. Elementos prefabricados entre las vigas.

Como en el sistema descrito anteriormente, entre viga y viga se colocan los prefabricados de concreto, que suelen ser elementos pretensados de dimensiones apropiadas para su adecuado manejo.

3. Losa superior fundida en sitio.

La fundida en sitio es necesaria, independientemente de que los demás elementos que se utilicen sean prefabricados.

4. Dados en concreto prefabricados para la distribución adecuada de cargas en el apoyo de las defensas.

Se prefabrica la viga de borde donde van instaladas las defensas, se coloca en el sitio y se vincula a las vigas previamente colocadas.

⬆ Instalación de tablaestacas tubulares en Puerto de Amsterdam (Holanda).

Aspectos económicos

Como se puede ver, y ante a la gran cantidad de variables que intervienen, la mejor solución económica para un caso dado no resulta obvia. En ocasiones, al seleccionar una opción de diseño no se sabe si será la más económica. Además, el costo de los elementos importados es muy variable debido a la fluctuación de la tasa de cambio del dólar. Por ello, la mejor opción en una circunstancia dada puede resultar más costosa en otro momento. Esto es especialmente cierto para el caso del acero, cuyos precios presentan gran volatilidad en los mercados internacionales.

Los costos asociados a la construcción de un muelle son altos y no se deben escatimar esfuerzos en aplicar ingeniería de valor para lograr la mejor solución. Para el proyecto de un muelle hay que analizar concienzudamente diversas opciones antes de realizar el diseño de detalle definitivo por lo que es muy conveniente que diseñadores y constructores colaboren de manera conjunta en buscar la mejor solución para cada caso específico. 