

El Uso del Acero en Obras Portuarias

Por Ing. Carlos Casabonne R.
GALLEGOS CASABONE ARANGO Ingenieros Civiles S.A.C.

Resumen

Las obras marinas es un tema de actualidad en nuestro país por la necesidad de ampliar nuestra infraestructura portuaria. En el trabajo se analiza los materiales más empleados en la construcción de obras portuarias (acero y concreto), sus ventajas comparativas tanto en su empleo en la subestructura como en la superestructura de obras portuarias. En el análisis se compara las ventajas desde el punto de vista de constructibilidad, de durabilidad, de mantenimiento.

Introducción

La construcción de obras portuarias para dar facilidad para el atraque de embarcaciones, ha sido una continua preocupación desde que el hombre tuvo necesidad de desplazarse por el mar para sus actividades de comercio o de exploración y conquista.

En el mundo antiguo las primeras grandes obras de ingeniería portuaria (aquellas construidas por ingenieros fenicios, griegos y romanos) fueron fundamentalmente construidas con piedra y madera. Así lo atestiguan los restos de los puertos de Tiro, Ostia Antica, Alejandría. La piedra, en la forma de grandes bloques tallados, fue empleada para la construcción de rompeolas, espigones y muelles marginales; en algunos casos los romanos reemplazaron parcialmente la piedra por concreto vaciado. La madera fue empleada en pilotes para muelles y tableros, pasarelas, en defensas para el atraque y en edificaciones.

La práctica de construcciones portuarias no cambió sustancialmente en los 1500 años que siguieron a la caída de Roma en el siglo V, hasta que los nuevos materiales (acero y concreto) comenzaron a ser empleados en la construcción de puertos. El muelle Dársena construido con ingeniería francesa en los últimos años del siglo pasado fue enteramente en madera empleando pino oregón creostado. Este muelle sirvió al movimiento de carga general y luego para productos de pesca hasta que fue demolido en los años 70, aún en buenas condiciones de servicio, para dar paso a una de las remodelaciones del puerto.

Los primeros muelles de acero en el Perú, fueron aquellos construidos para el embarque de productos agrícolas de exportación como azúcar y algodón, de los valles de la costa y los muelles para la industria del petróleo. Entre los primeros citamos los muelles de Pacasmayo, Eten y Pimentel. La infraestructura de dichos muelles fue construida con pilotes de acero empleando básicamente rieles de ferrocarril y tubos de sección circular. Los tableros fueron hechos de madera apoyados sobre vigas del mismo material. De igual manera se construyó el primer muelle de carga líquida del puerto de Talara por los años 20 y que prestó servicios hasta la construcción del nuevo terminal en los 90.

En los años 30 se introdujo la tecnología del concreto armado para la construcción de estructuras marinas con la construcción del nuevo terminal marítimo del Callao. Los muelles 1, 2, 3 y 4 fueron construidos enteramente de concreto: pilotes prefabricados de sección cuadrada como subestructura y tablero de vigas y losas macizas todo en concreto armado vaciado en sitio.

Los años 60 trajeron innovaciones con la introducción del concreto pretensado en la fabricación de pilotes y en la prefabricación en concreto armado o pretensado de elementos para los tableros (vigas y losas).

La experiencia tenida en el Perú con las obras construidas con pilotes pretensados no ha sido buena, todos los amarraderos del muelle No. 5 han tenido que ser intervenidos por deterioro de los pilotes pretensados. Mejor comportamiento se ha observado en los elementos de los tableros, éstos han soportado bien la agresión del medio.

Uso del Acero Estructural

Hay muy buenas razones para seleccionar el acero para la construcción de obras marinas en la costa Oeste de Sudamérica:

La razón primera son las fuerzas sísmicas

Para la costa peruana, que es la zona de mayor sismicidad en nuestro territorio y es clasificada como zona sísmica 3 en la Norma de Diseño Sismo Resistente, la fuerza sísmica equivalente para una estructura de muelle soportada en pilotes es probablemente mayor que las fuerzas debidas al atraque de los buques. Como quiera que este tipo de estructuras tiene su masa sísmica concentrada en su parte alta como un péndulo invertido, cualquier disminución en la masa sísmica reduce los efectos del sismo. La reducción se traducirá en un menor número de pilotes y en ahorros significativos en el costo y en el tiempo de ejecución.

La segunda razón es constructibilidad

En la costa Oeste de Sudamérica no existe equipo flotante adecuado, el equipo que existe está generalmente equipado con grúas de construcción pequeñas. El uso de pilotes de acero, que son livianos comparados con los de concreto, el uso de cabezales de acero y de elementos de acero para el tablero permite el uso de grúas relativamente pequeñas. Las condiciones del mar en zonas no abrigadas de la costa del Pacífico son difíciles para la construcción marina. Las olas de gran período predominantes hacen difícil la construcción con equipo flotante. Por esta razón muchas estructuras marinas en mar abierto han sido construidas por el método de lanzamiento con avance desde tierra. Las estructuras livianas son favorables para este método porque permiten el uso de grúas de menor tonelaje y siendo que la carga de la grúa empleada para el montaje termina siendo la carga que controla el dimensionamiento de los elementos del tablero, se logra ahorros sustantivos en la estructura.

Por otro lado cuanto más livianos son los elementos por izar mayor será el alcance del equipo de izaje, lo que permite ampliar la distancia entre cerchas de pilotes, con lo cual se consigue otra ventaja que puede ser significativa tanto en el costo de obra como en el plazo de ejecución.

La tercera razón es menor costo inicial

Lo tradicional en nuestro medio es que las estructuras de concreto sean más económicas que las estructuras de acero, sin embargo en la construcción de obras marinas, en particular en la construcción de muelles tipo espigón en mar abierto, las ventajas del menor peso de las estructuras metálicas descritas al explicar los aspectos de constructibilidad, llevan por lo general ahorros en el costo, que cambian el resultado tradicional y dan como resultado un menor costo de construcción.

Debe estudiarse en cada caso si el ahorro en costo inicial usando estructuras metálicas no se pierde por el mayor costo del mantenimiento requerido por las estructuras metálicas. En teoría es posible mantener estructuras de acero por muchos años con la provisión de protección catódica pasiva o activa para el caso de estructuras sumergidas y con recubrimientos de alta calidad para los elementos de acero en las zonas de marea, salpicadura y para las sometidas a la atmósfera. El revestimiento de polietileno para los pilotes tubulares de acero desarrollado en Japón hace 15 años, ha dado excelentes resultados ya que elimina los problemas de corrosión en particular en las zonas de marea y salpicadura que son las más vulnerables y difíciles de proteger y mantener y elimina la necesidad de protección catódica en las zonas sumergidas.

Si bien el acero tiene ventajas evidentes tanto para la construcción de las superestructuras, es en los pilotes donde dichas ventajas son más notorias. En el cuadro 1 se compara pilotes de acero con pilotes de concreto, dicho cuadro, fue elaborado con ocasión de la elaboración del proyecto del muelle de carga líquida para Petróleos del Perú en Talara, los parámetros usados en la comparación y sus conclusiones tienen aún vigencia.

Estudio comparativo entre pilotes de concreto y pilotes de acero aplicables a obras en mar abierto en el Perú

Tipo de Pilote	Tubular de acero	Tubular de concreto
Peso. Considerando una longitud de fabricación de 30m	Menor 7.0 t	Mayor 20 t
Sección del pilote	Tubular	Maciza La fabricación de pilotes tubulares de concreto requiere de una industria de prefabricación sofisticada no disponible en nuestro medio.
Manipuleo transporte	Más fácil	Complicado. Requiere equipo más pesado. Obliga a maniobras más cuidadosas para no dañar los pilotes.
Procedimiento de hincado	Fácil. El pilote tubular permite mayor penetración y permite la excavación interior para lograr mayor profundidad de penetración.	Más difícil. Requiere equipo de hincado pesado. No es fácil lograr la penetración deseada, en algunos casos imposible, lo que obligaría a otra estructuración.
Empalme	Fácil y rápida	Complicado y moroso. Puede haber problemas de corrosión en la unión. En pilotes pretensados el empalme es muy difícil.
Equipo de hincado	Más liviano D30/44	Más pesado. No existe en el país D44 o mayor para lograr penetración
Degradación de hincado	Mínima y localizada	Mayor fisuración transversal en toda su longitud debido a los efectos dinámicos producidos en la hincado. La fisuración atenta contra la durabilidad del pilote.
Resistencia	Mayor resistencia a la flexión. No fisura. Tiene mayor resistencia a la fatiga.	Buena resistencia a la compresión. Poca resistencia a la tracción y se fisura.
Durabilidad	Necesaria su protección. Hay métodos confiables para	Vulnerable a la corrosión cuando se fisura. Difícil de proteger. Requiere

	protección catódica y el recubrimiento con polietileno.	ingredientes densificadores, control riguroso de la producción, colocación consolidación y curado.
Reparabilidad	Muy fácil	Compleja pero posible en pilotes de concreto armado. Muy difícil en pilotes de concreto pretensado.

Uso del concreto

El uso del concreto en obras marinas está enraizado en el mundo entero. Las principales ventajas sobre el acero son su durabilidad y su bajo costo de mantenimiento.

Con el concreto también es posible desarrollar conceptos estructurales diferentes y hay campo para la innovación. Por ejemplo, en algunas regiones es posible construir estructuras de gravedad económicas como cajones, a menores costos que estructuras soportadas sobre pilotes. La principal ventaja del cajón está en su gran capacidad para resistir cargas verticales, que los hacen muy adecuados para grúas porta contenedores, otros equipos pesados y por su constructibilidad. Los cajones de concreto son muy fáciles de mantener y son muy resistentes al impacto debido al atraque de las naves.

Los usos principales del concreto se dan en la superestructura, en particular en las estructuras para el atraque y amarre de las naves en las que se requiere una gran masa, en las superficies de plataformas de carga y en los tableros de los puentes de acceso cuando tienen tránsito de vehículos.

Los principales aspectos para producir estructuras durables de concreto para ambiente marino son: diseño apropiado de mezcla y técnicas apropiadas de colocación. El diseño de mezcla requiere una relación baja A/C, aire incorporado y cemento moderadamente resistente a sulfatos. Con relación a la colocación se requiere: recubrimientos generosos para el refuerzo, concretos muy densos, muy buena consolidación del concreto y un control ceñido del contenido de aire y agua. Hay desarrollos recientes en el diseño de mezclas que mejoran su durabilidad en ambiente marino. Ellos incluyen el uso de puzzolanas y/o cenizas, revestimientos con membranas impermeables y el uso de barras protegidas con recubrimientos epóxicos.

Conclusiones

El acero estructural, el concreto armado y/o pretensado tiene características propias que los hacen atractivos para obras portuarias. El acero por su menor peso permite el uso de equipos de construcción más ligeros, reduce la masa sísmica, permite estructuras con menos pilotes y con luces mayores. El concreto tiene su uso más aparente en las estructuras de tableros ya sea con elementos prefabricados o llenados en sitio. El acero tiene ventajas evidentes para la infraestructura de muelles de espigón cuando las características del mar hacen difícil el uso de equipos flotantes para el transporte e hincas de pilotes.

El acero y el concreto tienen usos complementarios en obras portuarias.

Las características de cada material deben ser evaluadas y comparadas integralmente de manera de optar por una selección que sea la óptima considerando los aspectos: características del sitio, comportamiento estructural, de disponibilidad de materiales, de durabilidad, constructibilidad, tiempo de ejecución, costo inicial y costo de mantenimiento.

Ejemplos de Obras Portuarias Recientes

Seguidamente describimos algunas obras portuarias, algunas de ellas íntegramente en concreto, otras íntegramente en acero y otras mixtas donde el concreto y el acero han sido empleados en forma complementaria.

Muelle para carga de minerales a granel Compañía Minera Escondida Ltda., Antofagasta, Chile

Este es un buen ejemplo de un terminal especializado de carga en una región de alto riesgo sísmico y en mar abierto.

Fundación: Pilotes tubulares de acero con anclajes perforados en la roca.

Superestructura: Cabezales de pilotes en concreto armado y puentes reticulados de acero de 35 m de luz para el acceso de vehículos al muelle, La luz fue limitada por la disponibilidad de grúas montadas sobre plataformas gateadas. (Ver Foto 1).



Foto 1

**La Escondida, Colos - Chile
Exportación de concentrados de cobre**

Muelle para carga de minerales a granel de la Compañía Doña Inés de Collahuasi

Ejemplo de estructura en mar abierto en una región de alto riesgo sísmico.

Fundación: Pilotes tubulares de acero con anclajes perforados en la roca.

Superestructura: cabezales de acero y vigas puente reticuladas de 60 m de luz para el acceso de vehículos a la plataforma de carga; las vigas fueron lanzadas desde tierra. (Ver Foto 2 y 3).



Foto 2

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi - Chile
Concentrate Export Terminal



Foto 3

Collahuasi

Muelle de Carga Líquida de Talara

Fundaciones: Pilotes tubulares de acero.

Superestructura: En el viaducto vigas prefabricadas de concreto armado de 12 m de luz lanzadas desde tierra, apoyadas sobre cabezales de concreto vaciado en sitio. En la plataforma, el nivel inferior formado por vigas prefabricadas de concreto armado y una losa maciza vaciada sobre prelasas también de concreto armado. (Ver Fotos 4, 5, 6 y 7).

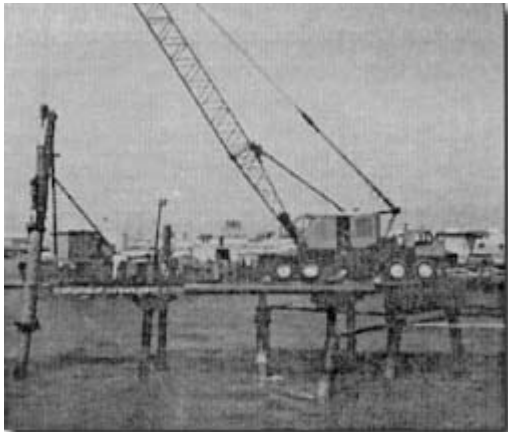


Foto 4

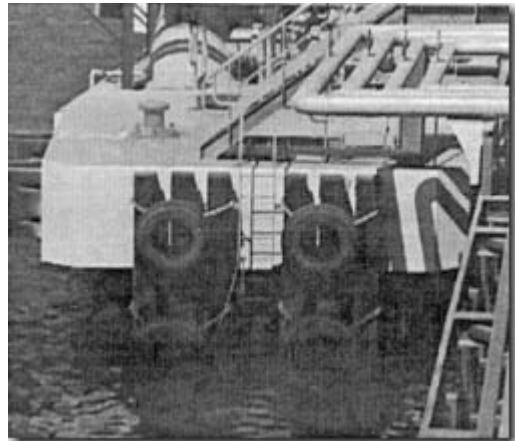


Foto 5



Foto 6

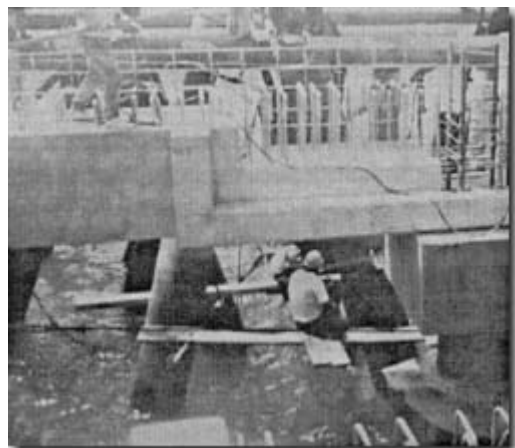


Foto 7

Muelle de Conchán

Terminal de carga a granel para la recepción de carbón y exportación de cemento.

Fundaciones: Pilotes tubulares de acero revestidos con polietileno y cabezales de acero.

Superestructura: Elementos prefabricados de concreto armado y losas vaciadas en sitio. (Ver Fotos 8, 9, 10, 11, 12 y 13).



Foto 8



Foto 9

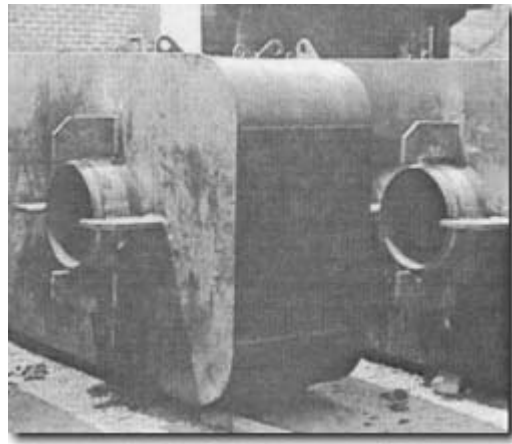


Foto 10

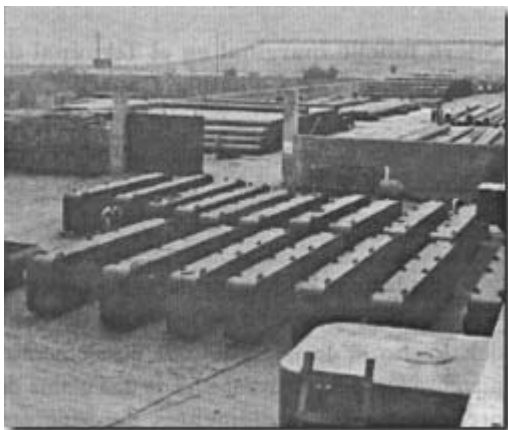


Foto 11



Foto 12

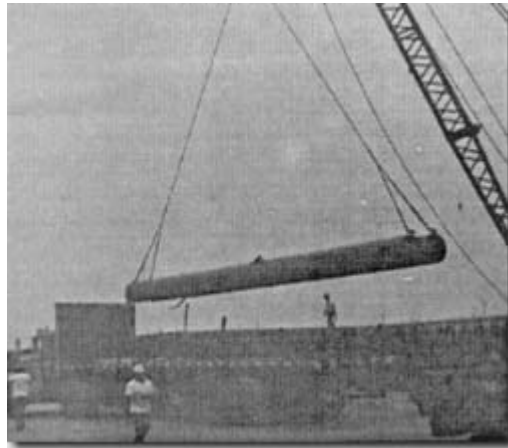


Foto 13

Nuevo muelle marginal en el Terminal de Squamish, British Columbia, Canadá

Superestructura: cabezales de pilotes vaciados en sitio, vigas doble T pretensadas y sobre losa de concreto en sitio.

Fundación: Pilotes tubulares de concreto pretensado, hincados en suelo blando del delta del río. En la decisión del uso de elementos pretensados pesó la existencia de una planta de prefabricación de elementos de concreto pretensado. La construcción en concreto fue decidida principalmente por su menor costo inicial y su menor mantenimiento comparado con una estructura de acero. Una característica del muelle es la del uso de una estructura de acero. Una característica del muelle es la del uso de una estructuración aporticada en dos direcciones con sólo pilotes verticales e independiente del muro de retención interior para evitar concentraciones de fuerzas horizontales de sismo en los pilotes del muro retenedor. (Ver Fotos 14 y 15).



Foto 14

Squamish



Foto 15

Squamish

Westshore Terminals Ltd.

Muelle para la exportación de carbón.

Superestructura: cabezales de pilotes vaciados en sitio, vigas doble T pretensadas y sobre losa de concreto en sitio.

Fundación: Pilotes tubulares de concreto pretensado. La dimensión y peso de los pilotes exigió movilizar desde los Estados Unidos equipo flotante pesado. (Ver Foto 16).



Foto 16

Westshore

Muelle de carga general de Fairview Terminals Ltd. en Prince Rupert (900 km al Norte de Vancouver)

Estructura: Cajones rellenos de roca y losa vaciada en sitio para formar la plataforma.

Los cajones fueron elegidos en base a consideraciones de costo, la que incluyó: fundación en roca, disponibilidad de roca para el relleno, la economía de la prefabricación de los cajones en un dique seco en Vancouver y su instalación rápida. Su elección se basó también en el costo bajo de mantenimiento y su gran capacidad de carga de la plataforma sobre el relleno de roca. (Ver Foto 17).

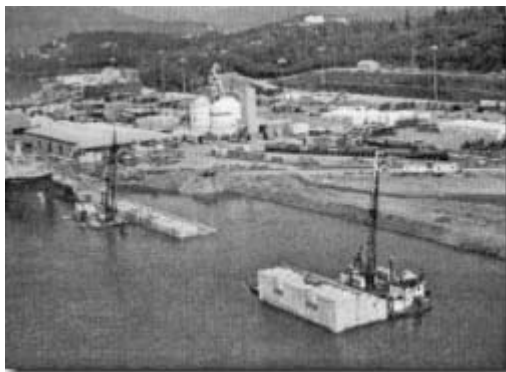


Foto 17