

**Rodrigo Ahumada G.**  
 Constructor Civil  
 Jefe Zonal Norte  
 PERI Chile Ltda.

## Puerto Mejillones: Alta Ingeniería frente al Mar



El Megapuerto Mejillones, situado en Antofagasta (norte de Chile), desarrolló soluciones de encofrado de alta ingeniería que redujeron el plazo de construcción y generaron ahorro en mano de obra.

Tradicionalmente las plataformas de los muelles de los puertos se construían en base a estructuras metálicas con soportes soldados in situ, con un enorme volumen de mano de obra y recursos asociados. El gran desafío de esta obra fue desarrollar soluciones de encofrado de alta ingeniería que pudieran ser reutilizadas de forma sistemática, con el objeto de reducir el plazo de construcción, otorgar un ahorro asociado en la mano de obra y otros recursos, los que son muy incidentes en la ejecución de estos trabajos.

El plazo de ejecución de esta obra fue de 18 meses, y además de contemplar cuatro sitios de atraque, cuenta con un rompeolas o atenuador de oleaje de 200 m de longitud.

La construcción del muelle, consistió en un tablero de hormigón de 220 m de largo por 50 m de ancho, montados sobre 300 pilotes de acero hincados en distintas direcciones según la disposición de los esfuerzos generados en la estructura.

El hormigón del tablero fue del tipo H-35, y la razón agua-cemento de 0,4 con un cono de 8 cm, con un recubrimiento mínimo de 5 cm para la enfierradura de acero.

### Hormigón y Acero como Soportes

Para dar solución a este desafío, se de-

finió hacer el tablero en dos etapas principales, la primera fue hormigonar las vigas de 1,8 m de altura hasta fondo de losa, para posteriormente hacer el vaciado del hormigón de la misma, cuyo espesor fue de 40 cm.

Para tal efecto, se diseñó un sistema de abrazaderas vulcanizadas con caucho, las cuales trabajaron por rozamiento al pilote de acero. Esto se concibió así por el impedimento técnico de hacer cualquier tipo de soldadura a los pilotes ya hincados, los cuales estaban protegidos contra la corrosión con una pintura epóxica especial.

Así una vez instaladas estas abrazaderas, se procedió a instalar la estructura soportante de las plataformas, las cuales recibieron el peso de las vigas indicadas en el punto anterior.

Esta estructura consistió en vigas de acero con regulación de altura, especialmente diseñadas, para la sollicitación a la cual iban a ser sometidas. Además se tuvo que diseñar un codal de acero con regulación para los pilotes inclinados, para asegurar que una vez se hiciera el vaciado del hormigón de las vigas, éstas no perdieran su posición de diseño.

Una vez instalada la estructura de amarre de los pilotes, se procedió a colocar una pieza que produce el desencofrado de los fondos de viga -lla-

mada caja-cuña- cuya carga de soporte de diseño es de 4,2 toneladas.

Sobre ésta, se apoyó una viga madre de acero, donde descansan las plataformas de las vigas que posteriormente se concretarían.

### Moldajes

El sistema de apoyo del encofrado de fondo se ajustó a las múltiples inclinaciones de los pilotes hincados y además permitió reutilizar de forma íntegra la estructura soporte sin la utilización de elementos perdidos. Con este sistema se obtuvo un avance de hasta 10 vigas transversales por mes de 20 ml y 1,8 m de altura cada una, complementado con la corrida de vigas longitudinales asociadas de 9 ml, de un total de 37 cepas de 50 ml cada una.

Para la losa, se diseñó un sistema de apoyo, el cual tuvo su sustentación en anclajes dejados en el vaciado del hormigón de las vigas (Foto 1).

Las terminaciones finales del hormigón fueron de alta calidad, según consta por



Foto 1. Soporte de losa apoyado en anclajes dejados en vigas.



Foto 2. Carro moldaje viga perimetral (faldón).

parte de la inspección técnica de obra y de nuestro mandante.

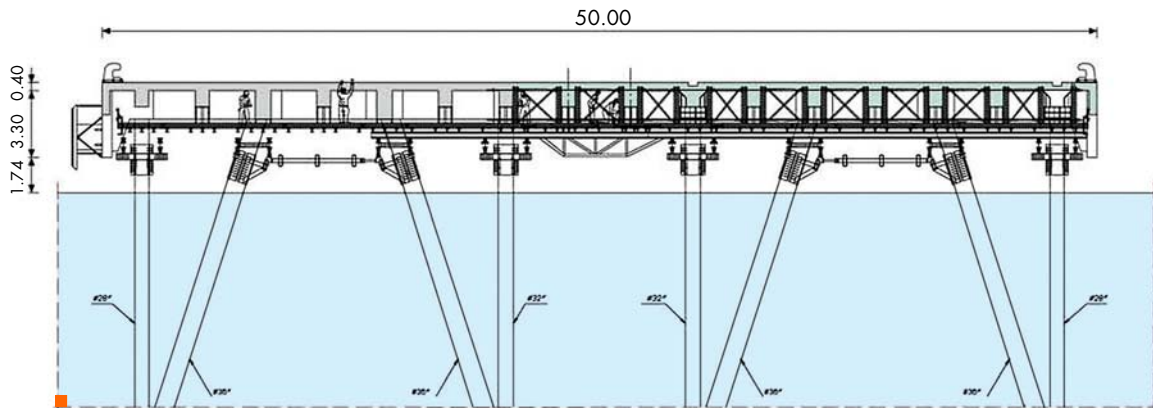
Para la viga perimetral (faldón), cuyo desarrollo presentó una alta complejidad, se diseñó un moldaje especial de acero montado sobre carro, el cual corría al borde exterior del tablero, conformando de esta forma, un tramo de doce metros lineales completos. El avance de esta estructura fue de 5 cepas completas por mes.

### Elementos Estructurales

El terminal 1 y 2, cuya inversión alcanzó los 120 millones de dólares, posee una capacidad inicial de dos millones de toneladas al año, con tres sitios de atraque llegando a una capacidad máxima de 3,5 millones de toneladas. Con los cuatro sitios de atraque terminados que corresponden a la fase 1, el último de éstos (sitio 4) se encuentra actualmente en su



57



■ Tablero de sitio de hormigón (sitio 1 y 2) apoyado sobre corridas de pilotes de acero de diferentes diámetros e inclinaciones.

fase final de construcción, completando así la capacidad máxima indicada anteriormente.

Los sitios 1 y 2, en tanto, fueron diseñados para el atraque de 4 cargueros simultáneamente, con calado de 14 m con hasta 75.000 DWT, convirtiéndose de esta forma en el puerto de mayor envergadura del país.

Los gaviones cilíndricos fueron la tercera estructura a desarrollar, los cuales consistieron en 8 cilindros de 24,2 m de diámetro por 24 m de profundidad en mar abierto, conformados por tabla-estacas de acero, el cual iba coronado con un muro de hormigón de 6 m de altura y 34 cm de espesor. Gran parte de ese vaciado se realizó bajo agua, a través del desplazamiento volumétrico del agua y el hormigón.

La secuencia de vaciado se hizo por tercios de circunferencia a toda la altura del muro. Para tal efecto, se diseñó un sistema de moldaje especial, el cual se afianzó sobre una estructura de acero especialmente diseñada y calculada para soportar las presiones de un hormigón H-35, muy fluido con un cono de 20 a 22 cm.

Esta estructura tuvo la particularidad de apoyarse en la misma tabla-estaca, conformada por láminas de acero, las cuales tenían un espesor de 10 mm. El encofrado se colgó posteriormente a esta estruc-

tura para luego iniciar el vaciado del hormigón. Cabe destacar que las terminaciones alcanzadas con este sistema de moldaje fueron óptimas.

La última estructura, y una de las más complejas, fue el muro de coronamiento del sitio 3 y 4, cuyas dimensiones son 5,9 m de altura por 2,0 a 2,5 m de espesor y 622 ml de longitud. El muro también fue apoyado sobre un tabla-estacado de acero y confinó el relleno estructural hecho en el mar, compactado por impacto y con protección de enrocados y coreloc.

Además de esto, la otra complejidad la presentaron los cables de los tensores que iban separados a 2 m entre sí, los cuales absorbían las tensiones de este relleno confinado contra el tabla-estacado.

Debido al fuerte oleaje, los vaciados de hormigón se realizaron en medio de una gran dificultad, produciendo presiones negativas en el moldaje, para lo cual no está diseñado ya que se trata de un moldaje 100% standard. Para superar este problema, se diseñó una estructura tipo cercha de acero dispuestas en pares, apoyadas en el tabla-estacado también de acero, con regulaciones de altura y desplazamiento horizontal, con fondo especialmente acondicionado para seguir el contorno de la tabla-estaca dando así un moldaje 100% estanco y buscando producir un descimbre completo de la estructura con la menor can-

tividad de maniobras de grúa.

Los vaciados de hormigón se realizaron en dos etapas. La primera etapa de 2 m de altura, en tramos de 20 a 30 m cada una, estaba 100% sumergida en el agua y se completó bajo el mismo principio del desplazamiento volumétrico descrito anteriormente. La segunda, de 3,9 m de altura, en tramos de las mismas longitudes que la primera, sobresalía en gran parte del nivel del agua.

Los vaciados se hicieron en su mayor parte con fuerte oleaje y con un muy buen resultado, poniendo a prueba la resistencia y estabilidad de las estructuras que fueron diseñadas especialmente.

## Conclusiones

En el desarrollo de un proyecto de esta envergadura y complejidad, es imperativo el trabajo en equipo donde se tenga presente una actitud pro-activa frente al proyecto en su totalidad.

Con novedosas soluciones de ingeniería, como lo fueron los encofrados, el desarrollo de la innovación en la construcción de mega-proyectos se materializa junto con conseguir un importante ahorro en mano de obra y plazos de construcción. **E**



