

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTRADIQUE DE CUBÍPODOS EN EL PUERTO EXTERIOR DE A CORUÑA EN PUNTA LANGOSTEIRA

M. Santos¹, A. Corredor¹, E. Maciñeira², M.E. Gómez-Martín³, J.R. Medina⁴

¹SATO (Grupo OHL), Paseo de la Castellana 259-D, 28046 Madrid, mo.santos@ciccp.es, acorred@ohl.es

²Autoridad Portuaria de A Coruña, Avda. de la Marina 3, 15001, A Coruña. emacine@puertocoruna.com

³Universidad de Alicante, Carretera San Vicent del Raspeig s/n, 03690 Alicante, esther.gomez@ua.es

⁴Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, jmedina@upv.es

RESUMEN

Se describe brevemente el proceso de diseño y construcción del Dique Oeste del Puerto Exterior de A Coruña, actualmente en construcción, que debe completarse antes de la temporada invernal de 2015. El contradique tiene una longitud de 1.35 km y está protegido por un manto monocapa de Cubípodos en tronco de $W[t]=25$ y 30 en tronco y manto bicapa de Cubípodos de $W[t]=45$ en morro. El tronco está diseñado para resistir sin daño un temporal muy superior al de cálculo (ELU con más de 5000 años de periodo de retorno), $H_s[m]=8.75$ y $T_p[s]=15$ y 18. La profundidad en el morro (BMVE) es $h[m]=22$ y la carrera de marea $\Delta h[m]=5.0$. La transición monocapa-bicapa y tamaño de pieza se realiza internamente (núcleo y filtro) en el tramo de tronco próximo al morro, para mantener la continuidad y homogeneidad del talud externo del dique. Las obras actuales del Dique Oeste constituyen la Fase 2 de construcción del contradique; la Fase 1 es el Dique Sur, construido en 2012 para asegurar la toma de agua de la central térmica de Sabón. El Dique Sur está protegido con un manto monocapa de Cubípodos de $W[t]=15$ y 25 en tronco y morro que se desmonta casi en su totalidad para reutilizar los Cubípodos en el nuevo dique. En el Dique Oeste se reutilizan 1.360 Cubípodos de $W[t]=15$ y 25 colocados en 2012 y 2013 en el Dique Sur y el Dique Norte, que ahora quedan abrigados por la construcción del Dique Oeste. En el parque de bloques del Dique Oeste se han fabricado 6.760 nuevos Cubípodos de $W[t]=25$, 30 y 45, consumiendo unos 1.100 m³/día de hormigón en ciclo de trabajo de 24 horas, produciendo 3.5 unidades por encofrado vertical, desencofrando a las 6 horas y acopiando a 5 alturas.

1. INTRODUCCIÓN

El Puerto Exterior de A Coruña en Punta Langosteira está abrigado por uno de los diques más grandes del mundo, terminado en 2011; este abrigo principal se completa ahora con el contradique del puerto de 1.35 km de longitud, construido en dos fases: (Fase 1) el Dique Sur de 0.45 km de longitud construido en 2012 y (Fase 2) el Dique Oeste que continua la traza del Dique Sur hasta alcanzar 1.35 km y $h[m]=22$. La Fig. 1 muestra la planta del Puerto exterior de A Coruña en Punta Langosteira en el que destaca el dique de abrigo principal de 3.35 km de longitud, protegido con un manto convencional bicapa de bloques cúbicos de $W[t]=150$ en el tronco y hasta $W[t]=195$ en el morro con hormigón de alta densidad (ver Burcharth et al., 2015), diseñado para resistir el temporal de cálculo ($T_R=140$ años, daños moderados $\approx 5\%$) de $H_s[m]=15$ y $T_p[s]=18$ a profundidad $h[m]=40$ (BMVE), con una carrera de marea $\Delta h[m]=5$. Los temporales del NW son los dominantes y el contradique queda parcialmente abrigado a los grandes temporales de la zona. Después de analizar el oleaje en aguas profundas y la propagación de los temporales al abrigo del dique principal, la Autoridad Portuaria de A Coruña determinó las características del oleaje extremo (ELU y ELS) que debía considerarse en diferentes puntos del trazado del contradique. La Fig. 2 muestra uno de los casos típicos de agitación del puerto con oleaje del NW.

Para el diseño inicial del contradique (Niveles I y III) se aplicaron los criterios de la ROM 1.0-09 en cuatro tramos diferentes: primera alineación, cambio de alineación, segunda alineación y morro. Con estos criterios se propuso un diseño convencional con manto bicapa de cubos $W[t]=25$ y 50 en tronco y $W[t]=50$ en morro, con talud

$H/V=1.5$. Esta solución se validó en laboratorio con los correspondientes ensayos físicos a escala reducida. Una vez definida la solución inicial del Proyecto Base, la Autoridad Portuaria de A Coruña sacó las obras a licitación con variante, pudiendo las ofertas proponer cambios en el talud, tipo de pieza, número de capas (excepto el morro que tenía que ser bicapa), berma de pie, etc., que también debían ser validadas con los correspondientes ensayos físicos.



Figura 1. Planta del Puerto exterior de A Coruña en Punta Langosteira.

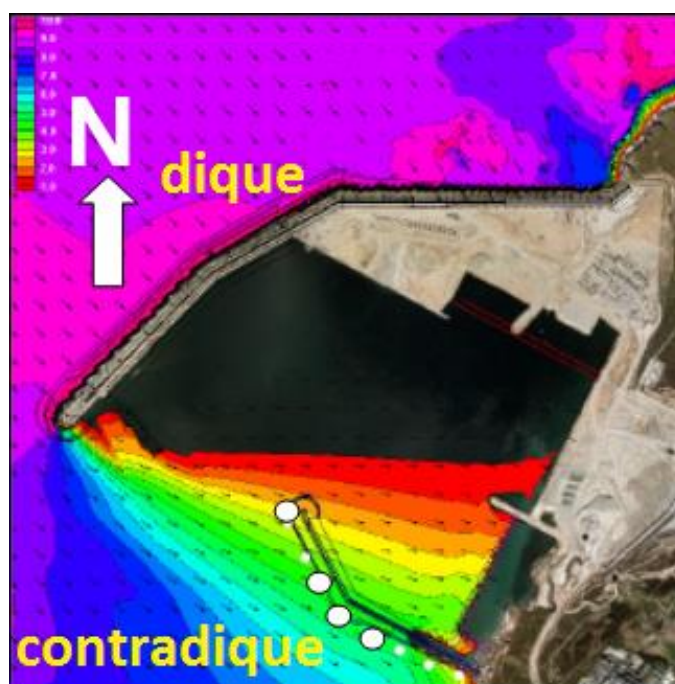


Figura 2. Contradique afectado por la difracción del oleaje en el dique principal.

La licitación “con variante” es un tipo de licitación que permite, en las grandes obras marítimas, reducir sustancialmente los costes de construcción, mejorando al mismo tiempo la seguridad y funcionalidad de la obra. La licitación “con variante” se apoya en la innovación en los procesos de diseño y construcción, para reducir efectivamente el coste económico, el consumo de materiales y la huella energética y del carbono, manteniendo al mismo tiempo un razonable beneficio industrial para el licitador. La obra inicialmente diseñada, se optimiza en su diseño (coste de materiales) y pensando en la construcción (costes logísticos), se reducen al mínimo los errores y se consigue un diseño final más fiable al construir y de menor coste. Ganan todas las partes implicadas: (1) la Administración promotora que consigue grandes ahorros económicos al optimizarse la obra en competencia, corrigiendo errores y utilizando la mejor tecnología, (2) el adjudicatario que puede obtener un razonable beneficio en un mercado deprimido, optimizando el diseño primero y construyendo después lo que se ha diseñado, (3) la sociedad que impulsa la innovación y reduce los costes económicos y ambientales de las obras y (4) la comunidad técnica y científica que pone en valor los conocimientos para optimizar las obras. Por otro lado, la licitación “sin variante” (muy frecuente en el pasado), tiende a generar conflictos entre Administración promotora y el adjudicatario por los errores de proyecto y no permite optimizar significativamente lo ya diseñado; la depresión del mercado agrava la situación, empujando a algunos licitadores a realizar ofertas económicas muy bajas que, sin modificaciones relevantes, se traducen en beneficios industriales muy pequeños que explican la quiebra económica de algunas empresas del sector en los últimos años. Finalmente, hay que resaltar que el futuro de nuestras empresas está en competir eficazmente en el mercado internacional y para ello es necesario movilizar toda nuestra capacidad de innovación y competitividad, que no se movilizará si siguen siendo frecuentes las licitaciones “sin variante”. En resumen, hacer buenos proyectos base y licitar “con variante” y con tiempo suficiente para estudiar los proyectos y, en su caso, validar las variantes con ensayos físicos, es la mejor forma de reducir costes económicos y ambientales dentro de España y ganar competitividad dentro y fuera de España.

En el caso del contradique del Puerto exterior de A Coruña, todas las obras se sacaron la licitación con variante, tanto el Dique Norte y Dique Sur (Fase 1 del contradique) en 2012, como el Dique Oeste (Fase 2 del contradique) en 2014. En las dos licitaciones, la solución variante ganadora fue la protegida con manto de Cubípodos. Manto monocapa en tronco y morro para el Dique Norte y Dique Sur y manto monocapa en tronco y bicapa en morro para el Dique Oeste, en los dos casos generando grandes ahorros económicos y muy pocos contratiempos durante la ejecución de las obras. Como el Dique Norte y Dique Sur quedan abrigados por el nuevo contradique, la mayoría de los Cubípodos de los mantos de estos diques se reutilizan en el manto del Dique Oeste.

Al licitar diques “con variante”, además del manto bicapa convencional de bloques paralelepípedicos o cubos que se utiliza desde el S XIX, entran en liza los mantos monocapa de piezas especiales (Accropode, Core-Loc, Xboc, Cubipod, etc.), que desde los años 80 se han construido a cientos por todo el mundo y consumen mucho menos hormigón (menos del 50%). El ahorro de hormigón de los mantos monocapa es tan relevante que puede compensar el mayor coste impuesto por los encofrados especiales y los bajos ritmos de producción de algunas piezas. El cambio del tipo de pieza y número de capas, del talud o de la berma de pie puede resultar en ahorros económicos muy relevantes. La validación con ensayos físicos es muy recomendable para garantizar los niveles de seguridad definidos en proyecto.

En este artículo se describe primero los ensayos físicos que sirvieron de base para el diseño de la variante de Cubípodos y después el diseño ya la construcción del Dique Oeste.

2. DISEÑO DEL DIQUE OESTE: ENSAYOS FÍSICOS DE VALIDACIÓN

El abrigo del dique principal terminado en 2011 provocó un desplazamiento de arenas hacia el interior del nuevo puerto que amenazaba la toma de agua de la central térmica de Sabón. En 2012 y 2013 se construyeron el Dique Sur y el Dique Norte con mantos monocapa de Cubípodos de $W[t]=15$ y 25 (ver Corredor et al., 2014), para frenar el basculamiento de la Playa de Alba y proteger la toma de agua de la central térmica. Además de proteger la toma de agua, el Dique Sur (450 metros) se proyectó con la sección y el trazado adecuado para constituir la primera fase del futuro contradique del nuevo puerto. Así pues, las obras del Dique Oeste arrancan del Dique Sur (primera fase) y completan en contradique del puerto con una longitud total de 1.35 km, hasta alcanzar la profundidad $h[m]=22$ en el morro.

El Proyecto base del Dique Oeste definía una solución convencional con manto bicapa de cubos que se había validado (y optimizado) por el GEAMA (Universidade da Coruña, UDC) en el tanque del CITEEC (UDC). Este Proyecto base se diseñó a Nivel I y III siguiendo las directrices de la ROM 1.0-09 (ver Maciñeira et al., 2015). Sobre la solución inicial de dique convencional con bicapa de cubos de $W[t]=25$ y 50 , validada con ensayos físicos 3D, el concurso público admitía variantes en el manto (tipo de pieza y tamaño), bermas y filtros con la consiguiente validación con ensayos físicos similares. La solución ganadora del concurso se ensayó a escala 1/51 por el GEAMA (UDC) en el tanque del CITEEC (UDC), de $32.0 \times 17.0 \times 1.2$ metros con oleaje irregular unidireccional. En los ensayos se alcanzaron oleajes superiores a los exigidos, correspondientes a periodos de retorno $T_R[\text{años}] > 200$ para inicio de averías (daño=1% en el morro y $N_{od}=0.5$ en el tronco) y $T_R[\text{años}] > 5000$ para estado límite último (daño=10% en el morro y $N_{od}=4.5$ en el tronco). La Fig. 3 muestra la planta del contradique con la Fase 1ª (Dique Sur) y la Fase 2ª (Dique Oeste); se muestra también un vista del Modelo II (tronco con cambio de alineación) a escala 1/51, ensayado con un manto monocapa de Cubípodos de $W[t]=24$ que resistió sin daños $H_s[m]=11.1 > 8.75$ (ELU).

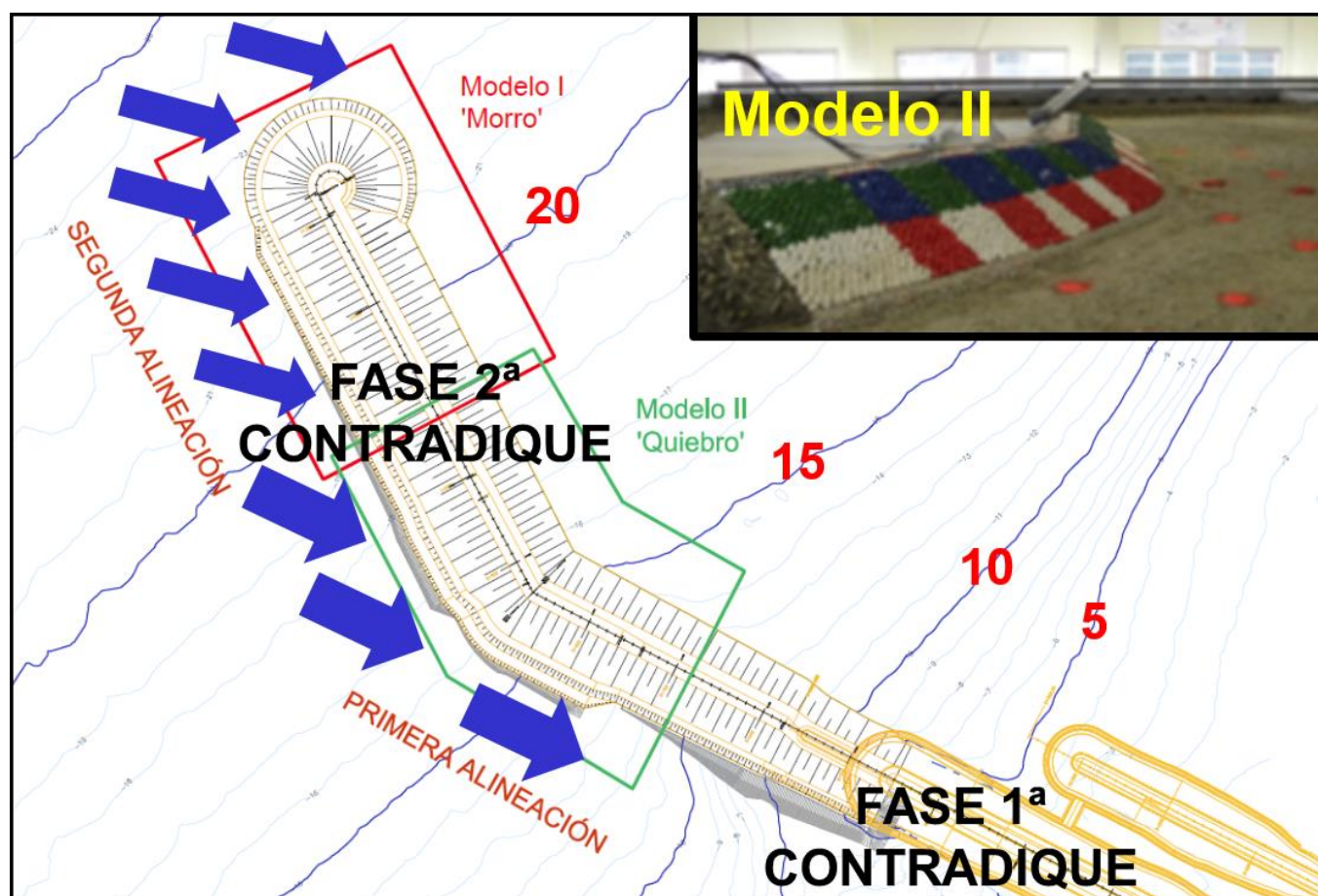


Figura 3. Planta del contradique (Fases 1ª y 2ª) y vista del Modelo II (cambio de alineación).

El morro y la segunda alineación del tronco fue validado con otro ensayo (Modelo I) a escala 1/51 en la misma instalación. En el caso del morro, las condiciones de licitación exigían una protección bicapa en el morro y el tronco adyacente; como el tronco se protegía con un manto monocapa, era necesario además diseñar una transición monocapa-bicapa y validarla en el ensayo. La Fig. 4 muestra la planta del Modelo I (morro) dividido por sectores de diferentes colores para poder identificar los daños locales. El ensayo de validación se realizó protegiendo el modelo con un bicapa de Cubípodos de $W[t]=24$, excepto los sectores marcados en rojo (22.1, 22.2, 23.1, etc.) en los que se colocaron Cubípodos de $W[t]=42$ en la segunda capa del manto. El Modelo I resistió por encima de los ELS y ELU fijados para este tramo de la obra. La transición monocapa-bicapa se realizó aumentando progresivamente el espesor de la capa de filtro y contruyendo con cuñas opuestas para apoyar siempre escollera sobre Cubípodos; de ese modo se mantiene homogénea la superficie exterior del manto. Ningún daño se observó en la transición incluso con oleajes muy severos (reforzando el morro). Los ensayos físicos realizados han validado ampliamente el diseño de Cubípodos propuesto.

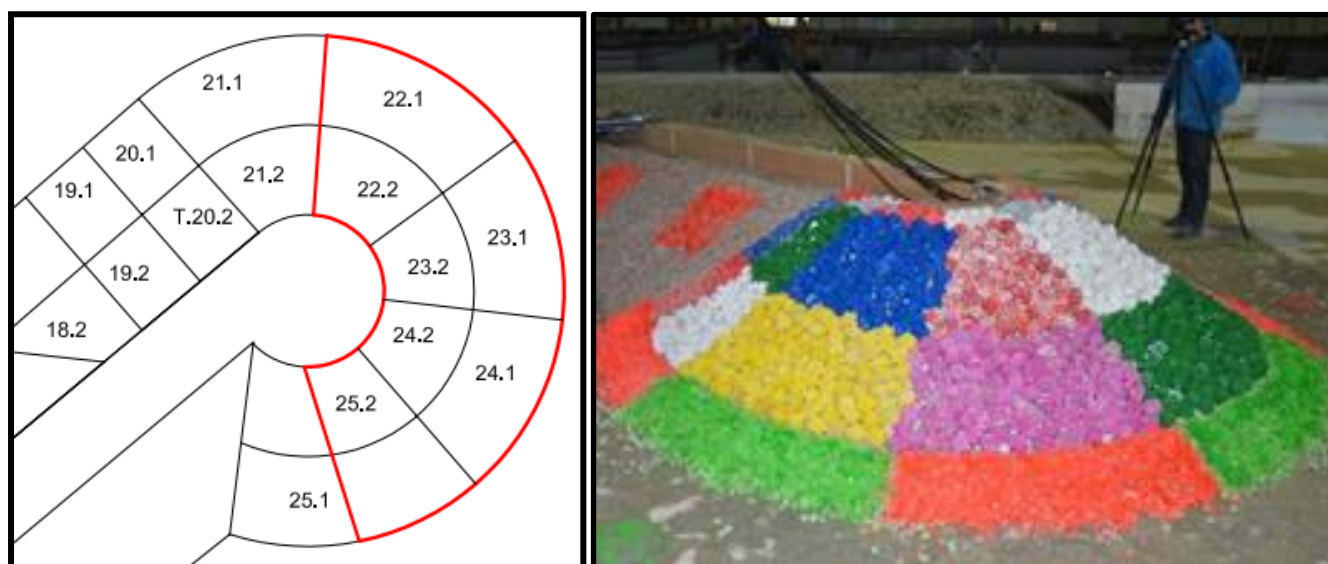


Figura 4. Planta con sectores y vista del Modelo II (morro) a escala 1/51.

Finalmente, la variante presentada y proyecto en ejecución tiene un manto monocapa de Cubípodos de $W[t]=25$ y 30 en tronco (primera y segunda alineación) y bicapa de $W[t]=45$ en morro.

Dado que los diques Sur y Norte van a quedar abrigados progresivamente al avanzar las obras del contradique, se están recuperando la mayor parte de los Cubípodos de $W[t]=15$ y 25 que los protegen; en total, 500 Cubípodos de $W[t]=25$ y 860 Cubípodos de $W[t]=15$ para reutilizarlos en el Dique Oeste. Los Cubípodos de $W[t]=25$ se recuperan del morro del Dique Sur actual y se han utilizado en la primera alineación del Dique Oeste. Los Cubípodos de $W[t]=15$ se recuperan a lo largo de la obra del Dique Norte y del trasdós del Dique Sur, y se colocarán en la coronación del nuevo dique, donde la sollicitación es menor.

3. CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE OESTE EN PUNTA LANGOSTEIRA

La construcción del dique Oeste se caracteriza por la reutilización de Cubípodos del Dique Norte y Dique Sur, que quedan abrigados por el nuevo Dique Oeste, y por la celeridad en la construcción. En efecto, a partir del

Dique Sur (0.45 km) hasta $h[m]=8.3$, se ha completado el contradique (1.35 km) hasta $h[m]=22$ en el periodo estival de 2015. Iniciadas las obras en abril (parque de bloques), el contradique se está terminando antes de la temporada invernal.

La Fig. 5 muestra una planta del contradique indicado los movimientos de reutilización y peso de las unidades del manto.

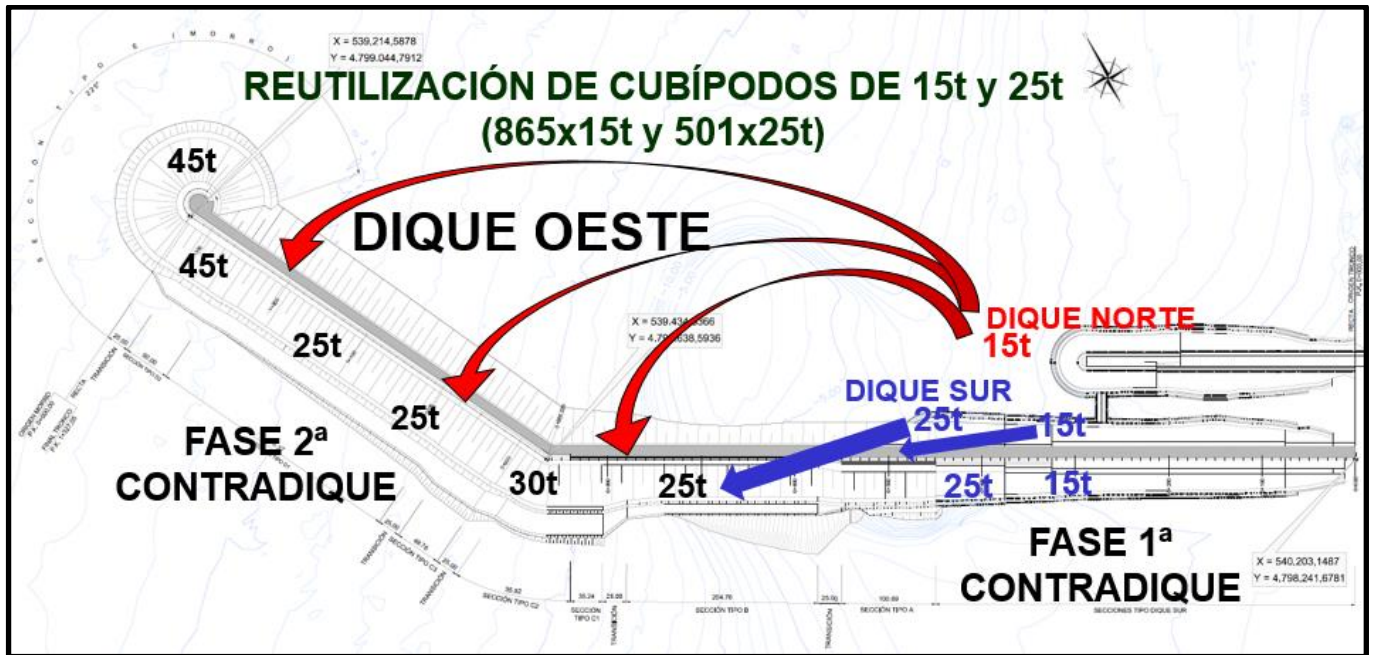


Figura 5. Reutilización de Cubípodos en el Dique Oeste.

El parque de bloques tiene un andén elevado por el que circulaban los camiones para que vertían una media de $1.100 \text{ m}^3/\text{día}$ en los meses de máxima producción. Se han utilizado 14 encofrados de $W[t]=25$, 5 encofrados de $W[t]=30$ y 6 encofrados de $W[t]=45$, con 3.5 bases/encofrado. Se ha desmoldando a las 6 horas, produciendo de tres a cuatro Cubípodos/encofrado y día, en ciclos de trabajo de 24 horas/día. La fabricación se ha intensificado en los meses de mayo a julio y el acopio se ha realizado a 5 alturas. La Fig. 6 muestra una vista aérea del parque de bloques del Dique Oeste con Cubípodos de $W[t]=45$ y 30 acopiados en primer plano y Cubípodos de $W[t]=25$ en el fondo.



Figura 6. Vista aérea del parque de Cubípodos del Dique Oeste (7 de julio de 2015).

La Fig. 7 muestra una vista aérea del Dique Oeste (primer plano) en construcción con el dique de abrigo principal en el fondo. Las obras se han desarrollado sin contratiempos relevantes siguiendo el plan previsto; el contradique está previsto terminarlo antes de la llegada del invierno; la dársena del puerto ya está correctamente abrigada.



Figura 7. Vista aérea del Puerto Exterior de A Coruña en Punta Langosteira (29 de septiembre de 2015).

4. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El dique de abrigo principal del Puerto Exterior de A Coruña en Punta Langosteira se terminó en 2011; el abrigo del puerto se completa ahora con el contradique del puerto de 1.35 km de longitud, construido en dos fases: el Dique Sur de 0.45 km de longitud construido en 2012 (Fase 1) y el Dique Oeste que continua la traza del Dique Sur hasta alcanzar 1.35 km y $h[m]=22$ (Fase 2). Para el diseño inicial del contradique (Niveles I y III) se aplicaron los criterios de la ROM 1.0-09 y se propuso un diseño convencional con manto bicapa de cubos $W[t]=25$ y 50 en tronco y $W[t]=50$ en morro, validado en laboratorio con los correspondientes ensayos físicos a escala reducida. Una vez definida la solución inicial del Proyecto Base, la Autoridad Portuaria de A Coruña sacó las obras a licitación con variante, pudiendo las ofertas proponer cambios en el talud, tipo de pieza, número de capas (excepto el morro que tenía que ser bicapa), berma de pie, etc., que también debían ser validadas con los correspondientes ensayos físicos. La licitación “con variante” es un tipo de licitación que permite, en las grandes obras marítimas, reducir sustancialmente los costes de construcción, mejorando al mismo tiempo la seguridad y funcionalidad de la obra.

Siguiendo las directrices de diseño a Nivel I y III de la solución base (manto bicapa convencional de cubos) y de acuerdo con las condiciones de la “licitación con variante” planteada por la Autoridad Portuaria de A Coruña, en este artículo se describe la variante ganadora de Cubípodos propuesta por la UTE (SATO, Dragados, Arias Hermanos y Drace). La solución se basa en un manto monocapa de Cubípodos de $W[t]=25$ y 30 a lo largo de toda la traza del dique, excepto el morro donde se protege el dique con un manto bicapa de Cubípodos de $W[t]=45$. Destacable la reutilización de 1.360 Cubípodos de $W[t]=15$ y 25 procedentes del Dique Norte y Dique Sur, que quedan abrigados por el nuevo Dique Oeste y la construcción de una transición monocapa-bicapa cerca del morro para mantener la homogeneidad de la superficie exterior del manto. Todo el diseño ha sido validado en dos ensayos físicos 3D desarrollados por el GEAMA (UDC) a escala 1/51 en el tanque del CITEEC (UDC), con dos modelos diferentes que han resistido muy por encima de los límites ELS y ELU ($H_s[m]=8.75$ en cambio de alineación).

La construcción del Dique Oeste se empezó en abril y se terminará antes de la temporada invernal, cuando llegan los grandes temporales a la fachada atlántica. En el parque de bloques se han fabricado 6.700 nuevos Cubípodos de $W[t]=25, 30$ y 45 , en ciclo de trabajo de 24 horas/día, con un consumo de hormigón alcanzando $1.100 \text{ m}^3/\text{día}$. Se han fabricado una media de 3.5 Cubípodos/encofrado y día, desmoldando a las 6 horas. La construcción se ha desarrollado con la programación prevista sin contratiempos reseñables.

El desarrollo del proyecto y ejecución del Dique Oeste es un ejemplo de cómo la licitación con variante permite obtener grandes ahorros económicos y ambientales al promotor sin perjudicar a las empresas adjudicatarias, que pueden obtener un razonable beneficio optimizando las obras con la mejor tecnología y validándola con los ensayos físicos correspondientes

El mensaje del Presidente de Puertos del Estado en la sesión de apertura de estas XIII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos fue claro y rotundo: **no hay futuro sin innovación.**

Se están dedicando muchos recursos a la Investigación y el desarrollo de numerosos proyectos pero es preciso y urge que aquellas innovaciones emanadas de los mismos puedan ser puestas en valor.

Las Autoridades Portuarias de Málaga, A Coruña y recientemente la de Las Palmas han dado los primeros pasos contribuyendo a que las innovaciones puedan ser puestas en práctica.

Como regla general, la “licitación con variante” con tiempo suficiente para proponer y validar variantes, debería ser la forma normal de licitar las grandes obras marítimas.

5. REFERENCIAS

- Burcharth, H.F., Maciñeira, E. and Noya, F., 2015. Design, construction and performance of the main breakwater of the new outer port at Punta Langosteira, A Coruña, Spain, in *Design of Coastal Structures and Sea Defenses*, Ed. Y.C. Kim, World Scientific.
- Corredor, A., Santos, M., Peña, E., Maciñeira, E., Gómez-Martín, M.E. and Medina, J.R. 2014. Single-layer Cubipod armored breakwaters in Punta Langosteira (Spain). *Proc. of 34th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, 34(2014): structures.12.
- Maciñeira, E., Peña, E., Bajo, V. Sande, J. and Noya, F., 2015. Probabilistic Design of the Secondary Breakwater in the New Harbour Basin of the Outer Port of A Coruña. *Proc. Coastal Structures and Solutions to Coastal Disasters Joint Conference*, ASCE, 9-11 Sep. 2015, Boston-Mass. (in press).
- ROM 1.0-09. 2009. ROM 1.0-09 Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo. (Parte 1ª. Bases y factores para el proyecto. Agentes climáticos). Puertos del Estado. Ministerio de Fomento, Gobierno de España. 708 pp.