

RECRECIDO DEL ESPALDÓN DEL DIQUE SUROESTE

Puerto de Cartagena

Promovida por la Autoridad Portuaria de Cartagena la obra ha contado con Acciona Ingeniería como empresa redactora del proyecto y UTE Cyes Maritime Works – Inerzia Infraestructuras y Desarrollos Urbanísticos como la empresa constructora. La obra ha sido posible gracias a los ingenieros de caminos: José Manuel González Herrero, como proyectista, y Martín Jáuregui Pajares que se ha encargado de la dirección de obra, contando como jefe de obra con Francisco Borja Aguilar Escrivá.

■ *Texto: Martín Jáuregui Pajares. Jefe de Área de Explotación. Autoridad Portuaria de Cartagena*





PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL RECRECIDO DEL ESPALDÓN DEL DIQUE SUROESTE DE ESCOMBRENAS

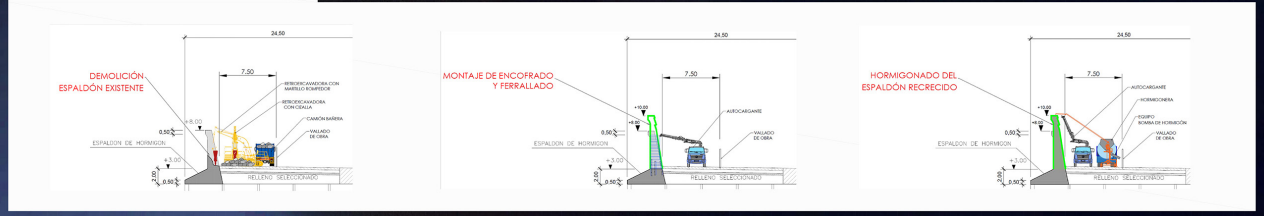


DATOS GENERALES:

- Longitud: 400 m.l.
- Hormigón HA-35: 3000 m³
- Armadura PRFV: 67.000 Kg
- Armadura Acero: 58.000 Kg
- Conexiones: 6.400 Ud
- Presupuesto (IVA Incl.): 1.533.818,29 €



PROCESO CONSTRUCTIVO



Cartel de la obra.

Construcción e inicio del problema de rebases

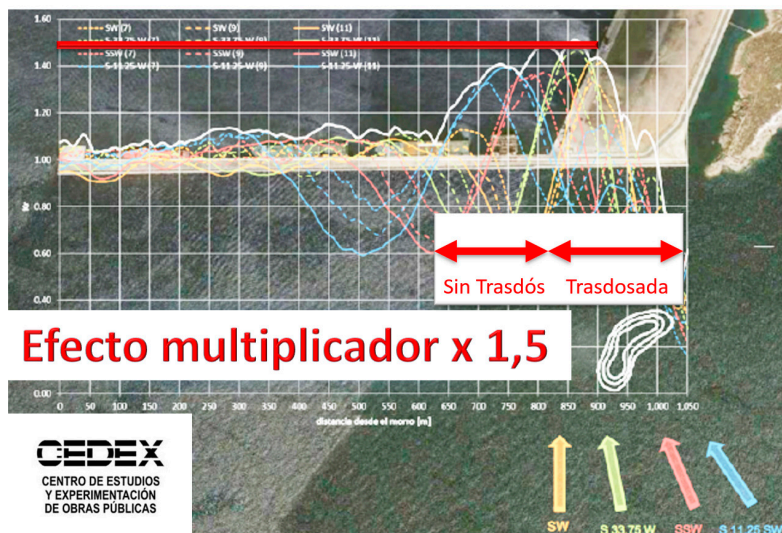
Durante los años 2000 a 2005 se realizó la primera fase de las obras de ampliación de la dársena de Escombreras en el Puerto de Cartagena, con un presupuesto de adjudicación de 68.310.939,15 €. La obra tenía tres partes diferenciadas. El Dique Sur estaba formado por un primer tramo de dique en talud, con un núcleo de "todo uno" con sus escolleras protegido en su cara exterior por bloques de hormigón de 45t, coronado con un espaldón en masa, que continuaba con un segundo tramo de dique vertical de cajones fondeados a la cota -24. El Dique perimetral, que rodea al islote de Escombreras, se compone de cajones prefabricados de hormi-

gón armado fondeados a la cota -12. El Dique Suroeste tiene una longitud total de 1027m y sus cajones están fondeados a la cota -28m y su función principal es la de ser el nuevo dique de abrigo de la dársena de Escombreras. Todos los tramos ejecutados con cajones se coronaban con un espaldón de hormigón armado hasta las cotas +4 y +8, según la exposición a temporales. Durante los años en los que ha estado en servicio, se ha tenido que restringir el acceso al Dique Suroeste cuando se han producido temporales con altura de oleaje superior a 3m, para garantizar la seguridad de las personas frente a las masas de agua en forma de *spray* que se originan al romper contra el dique. Estos fenómenos, cada

vez más frecuentes, llevaron a la Autoridad Portuaria de Cartagena a encargar un análisis al Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC), dependiente del CEDEX.

Los problemas comenzaron cuando se diseñó la obra del espaldón del Dique Suroeste pues no se prestó suficiente atención al efecto de un bajo existente a 200m del futuro dique de abrigo. Tampoco se valoraron los efectos del calentamiento global, el cambio climático y el incremento de la magnitud y frecuencia de los temporales marinos. Tras modelizar matemáticamente esta zona, se detectó que efectivamente afectaba a la altura de oleaje. Se procedió a corroborar dicha simulación con un modelo

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DEL CEPYC



Estudio del efecto del bajo submarino.

significativa. Al cabo de los años empezaron a verse, por principios de oxidación, las armaduras en el espaldón. Conforme fue avanzando la corrosión, las armaduras incrementaban de volumen provocando la rotura del hormigón. Dado que las armaduras están colocadas en un plano a una distancia igual al recubrimiento, empezaron a desprenderse lajas de hormigón dañado por ese incremento de volumen, dejando completamente vistas las armaduras.



Corrosión de las armaduras del espaldón.

En los últimos años están surgiendo patologías similares en otros puertos, circunstancia que se ha estado investigando para analizar sus causas. Entre las más probables destacan el recubrimiento insuficiente de las armaduras y una exigencia insuficiente en la normativa vigente respecto a la calidad del hormigón en ambiente marino situado por encima del recorrido de marea. El contenido en cemento del hormigón está muy ligado a la durabilidad de la estructura. Concretamente la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) establecía que el contenido en cemento mínimo para esta estructura debía ser 300kg, cuando en recorrido de marea se exige 350kg. Quizás esta zona se haya infravalorado y realmente ha estado sometida severamente al agresivo ambiente marino. En la industria especializada se han estado desarrollando sistemas con nanopartículas que son capaces de paralizar la corrosión al iniciarse, pero que no son de aplicación cuando está tan avanzada.

físico 3D en las instalaciones del CEPYC, con el objeto de medir su efecto para diferentes oleajes y direcciones. El resultado de dicho estudio fue que el bajo afectaba en un tramo 400m de dique, generando un efecto amplificador de hasta 1.5 veces el oleaje inicial.

Se decidió estudiar la cantidad de agua que rebasaría si se incrementaba la cota de coronación en intervalos de 1m hasta 3m. Para ello, se midieron los

caudales con diferentes recrecidos, llegando a la conclusión de que la altura de recrecido óptima eran 2m, ya mejoraba sustancialmente frente a 1m y la reducción de caudal con incrementos mayores no llegaba a ser significativa.

Estado del hormigón al cabo de 15 años

Paralelamente en el tiempo, se detectó que la corrosión de las armaduras del espaldón construido desde entonces era

Estudio de Alternativas

Posteriormente se contrató a Acciona Ingeniería para que comprobara la estabilidad del dique

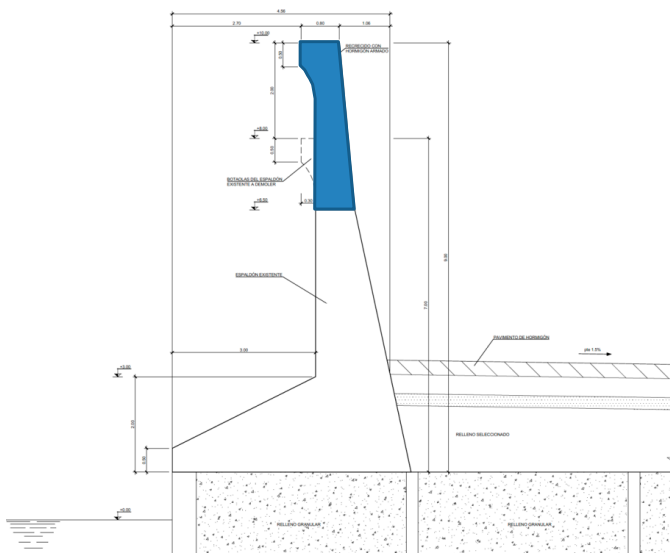
recreciendo su espaldón 2m. El tramo de dique afectado contempla dos zonas: una trasdosada (con rellenos a un lado y agua al otro) y otra sin trasdosar (agua en ambos lados). La zona sin trasdosar empeoraba su situación respecto al proyecto inicial, porque al ser más alto el dique se vería sometido a mayores esfuerzos por culpa del oleaje,

pero cumplía sin problemas. Sin embargo, en la zona trasdosada no se empeoraba de forma significativa la situación existente.

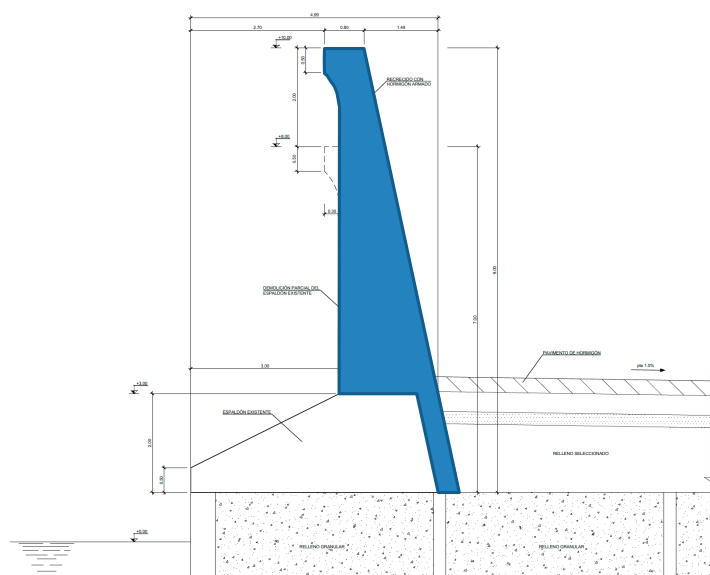
Se decidió hacer un estudio de las posibles alternativas para reducir los rebases, que desembocó en un total de cinco alternativas. Las primeras cuatro estudiaban alcanzar el recreci-

do propuesto de 2m de altura, llegando a la cota +10m. La quinta alternativa era realizar una voladura submarina del bajo que causaba esta afección. Dado que zona está dentro de una protección ambiental, se decidió descartar esta última opción.

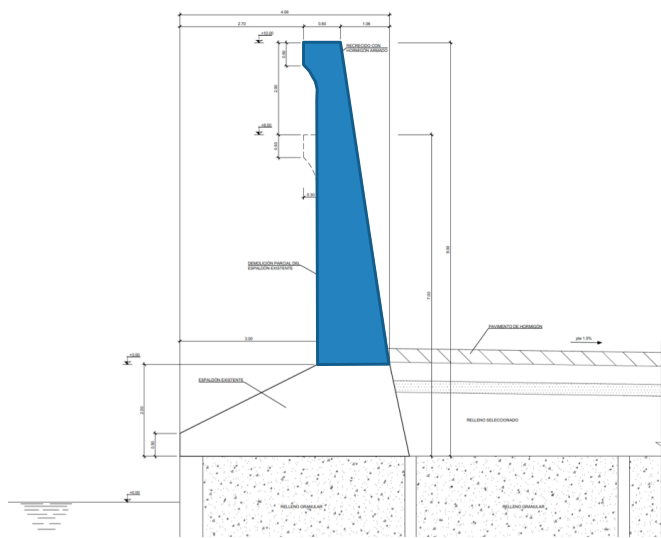
Las restantes alternativas consistían en:



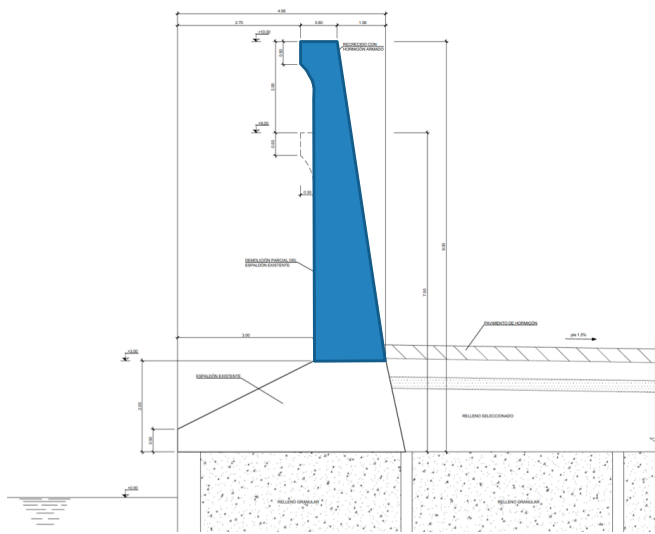
Alternativa 1: Recortar el espaldón por el botaolas y recrecerlo hasta la cota +10m.



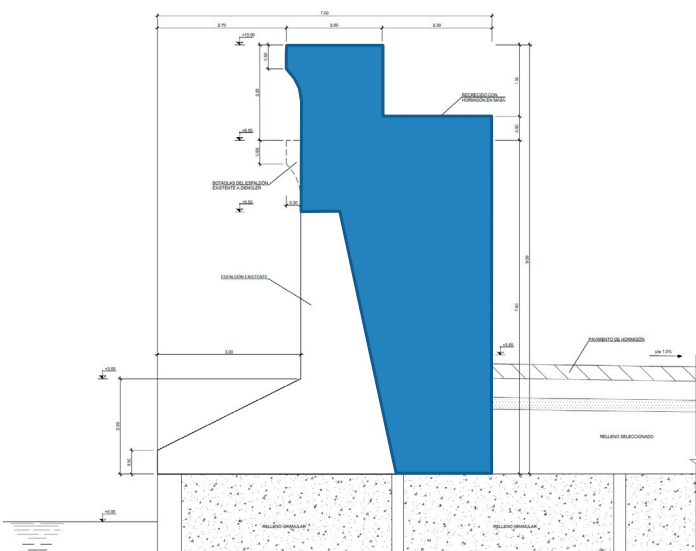
Alternativa 2: Realizar la demolición del espaldón existente hasta su base y recrecerlo incrementando su anchura desde la base.



Alternativa 3a: Se emplearían materiales tradicionales y se finalizaría con un tratamiento de inhibición frente a la corrosión.



Alternativa 3b: Demolición del espaldón pero empleando armaduras de PRFV.



Alternativa 4: Construcción de un suplemento de hormigón en masa en el trasdós del espaldón actual.

Tras el análisis de estas alternativas, se descartaron la número 1 porque no cumple el cálculo a esfuerzo cortante y la alternativa número 4 por ocupar un espacio en el dique que es muy necesario. Posteriormente se evalúan las restantes económicamente, descartándose la alternativa número 2 por ser más costosa que la Alternativa número 3a.

Solución	Presupuesto Ejecución Material
2 	1.617.000 €
3a 	1.343.000 €
3b 	1.697.000 €
4 	1.443.000 €

Descarte de alternativas.

Quedaron por tanto las alternativas 3a (la económica con acero) con un presupuesto de ejecución material de 1.343.000€ y la alternativa 3b (la duradera con PRFV) con un coste de 1.697.000€. La cuestión es decidir qué debe premiar ¿La economía o la durabilidad? Evidentemente esta cuestión no se la plantearon cuando diseñaron la Gran Muralla China o las Pirámides de Egipto, ya que no existían férreos sistemas de control de gasto y evaluación de inversiones. De hecho, ningún estudio de rentabilidad en la actualidad permitiría alguna de las siete maravillas del mundo, o quizás sí, pero esto sería objeto de otro artículo.

Como no se estaba en la situación del emperador chino Shi Huang intentado defender su nación, la solución adoptada fue una alternativa mixta de ambas opciones y consistió en optimizar los materiales allí donde son necesarios. Por tanto, se decidió emplear armaduras de PRFV en el lado mar, más expuesto al agresivo ataque de la corrosión y utilizar las tradicionales barras de acero corrugado en la cara protegida, que hasta el momento no había presentado problemas. El importe de ejecución material de esta solución fue de 1.400.000 €.

Para el cálculo de las acciones de oleaje se disponían de dos series de datos: Nodo Simar (2072090) y DOW 16 del IH Cantabria. Se optó finalmente este último. Para determinar las presiones sobre el cajón y el espaldón también disponíamos de dos alternativas: la formulación de Goda-Takahasi y de las presiones obtenidas en los ensayos en modelo a escala en el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEDEX). Estos últimos presentaban valores mayores que los primeros, por lo que se decidió utilizarlos permaneciendo del lado de la seguridad.

¿Qué es el PRFV?

El PRFV corresponde a las siglas de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio, pero posiblemente muy pocos visualizan como es un armado con este material o sus características físicas comparadas con el acero tradicional. Las principales ventajas que ofrece el empleo de este tipo de armaduras en ambiente marino es que es inmune a la corrosión, por lo que el aumento de durabilidad quizás sea el factor más destacable. Además, tienen conductividad eléctrica nula, pesa cuatro veces menos que el



Armado interno del espaldón (en ejecución).



Armado interno del espaldón (finalizado).



Desenfofrado de una puesta.



Esperas de conexión de PRFV y Acero.

acero, por lo que la manipulación en obra no precisa de fuertes operarios y se puede utilizar en los cálculos a fisuración valores más altos de abertura de fisura de los que marca la normativa para las armaduras tradicionales. Otra ventaja importante, para los que prefieren no tener un taller en obra, es que se elabora íntegramente en fábrica.

Al igual que toda moneda tiene dos caras, las barras de PRFV tienen el inconveniente más importante en la ausencia de resistencia a cortante. Además, como no se pueden doblar en obra, se debe realizar un despiece exacto en el pedido a fábrica (y rezar



Hormigonado de la zona de apoyo.

para que no haya modificaciones en obra). No debe impresionar el precio del kg, ya que su densidad es casi cuatro veces inferior que el acero, pero, aun así, su coste es más alto que el armado con acero. En la actualidad hay pocos fabricantes que proporcionan este tipo de armaduras y su uso es reducido, pero se espera que los precios se ajusten a medida que incrementa la competencia. Al aumentar la demanda y por la economía de escala, se reducirán los precios. Para su empleo en España es necesario un documento de idoneidad técnica (DIT) que emite el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

En la tabla (arriba a la derecha) se muestra las diferencias entre las características mecánicas del acero corrugado, empleado habitualmente en las obras, con las armaduras de PRFV.

Para realizar el cálculo, en ausencia de legislación en España,

Material	Acero	Armadura de PRFV
Densidad	7.850 kg/m ³	1.980 kg/m ³
Límite elástico	400 MPa 500 MPa	610 MPa
Modulo elástico	210 GPa	40 GPa
Módulo de Poisson	0.3	0.3

se disponía de las normativas italiana y la americana. La normativa italiana CNR DT 203/2006 se basa en los conceptos de los Eurocódigos, por lo que se mayoran las acciones, se minoran las resistencias de los materiales y se comparan esfuerzos frente a las capacidades resistentes obteniéndose un coeficiente de seguridad. En cambio, la normativa americana ACI

440 R, se basa en mayorar las acciones, minorar las resistencias de los materiales en función del tipo de exposición, calcular la resistencia de la sección a los esfuerzos normal, cortante, flector y torsor, aplicar un coeficiente de minoración a dicha resistencia en función del modo de rotura y finalmente comparar las acciones mayoradas con las resistencias minoradas.

Colocación de la armadura.





Ensayo presiones sobre el espaldón en el CEPYC .

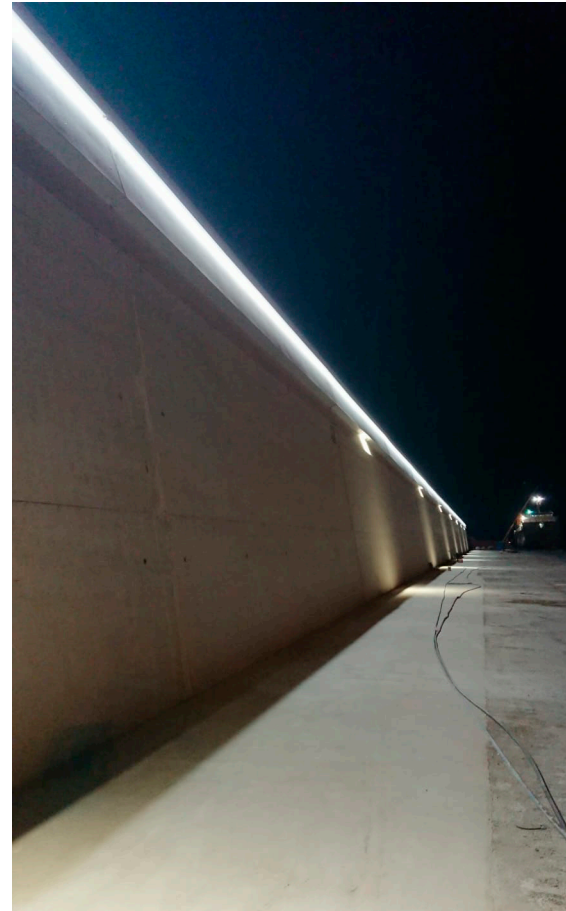


Ensayos de oleaje en el CEPYC.

En el caso que nos ocupa del espaldón, el resultado del cálculo fue que para soportar los esfuerzos mayorados era necesario colocar nueve barras del diámetro 32 mm por cada metro lineal de espaldón. La armadura transversal, aplicando la normativa italiana, es un 20% de la vertical lo que supone 5 barras de 20 mm, de diámetro por metro lineal. Para el cálculo de la armadura de acero corrugado en el interior, que es la cara comprimida, se empleó la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

Nuestra esperanza era poder optimizar aún más el cálculo, permitiendo una mayor abertura de fisura, pero el resultado no fue el esperado al no ser un factor determinante, ya que no se llegaba a superar el momento de fisuración, por lo que no se pudo optimizar más. Esto ocurrió porque los coeficientes en los Estados Límite de Servicio son diferentes de los Estados Límite Últimos y la fisuración pertenece a los primeros.

Con objeto de mostrar un derecho de originalidad sin pre-



Espaldón finalizado con iluminación.

cedentes, se decidió modificar el diseño tradicional de la cara lado tierra del espaldón creando unos salientes que servirían para alojar y proteger la necesaria y siempre olvidada iluminación del dique. Gloria para el diseñador y pesadilla del constructor, fueron motivo de discordia durante la ejecución.

Construcción

Para la ejecución de las obras de esta tipología conviene seleccionar cuidadosamente la temporada de menores temporales, ya que se deja temporalmente desprotegida la zona hasta que el hormigón alcanza la resistencia necesaria para soportar las acciones del oleaje. La empresa ganadora en la licitación pública fue una UTE formada por Cyes Maritime Works – Inerzia. El suministrador de las armaduras de PRFV fue Rthp. ■