



✓
Por I. Eduardo de J.
Vidaud Quintana

Ingeniero Civil
Maestría en Ingeniería

Su correo electrónico es:
evidaud@mail.imcyc.com

EL DIQUE FLOTANTE DE CONCRETO MÁS GRANDE DEL MUNDO EN EL PUERTO DE LA CONDAMINE:

EL PRINCIPADO DE MÓNACO

El uso del concreto en estructuras marinas se remonta a la antigüedad. Conforme se ha desarrollado este material, también su uso se ha extendido a diversas aplicaciones marítimas tales como: muelles, diques, faros, espigones, defensas costeras, entre otras.

Una de las más colosales obras marítimas de ingeniería en la actualidad, ha sido construida de concreto reforzado y preesforzado, y fue premiada en el año 2006 por la fib (Fédération internationale du béton), como "Obra excepcional de concreto" ("Awards for Outstanding Structures").

La construcción se encuentra ubicada en el Principado de Mónaco y no es más que el dique de abrigo y muelle flotante de concreto más grande del mundo (Foto 1); solución ingenieril única cuya estructura amplió en 6 hectáreas el puerto monegasco de La Condamine.

El principal problema en la expansión y crecimiento del Principado de Mónaco es su falta de espacio. No se puede olvidar que se trata del



Foto 1



Foto 2

Dique flotante de concreto en Mónaco.



Fuente:
<http://www.doris-engineering.com/prod/offshore4.html>

Proceso de construcción del dique.



Fuente: Sinke P

país más pequeño del mundo después del Vaticano, con una superficie de 1.9 km², situación que motiva la tendencia de los monaguenses de extenderse hacia el mar.

La construcción del dique, concebida para 100 años de vida útil, no se llevó a cabo en Mónaco; debido a que el Principado no cuenta con las instalaciones portuarias adecuadas, además de que una construcción de tal envergadura induciría a importantes problemas medioambientales. Tales motivos sugirieron que fuera construido en los astilleros de Crinavis, en una dársena seca de la Bahía de Algeciras, localidad gaditana al sur de España; para luego ser transportado por mar algo más de 1500 kilómetros, hasta el puerto de La Condamine.

Una vez concluida la construcción prefabricada del dique (Foto 2), la dársena fue inundada y éste comenzó a flotar; previamente se habían desarrollado pruebas de validación de la estanqueidad. Luego, fue demolido y dragado el macizo que la cerraba por el lado de la bahía y el dique fue sacado al mar hacia La Condamine.

Para asegurar el éxito del transporte se realizaron exhaustivos estudios estadísticos de las condiciones meteorológicas, así como de las corrientes marinas y del oleaje. El traslado se llevó a cabo haciendo uso de barcos remolcadores, que poseían una fuerza máxima de tiro de 180 toneladas (Foto 3).

El enorme cajón de concreto reforzado viajó durante 12 días sin detenerse, con una velocidad media de algo más de 3 nudos. A su llegada a Mónaco era preciso acometer maniobras asociadas al posicionamiento definitivo, para luego comenzar con las complejas operaciones de anclaje y conexión a tierra.

La concepción final del proyecto consistió en un dique de "abrigo" flotante como estructura principal y un contradique; cumpliendo la doble función de proteger la zona del puerto y permitir el atraque de grandes barcos; existiendo en su interior un estacionamiento para 400 vehículos y un puerto seco para embarcaciones menores.

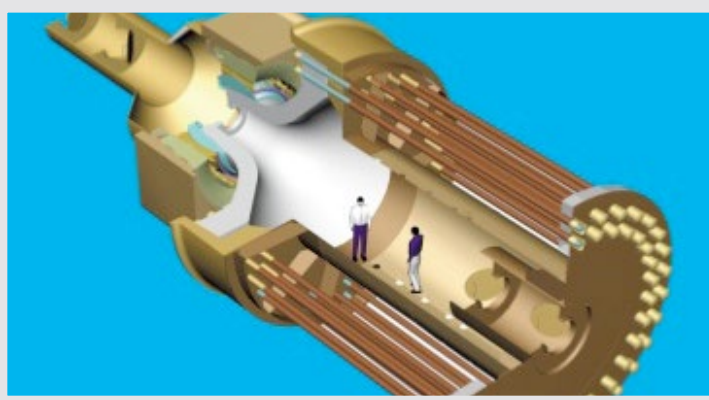
El dique se enlaza con tierra con un sistema de rótula a un cajón fijo en el estribo (Fig. 1); en el otro extremo se amarra mediante 8 líneas o cadenas de anclaje fijadas por medio de pilotes metálicos hincados en el fondo marino (Fig. 2).

El dique, que duplicó la capacidad del puerto, tiene 352.75 metros de longitud, 44 metros de ancho máximo a nivel de la losa inferior; con 24 metros y medio de altura o puntal, que incluye la superestructura. El cajón principal tiene forma de paralelepípedo con 28 metros de manga y 19



Figura 1

Rótula de acero moldeado de 2.6 metros de diámetro para la conexión del dique al estribo de tierra. La pieza de 689 t de peso, en operación permite movimientos de giro limitados en las tres direcciones, coartando todos los posibles movimientos de traslación.



Fuente: Peset González L., et. al., 2002.

metros de puntal. Para el diseño estructural se tomaron en cuenta diferentes estados de carga en los que se combinaron: acciones de peso propio, de equipos, empujes y desplazamientos impuestos, acciones variables de explotación y de circulación, cargas medioambientales (oleaje, corriente, viento, amplitud de marea, nieve, etc.), cargas accidentales de origen sísmico y de impacto de buques, entre otras. Se tomaron en cuenta los estados límites últimos, accidental, de fatiga y de servicio; siguiendo normas vigentes en Francia, reglas BAEL y BPEL; complementadas por las normas noruegas NS3473 para las justificaciones de ancho de fisuras y de fatiga.

La sección transversal consiste en una "U" con doble paramento, cerrada en su parte superior mediante una losa única de mayor espesor. El doble paramento vertical consiste en cuatro muros longitudinales paralelos de 19 m de altura y 352 m de longitud, que dejan un espacio libre interior de 17 m; distribuyéndose dos a cada lado de este espacio central, y separados 5.5 m entre ellos (Fig. 3). En la dirección horizontal, el doble paramento consiste en dos losas separadas 4 m en la zona inferior de la sección (la de solera y la intermedia). La primera tiene un ancho de 44 m sobresaliendo 8 m en voladizo a cada lado de los muros exteriores. La segunda tiene un ancho libre de 17 m discurrendo entre los muros longitudinales interiores.

Esta disposición de doble muro, tanto en la zona inferior como en ambos laterales, se asemeja al principio de doble casco de los barcos, con la doble función de protección contra impactos; así como la de crear cámaras laterales y de fondo que sirvan para los lastrados necesarios; según la distribución de las cargas que se dispongan en su interior.

La rigidez transversal se consigue mediante muros transversales de 19 m de altura separados a 8 m. La prolongación en 8 m de la losa inferior, fuera de ambos muros longitudinales exteriores obedece a la función estabilizadora que crean estos voladizos para los movimientos del dique en el mar durante la fase de servicio. Por exigencias estructurales se disponen además, sobre la losa inferior y coincidiendo con los muros interiores transversales, rigidizadores triangulares exteriores de

4 m de altura. Los sistemas de piso de las plantas interiores del dique son de tipología convencional con vigas biapoyadas y losas compuestas de placas prefabricadas y losa "in situ" de compresión, de 8 y 7 cm de espesor, respectivamente. Las vigas de concreto pretensado, de 70 cm de peralte para el estacionamiento y de 80 cm para el puerto seco, tienen 17 m de longitud, y están espaciadas a 3.2 m. Con 40 mil m² de construcción, fueron utilizadas 44 mil m³ de concreto con resistencia a la compresión a los 28 días de 54 MPa (la resistencia media del fabricado en la obra superó los 75 MPa). También se utilizaron en el proyecto 3,300 toneladas de acero



Figura 2

Imagen del dique en donde se aprecia la distribución de apoyos.



Fuente: Adaptado de: Peset González L., et. al., 2002.



REPARADORES DE CONCRETO FESTER CM

En el mercado de la construcción es común que se presenten fallas al momento de colar el concreto en sitio. El mal vibrado, deficiencia en las mezclas, un curado incorrecto y el paso del tiempo pueden ocasionar oquedades o grietas que afectan la apariencia, resistencia y durabilidad del concreto.

La nueva línea de morteros reparadores Fester CM ofrece una solución práctica y duradera que se adapta a cualquier necesidad en obra o trabajos de mantenimiento combinando un excelente desempeño y fácil aplicación.



FESTER CM-100 Mortero anticorrosivo para acero de refuerzo. Gracias a su función de inhibidor de corrosión te permite evitar daños en el concreto por corrosión en el acero de refuerzo.

FESTER CM-201 Mortero para reparación de concreto estructural. Alta resistencia a la compresión y consistencia tixotrópica ideal para aplicaciones en cualquier posición, incluso en reparaciones sobre cabeza

FESTER CM-202 Mortero para reparación de concreto estructural. Alta resistencia a la compresión y consistencia fluida ideal para aplicaciones horizontales o con cimbra. Su fluidez te permite hacer grandes reparaciones en muy poco tiempo

FESTER CM-200 Mortero para reparación, resane y acabado de concreto. Su versatilidad te permite hacer reparaciones generales o dar un acabado homogéneo a superficies de concreto.



Antes



Después

REPARACIÓN DE DAÑOS EN UN ELEMENTO DE CONCRETO PREFABRICADO:

En la industria del concreto prefabricado es importante contar con un mortero de reparación de alta resistencia a la compresión, fácil aplicación y rápido fraguado. Con Fester CM-201 podemos realizar una reparación en menos de 60 minutos con el mejor desempeño del mercado.



Concreto y acero de refuerzo dañados



Vaciado de mortero Fester CM-202



Reparación terminada

REPARACIÓN EN PISOS DE CONCRETO DAÑADOS



Piso de concreto dañado



Remoción de concreto dañado



Reparación terminada con Fester CM-202

Para mayor información sobre la línea de Morteros Reparadores Fester CM consulta a tu distribuidor autorizado Fester, consulta nuestra página web www.fester.com.mx o recibe información a través de nuestra línea **01 800 FESTER7**



en armaduras activas y 10,500 toneladas de acero en armaduras pasivas.

Referente al pretensado, se trata de una estructura con armaduras activas en las tres direcciones posibles: longitudinal, vertical y transversal. Las principales mediciones llegan a casi 130 km de vaina, con más de 3.15 millones de kg de cable y 120 mil kg en barras. Otras características significativas fueron el empleo de vaina de tubo rígida, doble protección exterior de los anclajes, protección catódica de todos los elementos, e inyección al vacío de los cables.

Entre los materiales componentes de la mezcla de concreto se refiere a una arena natural dolomítica con menos del 1% de partículas reactivas, granos mayormente esféricos con tamaño 1.4 mm, y proveniente de la cantera de Alhaurín de la Torre en Málaga. Como complemento se seleccionó otro agregado fino calizo triturado de color gris oscuro, con tamaño máximo de 2.4 mm. Para el agregado grueso se optó por una caliza triturada de grano fino, compacta y dura, de color gris claro, con tamaño máximo oscilante entre 12 y 16 mm, que también procedía de la cantera de Manilva, en Málaga.

Se seleccionó un cemento CEM II A-S 42.5 SR proveniente de las instalaciones del grupo Holcim, en Jerez de la Frontera. Dos fueron los aditivos utilizados: un superfluidificante de altas prestaciones de nueva generación, basado en un éter policarboxílico modificado (GLENIUM 21), y un retardante de fraguado (POZZOLITH 250R). También se utilizó microsilíce en polvo adicionada al cemento, durante el proceso de fabricación del mismo.



Foto 3

Remolcador principal que se usó en las operaciones de transporte



Fuente: Sinke P.

La zona de estribo, en tierra, está conformada por 4 grandes cajones de concreto reforzado, apoyados en escollera. Uno de ellos contiene el elemento metálico para la conexión de la rótula, con dimensiones de 80 x 40 x 30 m; los otros tres cajones delimitan el relleno necesario para el estribo. El contradique está formado por una gran estructura de concreto pretensado de 145 metros de longitud, biapoyada en el fondo marino mediante dos cajones: uno de estribo en el lado tierra y otro de tipo pila, en el lado mar.

En la construcción de la obra intervinieron el Grupo español Dragados (FCC), así como las empresas de ingeniería francesas BEC y H. TRIVERIO, además de la monegasca SMMT. En general trabajaron directamente en la obra 700 trabajadores y casi medio centenar de ingenieros, quienes se ajustaron a los requerimientos necesarios para el logro de la vida útil de proyecto.

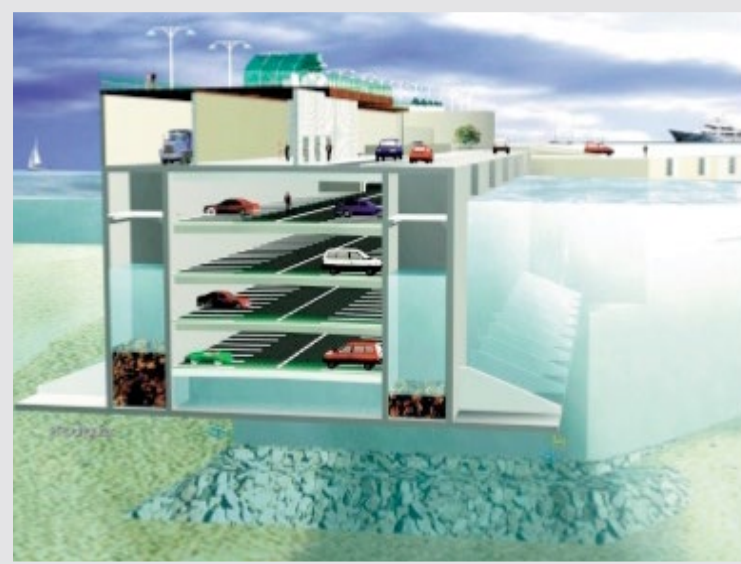
La construcción del dique lo convierte hoy en una de las obras más innovadoras llevadas a cabo en Europa. Las razones que significan esta denominación no solo se ubican en sus

características, dimensiones y diseño innovador; sino también en la tecnología empleada; que le hacen constituirse en un proyecto emblemático y único en el mundo. El dique, como antes se comentó, alberga en su interior (Fig. 3) un estacionamiento de cuatro niveles con 13 mil m² de superficie



Figura 3

Sección transversal en “U” del dique con doble paramento vertical.



y con capacidad para casi 400 automóviles. También alberga un almacén para embarcaciones deportivas y de recreo.

La superestructura aloja dos estaciones marítimas y oficinas de la autoridad portuaria, zonas comerciales, restaurante, estación meteorológica, y distintos paseos peatonales y calzadas para la circulación de autos. Asimismo, la superficie del cajón, que hace las veces de muelle, está dotada de todos los complementos necesarios para facilitar el atraque de cruceros de más de 200 metros de eslora (30 mil toneladas). Esta operación, antes de la

existencia del dique, se tenía que ejecutar en el puerto de Niza, el más cercano al Principado.

El proyecto tuvo una duración aproximada de 3 años, comenzando los trabajos preparatorios a mediados de 1999 y concluidas las obras en diciembre del año 2002. El gran cajón de concreto transformó el panorama marítimo del Principado de Mónaco; resolviendo el problema de la falta de espacio para grandes y medianas embarcaciones, y proporcionando además nuevas posibilidades de desarrollo económico y turístico para la región. **C**

REFERENCIAS

- Hue García F., et. al. (2002), “Ejecución de las fases marítimas (Dique en el Puerto de la Condamine, en Mónaco)”. *Hormigón y Acero*, Nos 223 a 226., Págs 41-57.
- López Navarrete D., Hue García F. y Carrasco J. Á. (2002), “El hormigón en el dique de Mónaco”, *Hormigón y Acero*, Nos 223 a 226., Págs 139-165.
- Marc Jaeger J., Peset González L. y Troya Gozávez L. (2002), “Proyecto del dique de Mónaco”, *Hormigón y Acero*, Nos 223 a 226., Págs 19-39.
- Peset González L., Barceló Llauger J. y Troya Gozávez L. (2002). “Introducción y descripción del proyecto (Puerto de la Condamine, en Mónaco)”. *Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural*.
- Peset González L., et. al. (2002), “Elementos singulares en el dique de Mónaco”, *Hormigón y Acero*, Nos 223 a 226., Págs 67-117.
- Sinke P. (----). “Monaco Pier Extension”. <http://www.duwsleepvaart.nl/duwsleepsite/buitenland/MONACO%20PIER%20EXTENSION.PDF>