An aerial photograph of a wide river, likely the Guadalquivir, with a dam or lock structure visible in the distance. The banks are lined with dense green trees and vegetation. In the far background, a cityscape is visible under a clear sky.

La nueva esclusa brinda más protección a la ciudad frente a inundaciones

La puerta de Sevilla al mar

El Puerto de Sevilla es una infraestructura de gran relevancia estratégica para la ciudad y para la región, tanto por la importancia como motor económico como por las ventajas medioambientales derivadas de su carácter de puerto interior marítimo. Es el único puerto marítimo de interior de España, enclave estratégico para la Unión Europea (nodo prioritario de la Red Transeuropea de Transporte) y es completamente multimodal con conexiones marítima, ferroviaria y por carretera. Dispone de una amplia superficie para el desarrollo logístico e industrial y cuenta con 5 terminales portuarias y 3 muelles públicos, más de 4.000 metros de atraque y un 1 millón de metros cuadrados de almacenes, así como con la primera Zona de Actividades Logísticas de Andalucía y con una Zona Franca.

■ *Texto: Autoridad Portuaria de Sevilla*



Tablero levadizo fabricado en el polígono industrial del Puerto de Sevilla a su paso por la esclusa.

El Puerto también es

motor económico para su entorno, con más de 200 empresas, 23.000 puestos de trabajo y un impacto en el PIB de 1.100 millones de euros. Recientemente, la Autoridad Portuaria de Sevilla ha elaborado un ambicioso plan estratégico para aprovechar al máximo las ventajas de contar con el mar en el corazón de Andalucía y con el que pretende mejorar la competitividad del puerto en base a una mayor eficiencia en las operaciones, la transformación tecnológica y la digitalización y la excelencia ambiental.

La construcción de la esclusa de Sevilla, conocida como la 'Puerta del mar', responde a una necesidad de modernización de una estructura, la antigua esclusa, terminada de construir en los años 50, y de capacidad. La ría del Guadalquivir a la altura de Sevilla cuenta con una carrera de marea media de 2 metros, lo que hace necesaria una infraestructura que permita elevar o bajar el nivel para entrar o salir del puerto cuya lámina de agua está a cota fija para facilitar así las operaciones de estiba y desestiba de buques. El funcionamiento es sencillo y análogo al de un ascensor: el buque se sitúa entre las compuertas, se modifica el nivel del agua mediante gravedad, el barco sube o baja y, finalmente, con la apertura de la compuerta el barco sale con el nuevo nivel. La antigua esclusa tenía 24.36 m de manga y 200 m de eslora, mientras que la nueva esclusa cuenta con 400 m entre compuertas exteriores, 40 m de manga, y 293 m de eslora, pudiendo entrar buques con más carga y aumentando la capacidad del Puerto de Sevilla.

Además, la esclusa de Sevilla tiene otra función, que es la de proteger de avenidas a Sevilla y de las históricas inundaciones, manteniendo el nivel de agua de la dársena. Sevilla está protegida por un muro de defensa que la rodea, y la esclusa 'Puerta del Mar' actúa como cierre del lado sur. Las compuertas situadas en lado del río Guadalquivir están coronadas a la cota +9 metros –que es la cota de máxima avenida para un periodo de retorno de 500 años– con un resguardo suficiente. En el caso de grandes avenidas estas puertas exteriores de la esclusa se cierran, quedando así protegida la ciudad de Sevilla.

Proceso constructivo

El proceso constructivo de la obra ha supuesto la conjunción y programación previa de una larga lista de tareas complejas, y el funcionamiento de equipos de producciones muy elevadas no empleados habitualmente en otro tipo de obras, los cuales se pueden agrupar en las siguientes fases:

1. Ejecución del recinto de construcción de la estructura de la esclusa.
 2. Construcción de la estructura de hormigón armado de la esclusa. Fabricación y colocación de los elementos electromecánicos (puertas metálicas y puentes basculantes). Ejecución de los muelles de tablestacas.
 3. Inundación del recinto y trabajos de acondicionamiento en anteesclusa y enlace nueva esclusa (dragados, formación de diques de cierre y viales sobre el canal de Alfonso XIII).
 4. Apertura de la dársena y puesta en funcionamiento.
- Dado que la estructura de hormigón armado que conforma la esclusa propiamente dicha se cimenta de forma directa a las cotas -14,0 m (cuenco central y puentes) y -16,0 m (zonas de garajes) en las gravas presentes en el aluvial subyacente (de espesor variable, situadas generalmente entre la cota absoluta -13,0 m y la -19,0 m), fue preciso crear un recinto estanco bajo el nivel del río que permitiera alcanzar esta cota y poder efectuar los trabajos previstos en seco, es decir trabajar a 18 m bajo el nivel freático y a una distancia de unos 90 m del río Guadalquivir. La ubicación y orientación de la nueva esclusa en la orilla del canal de Alfonso XIII fue señalada tras minuciosos estudios de navegación que tuvieron en cuenta tipos de barcos,

corrientes, vientos, etc. Debido a esta ubicación ha sido preciso ganar una importante porción de terreno al río, para lo cual se diseñó una ataguía compuesta de material todo uno de cantera (aprox. 500.000t) apoyada parcialmente sobre el fondo del cauce, el cual se dragó previamente hasta garantizar un apoyo en material suficientemente competente (cota -15,0 m).

El relleno con todo uno de cantera tendría que ser después atravesado con una pantalla de bentonita-cemento, por ello se buscó una granulometría continua y un tamaño máximo de 400 mm que permitiera posteriormente excavarlo con una cuchara de 1 m de ancho. Paralelamente, y aprovechando la presencia de la draga junto al recinto, se dragó en el interior del mismo hasta la cota -5,0 m el material limo-arcilloso presente en el mismo, que podría dificultar después el tráfico de vehículos para su excavación. Mientras se procedía a la formación completa del perímetro del recinto de construcción con la ataguía, se fue excavando el recinto con medios terrestres, hasta alcanzar el nivel freático, y se fue ejecutando una pantalla de impermeabilización de bentonita-cemento de 1,0 m de espesor (aproximadamente 54.000 m²) empotrada en las margas azules situadas aproximadamente a la cota -20 m. Una vez ejecutada toda la pantalla que circundaba el recinto de construcción, se procedió a ejecutar el rebaje del nivel freático en el interior del mismo. Para ello se contó con dos bombas flotantes de 260 l/s y una vez eliminada el agua superficial, se continuó el achique mediante pozos comunicados con las gravas anteriormente comentadas.

Área de la plataforma logística multimodal del Puerto de Sevilla que se encuentra en la Dársena de Batán.



Debido a la presencia de estratos limo-arcillosos en los taludes, existía el peligro de que se produjeran fenómenos de desembalse rápido si se quedaba colgado el nivel freático en alguno de esos niveles. Esto obligó a la realización de un estudio de redes de filtración, que estableció que el ritmo máximo de vaciado del recinto con coeficientes de seguridad aceptables era de 1m/semana. Para controlar estos fenómenos y confirmar que el modelo de filtración era correcto, se estableció una red de piezómetros alrededor de toda la pantalla y se constató que no quedaban niveles colgados y que el nivel freático en los taludes iba acompañando al de lámina de agua. Una vez achicado el recinto se procedió a la excavación del material presente mediante equipos mecánicos terrestres de gran rendimiento (en total se llegó a contar con cuatro equipos de movimiento de tierras

trabajando en doble turno para excavar 1,7 millones de m³). Durante todo el proceso de excavación, ejecución de la estructura y posterior trasdosado de la misma se han controlado los asientos y desplazamientos horizontales del perímetro del recinto de construcción, con especial atención sobre la atagüa de cierre del mismo, mediante la instalación de una red de inclinómetros y de hitos topográficos para el control de asientos (el valor máximo de desplazamiento hacia el interior del recinto ha superado los 80 mm en la coronación de la atagüa, mientras que el asiento máximo ha superado los 140 mm), estando en todo momento dentro del intervalo previsto por el cálculo previo efectuado.

La estructura de la esclusa

La estructura de hormigón armado de la esclusa tiene una

longitud de 434 m (293 m entre puertas) y 40 m de ancho (35 m útiles), con muros de hasta 20 m de altura y 4 m de espesor (en los garajes hay zonas masivas de hormigón de más de 10,0 m de espesor).

Esta se divide en:

- Zona de puentes lado puerto y zona de puentes lado río: son las partes de la estructura donde se apoyan los puentes basculantes, situadas en ambos extremos de la estructura. Se caracterizan principalmente por la disposición de contrafuertes de 3,0 m de espesor en las zonas de anclaje de las pilas de los puentes.
- Zona de garajes lado puerto y zona de garajes lado río: en esas partes de la estructura se disponen las puertas que permiten el funcionamiento de la esclusa, de desplazamiento horizontal/transversal al eje de la esclusa, además

de la zona de alojamiento de las mismas para efectuar trabajos de mantenimiento. También incluyen los denominados canales de llenado y vaciado, cuya función principal es garantizar el flujo de agua entre las diferentes zonas de la esclusa para elevar o bajar el nivel de agua, gracias a ocho compuertas de accionamiento vertical cuyas guías y carriles quedan embebidos en esta parte de la estructura. En los extremos de esta zona y embebidos en las zapatas, existen galerías que permiten el paso de un lado a otro de la esclusa de servicios, personas, instalaciones, etc.

- Cuenca central: es la zona en la cual se produce la elevación o descenso de las embarcaciones, teniendo como principal característica la solera perforada de 0,50 m de espesor

y las zonas de difusores por donde entra o sale el agua. La forma de estos difusores en conjunto, con los canales de llenado y vaciado, fue estudiada en modelo a escala reducida en el Laboratorio de Puertos del CEDEX con el objeto de minimizar la turbulencia producida al barco y minimizar al máximo el tiempo de esclusada.

Para la ejecución se han empleado un total de 300.000 m³ de hormigón (con medias de 600 m³/día y puntas de algo más de 2,000 m³/día) de diversas resistencias, fundamentalmente HA-30, 20 millones de kg de acero corrugado en armaduras, 100.000 m² de encofrado (del cual el 70% corresponde a encofrado trepante) y 1,2 millones de m³ de relleno de tierras en trasdosado de la estructura, que iba acompañando la ejecu-

ción de la misma para no retrasar el global de la obra.

Muelles de tablestacas

Para materializar la transición entre los taludes de las márgenes del canal de Alfonso XIII y los paramentos verticales de la esclusa, se han diseñado unos muelles de tablestacas de 225 m de longitud en las márgenes norte, formados por un tramo recto y una parte final circular, y de 90 m en las márgenes sur totalmente circulares. La profundidad alcanzada por estos elementos se ha calculado empleando los datos obtenidos mediante un exhaustivo análisis geotécnico complementario al de proyecto, necesario debido a la variabilidad de características de los materiales subyacentes, alcanzando hasta 28,5 m de profundidad en el caso más desfavorable.



Ejemplo de multimodalidad coincidiendo el paso de un buque portacontenedores con el de un tren por la esclusa 'Puerta del Mar'.

Elementos electromecánicos

En paralelo a la ejecución de la estructura se han construido las puertas metálicas (en las instalaciones de los astilleros situados en el Puerto de Sevilla) y los puentes basculantes. La función desarrollada por las puertas es primordial para la operatividad de la esclusa, al ser los elementos que materializan la separación entre las distintas zonas de operación definidas anteriormente. Son unos grandes cajones de chapa de acero, arriostrados mediante perfiles.

Se deslizan sobre carriles transversales al eje de la esclusa, apoyadas en un carro inferior y otro superior, con cuatro ruedas cada uno de 1,200 mm de diámetro. Cuando las puertas están abiertas quedan recogidas en un espacio de dique perpendicular a la esclusa (garaje).

En total hay cuatro puertas, dos para el garaje del lado río y dos para el garaje del lado puerto, duplicadas para minimizar los problemas en caso de avería (se funciona habitualmente con solamente una puerta por lado). Sus dimensiones principales son 42 x 20.3 x 6 m para las del

lado río y 42 x 17.3 x 5 m para las del lado puerto, empleando en su fabricación un total de 3,25 millones de kg de acero.

Durante la fabricación de las puertas en el astillero, se formaron unos tanques de flotación provisionales que posibilitarían la flotación de la compuerta en posición horizontal, para así poder trasladarlas desde el astillero hasta la obra pasando por la esclusa antigua (flotando en posición de servicio, vertical, no pasaban por la esclusa antigua que tenía un calado inferior a la nueva).

Puentes.....

Igualmente se han construido tres puentes basculantes, dos para carretera y uno para ferrocarril, accionados mediante gatos hidráulicos situados en las bases de las pilas, también metálicas, ayudados por los contrapesos superiores alojados en los bastidores ubicados sobre las pilas y conectados a los tableros en su parte media mediante unos tirantes. Las dimensiones principales de los puentes son 42x12 m para los de carretera y 42x6 m para el de ferrocarril, con 3,0 m de canto total, pilas de 25 m de altura y un peso total de 3,1 millones de kg en acero estructural para pilas, tableros y bastidores y 2,1 millones de kg de acero en contrapesos. Los puentes fueron construidos en dovelas en factorías fuera de la obra y posteriormente ensamblados en la obra en plataformas ejecutadas a tal efecto. Estos puentes permiten dar permeabilidad transversal a la nueva esclusa para los viales de

carretera y ferrocarril incluidos en el proyecto, que completan la red interna de comunicaciones viarias del Puerto de Sevilla.

También durante la construcción de la esclusa se han fabricado ocho válvulas de tajadera que son las que gobiernan el flujo de agua que por gravedad llena o vacía la esclusa. Estas válvulas son estructuras metálicas con ruedas que se mueven sobre carriles verticales. Tienen unas dimensiones de 5x3 m y un peso de unos 9,100 kg cada una. Su accionamiento es mediante un cilindro hidráulico vertical que está conectado a la válvula mediante una cadena. A ambos lados de cada válvula se pueden colocar unas válvulas de emergencia que permiten achicar el agua entre ellas y así acceder en seco a las válvulas para operaciones de reparación; como los conductos se dividen en dos partes a la altura de las válvulas, la esclusa puede seguir funcionando con una sola válvula por conducto.

Una vez terminada la estructura de hormigón y el tablestacado dentro del recinto de construcción se procedió a la inundación del cuenco y la rotura del tapón del lado puerto para proceder al montaje de las puertas y los puentes.



Puentes móviles con viales de carretera y ferrocarril.

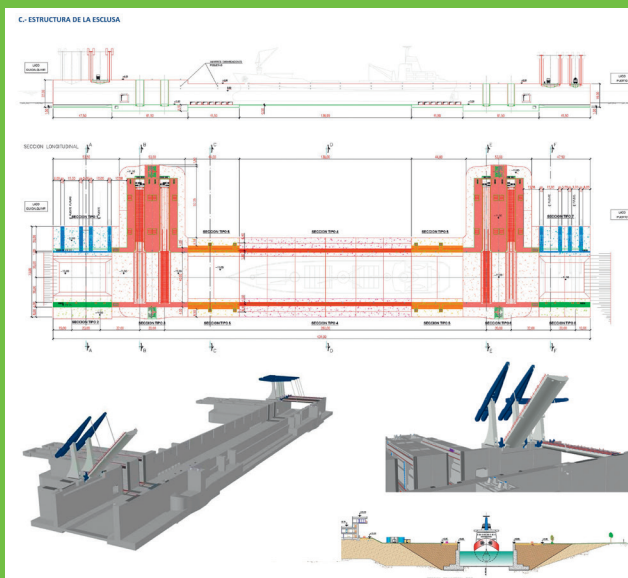
El traslado de las puertas se realizó mediante dos remolcadores, uno en proa y otro en popa y tuvo especial dificultad en el paso de la esclusa actual en la que, en las puertas lado río, existía sólo un margen de 1,50 cm por cada lado de la puerta. Una vez llegaron a la nueva esclusa se procedió a ponerlas de nuevo en vertical mediante el tiro de una grúa de 750 t sobre cadenas, procediéndose mediante un sistema de tiros y reenvíos a la ejecución de la maniobra de entrada en los garajes. A continuación se colocaron las puertas en posición de mantenimiento para proceder al montaje de todos los elementos de tiro de las puertas, maderas de impermeabilización, montaje de carros superiores, inferiores, pruebas de instalaciones, y demás elementos que permiten el correcto funcionamiento de las puertas. Posteriormente y con esa misma grúa se procedió al lanzamiento de los tableros de los puentes desde el lado sur de

la esclusa y a la colocación de los contrapesos sobre las pilas desde el lado norte.

Puesta en funcionamiento

Una vez que el canal de Alfonso XIII se desvió para que el tráfico fluvial pasara por la nueva esclusa y se finalizaron con éxito la colocación y puesta en servicio de los equipamientos mecánicos e hidráulicos de puertas, puentes y válvulas, se anuló la esclusa antigua y se puso en funcionamiento la nueva, para lo cual fue necesario excavar, en primera instancia, y dragar a continuación la zona de apertura de la dársena del puerto, poniéndola en comunicación con el enlace nueva esclusa y con la esclusa actual. Para la gestión integral de todos los elementos electromecánicos descritos anteriormente y la explotación de esclusa, se disponen cuatro edificios en la zona anexa a la nueva esclusa (edificio de control, de servicios

generales y dos de maquinaria, uno para el lado puerto y otro para el lado río), en los cuales se realiza el control y gestión de esta nueva infraestructura portuaria, junto con una nueva zona urbanizada de 70 ha dotada de todos los servicios necesarios (abastecimiento, saneamiento, red de pluviales, red contra incendios, instalación eléctrica, alumbrado, telefonía y comunicaciones) y unos viales de acceso para carretera y ferrocarril anteriormente citados. La esclusa es, por tanto, la puerta de Sevilla al mar y una infraestructura singular en España. Desde su puesta en funcionamiento en 2010 esta infraestructura ha permitido la entrada de buques con mayor capacidad y, por lo tanto, con más carga; ha favorecido el acceso marítimo a Sevilla e impulsado las potencialidades logísticas e industriales del Puerto y de la ciudad, así como el transporte en barco, el medio más sostenible y eficiente para mover mercancía. ■



Proceso de construcción de la esclusa





Desde su entrada en funcionamiento, la esclusa ha favorecido los accesos marítimos a Sevilla y las capacidades logísticas del Puerto