

## Depósitos de agua en Riyadh (Arabia Saudita)

José María de Villar  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A.

Dentro del proyecto de la Universidad Islámica de Riyadh, adjudicado por el gobierno de dicho país a la empresa consultora española Técnica y Proyectos, S.A., destaca, como uno de los elementos singulares, el conjunto para abastecimiento de agua al campus universitario, constituido por un depósito enterrado de 18.000 m<sup>3</sup> de capacidad y un depósito elevado de 2.500 m<sup>3</sup>, además de un restaurante y un mirador situado en coronación.

Para la realización de este proyecto TYPESA solicitó la colaboración de José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A. para la selección de la tipología de los depósitos y la realización del proyecto constructivo de sus estructuras, proyecto que voy a exponer a continuación.

El depósito enterrado, tiene planta de corona circular, con un radio exterior de 36,0 m e interior

de 17,0 m. Su solera está situada a la cota -7,5 m (siendo la cota del terreno natural la 0,0). En el centro de la corona, en el espacio no ocupado por el depósito inferior, va dispuesta la cimentación del depósito elevado, a la cota -18,0 m, desde la que emerge el fuste sustentador de la cuba elevada, que se alza hasta la cota +85,0, que es la máxima altura de la estructura.

El depósito elevado, se desarrolla entre las cotas +50,0 y +75,0 m, su planta y su sección horizontal, a cualquier altura, tienen forma de estrella de ocho puntas, formada por la macla de dos cuadrados girados 45°, en torno a su centro; la dimensión de la diagonal de estos cuadrados, varía linealmente entre un valor máximo de 40 metros a la cota +75,0, y un mínimo de 11,9 m en la unión con el fuste, cota +50,0.

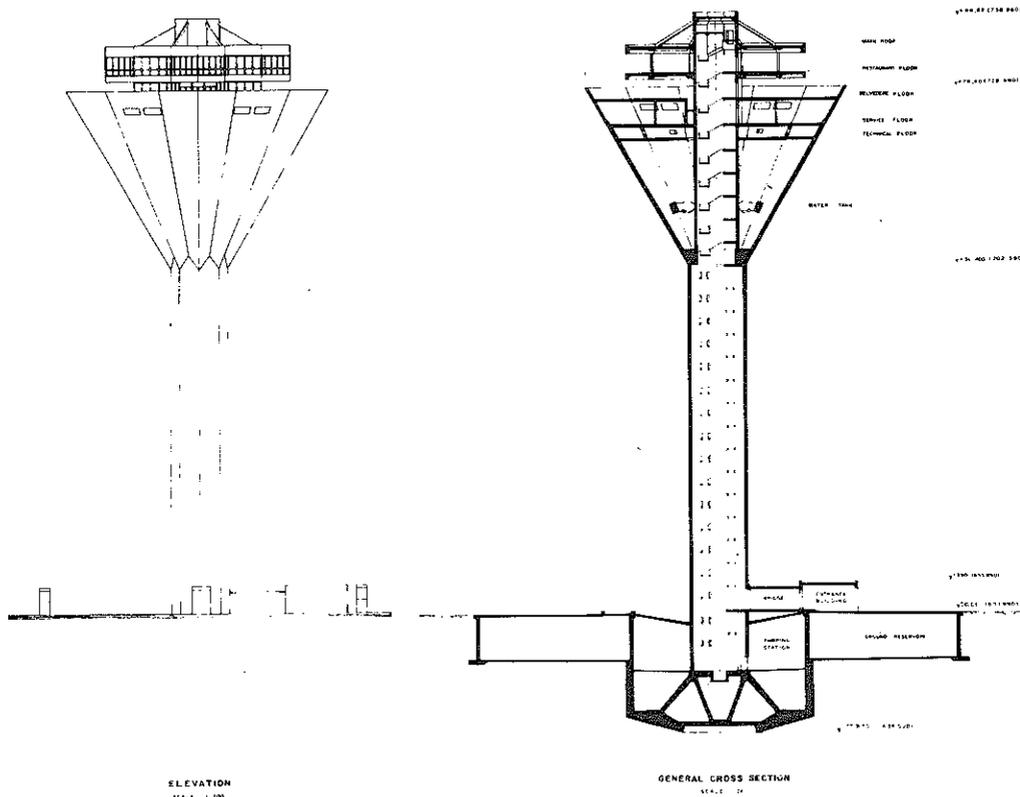


Fig. 1. Alzado y sección general.

La elección de esta sección, que representa uno de los símbolos característicos del mundo islámico, proporciona además un conjunto de aristas y sombras sobre los distintos planos, que, a nuestro juicio, introducen un movimiento en los alzados, muy deseable estéticamente, que no se conseguiría mediante soluciones de tipo troncocónico, que, por su uniformidad, no parecen adecuadas a las importantes dimensiones del depósito (25,0 m de altura por 40,0 m de anchura), impuestas por los condicionantes hidráulicos.

Adoptada la sección anteriormente descrita para la cuba, la sección del fuste, debe ser tal que proporcione un entronque con aquella de fácil resolución geométrica y sencilla construcción. Esto se logra, a plena satisfacción, seleccionando una sección en octógono regular, que es la figura definida por el contorno interior de la macla de los dos cuadrados.

Una vez expuestas las características generales de la obra voy a comentar algunos detalles de cada uno de sus elementos principales.

### DEPOSITO INFERIOR

Como ya se ha dicho anteriormente, su planta es una corona circular. Está dividido en dos partes iguales por una pared radial, que en uno de los dos extremos se sustituye por dos paredes paralelas, separadas 6,0 m, que delimitan el pasillo de acceso a la zona central, donde se encuentra situada, sobre la cimentación del fuste, la cámara de bombas y servicios del depósito.

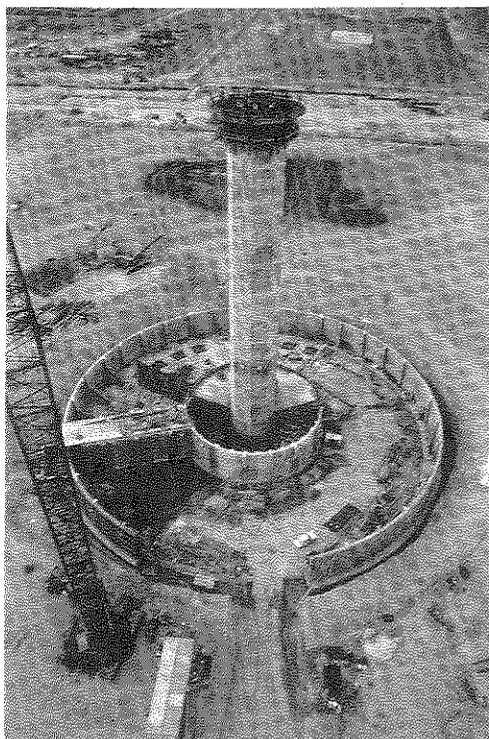


Fig. 2. Fuste y depósito enterrado.

Las paredes circulares que delimitan el depósito, son de hormigón armado, con un espesor de 0,40 m y van rigidizadas mediante contrafuertes verticales situados cada 6,0 m. Los contrafuertes sobresalen 0,60 m por el interior de la pared y tienen una anchura de 0,50 m. Tanto la pared como los contrafuertes van empotrados en una zapata corrida circular de 1,25 m de canto y 2,20 m de anchura.

La cubierta del depósito está formada por una losa de hormigón armado, de 0,30 m de espesor, con pendiente del 1 por 100, según los radios, hacia el borde exterior. Apoya en las paredes del contorno a través de neoprenos, dispuestos cada 3,0 m y se empotra en una malla de pilares interiores, colocados en sucesivas circunferencias, con separaciones de la malla de 5,0 x 5,5 m aproximadamente.

Los pilares tienen sección cuadrada de 0,35 m de lado, con capiteles superiores troncopiramidales de 1,10 x 1,10 m en la unión con la losa.

La solera, cuya pendiente radial es también del 1 por 100, pero hacia el borde interior, está constituida por una capa de hormigón de blindaje de 0,15 m de espesor sobre la que va dispuesta una capa de hormigón poroso de 0,15 m, y finalmente la propia solera de 0,25 m de espesor. Esta solera se regresa bajo cada pilar, hasta 0,40 m, de espesor, en un cuadrado de 2,0 m de lado.

La estabilidad de las paredes del depósito, frente a empujes del terreno con depósito vacío y del agua, con depósito lleno, que puede alcanzar una altura de 5,50 m sobre la solera, se logra mediante unos puntales-tirantes inclinados, dispuestos desde los contrafuertes, hasta la zapata de cimentación de la primera fila de pilares que soporta la losa de cubierta. De esta forma la carga vertical transmitida por el pilar estabiliza la componente inclinada transmitida por el puntal-tirante. La sección de estos tirantes es de 0,50 x 0,50 m y en su eje va dispuesto un tendón de 12  $\phi$  8, con anclaje pasivo en la zapata y activo en el exterior del contrafuerte.

Tanto las paredes como la losa de cubierta y la solera, llevan juntas de dilatación, situadas en un mismo plano vertical y dispuestas en planta cada 45°. La impermeabilización de estas juntas se logra mediante un perfil de neopreno (water-stop) continuo.

### DEPOSITO ELEVADO

Siguiendo en la exposición la secuencia constructiva, comentaré, en primer lugar la cimentación, después la cámara de bombas y servicios, el fuste y finalmente la cuba superior, con las diversas instalaciones en ella dispuestas.

La cimentación ocupa en planta todo el espacio central delimitado por la pared interior del depósito enterrado, y se ha proyectado como cimenta-

ción directa a la cota  $-18,0$ , con una zapata circular de  $1,0$  m de espesor, horizontal en su núcleo central de  $8,90$  m de radio, y siguiendo a partir de él un tronco de cono, cuya arista forma un ángulo de  $16^\circ$  con la horizontal, hasta alcanzar los  $17,0$  m de radio, en el borde exterior.

En este borde se empotra un cilindro, con paredes de  $1,0$  m de espesor, que sube hasta la base de la pared interior del depósito enterrado, es decir hasta la cota  $-8,0$  m. A esta misma cota va situada, en el eje del depósito, una placa circular de  $0,80$  m de espesor y  $8,80$  m de diámetro, desde la que arranca el fuste. El apoyo de esta placa sobre la zapata descrita anteriormente, se realiza mediante dos pantallas de  $0,40$  m de espesor, dispuestas siguiendo las superficies de dos troncos de cono, invertidos entre sí, que comparten la misma base superior y se abren y cierran respectivamente, para empotrarse en el borde exterior de la zapata y en el borde de la zona horizontal.

Sobre el tronco de cono exterior va dispuesto un relleno, hasta la cota  $-8,0$ , donde se sitúa la solera de la cámara de servicios, enrasada con la solera del depósito enterrado y del pasillo de acceso.

La cubierta de la cámara de servicios se resuelve, así mismo, con una losa dispuesta según un tronco de cono invertido, empotrada en el fuste y rematada por un nervio de borde que enrasa con el borde interior de la cubierta del depósito enterrado, disponiéndose entre ambos bordes la correspondiente junta de estanquidad.

En un principio, sobre esta cubierta troncocónica se había previsto disponer un estanque de agua que rodease el arranque en superficie del fuste, pero posteriormente se decidió rellenarlo de material granular, disponiendo el estanque de agua, en forma de anillo, sobre la propia losa de cubierta del depósito.

El fuste, como ya se ha comentado anteriormente, tiene sección octogonal, con paredes de  $0,50$  m de espesor hasta la cota  $+7,90$  y de  $0,45$  m a partir de esta cota, hasta coronación. La dimensión exterior, entre dos lados opuestos del octógono, es de  $8,40$  m. En su interior va dispuesto el ascensor y la escalera de acceso al mirador, restaurante elevado y planta superior de servicios. La entrada al ascensor y escalera se realiza a la cota  $0,40$ , donde va situada una abertura en el fuste de  $2,90$  m de ancho por  $3,25$  m de alto, a la que se accede mediante una pequeña pasarela acristalada, que cruza la cubierta troncocónica de la cámara de servicios y cuyo origen es un amplio vestíbulo, edificado sobre la losa de cubierta del depósito enterrado.

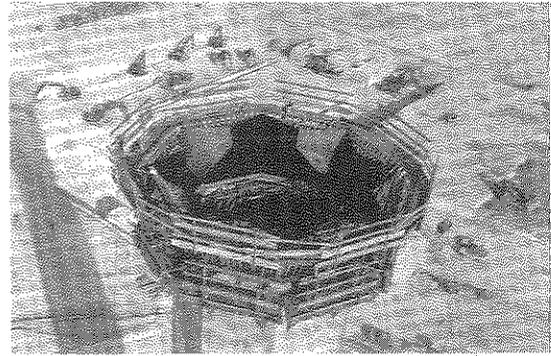


Fig. 3. Vista del encofrado del arranque de la cuba.

La cuba del depósito elevado comienza en la cota  $+50,40$  y se extiende hasta la cota  $+76,40$ . La cota máxima del agua en esta cuba es  $+65,40$  m. Por encima de la línea de agua, pero integradas en la misma cuba, se han dispuesto tres plantas en las que se alojan, respectivamente, los servicios técnicos, las cocinas del restaurante y un mirador, que queda totalmente exento, excepto en la zona ocupada por el fuste.

Las paredes de la cuba, son placas de hormigón armado de  $0,40$  m de espesor, salvo en su coronación, que sirve de parapeto del mirador, en donde el espesor es de  $0,25$  m. Tienen una inclinación de  $67^\circ 47'$ , respecto a la horizontal ( $0^\circ$ ).

A las cotas  $+58,60$  y  $+69,80$  van dispuestas dos familias de pretensado que discurren por las paredes formando un doble marco cerrado, impidiendo la abertura del depósito. Para permitir el establecimiento de este pretensado, se completa en estas zonas, el perímetro de los dos cuadrados, mediante unas vigas que unen las aristas interiores de la estrella.

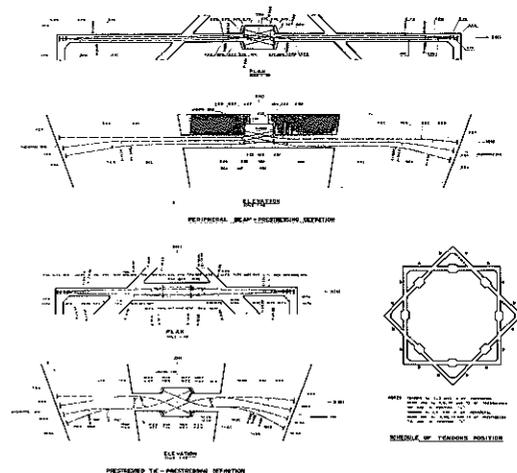


Fig. 4. Plano: Pretensado de la cuba.

La familia inferior está formada, en cada una de las ocho paredes, por 4 + 4 tendones  $12 \phi 0,5''$  que se cruzan y solapan en el centro de las vigas anteriormente comentadas, donde se sitúan los ocho anclajes activos. Los cuatro tendones que van hacia cada arista exterior, se abren en vertical, al llegar a la zona en que ya existe la pared y se prolongan hasta el borde de la arista donde se anclan mediante anclajes pasivos.

Entre estos anclajes van situados, ortogonalmente, los anclajes pasivos pertenecientes a la otra pared que confluye en esa misma arista.

La familia superior, está formada por 3 + 3 tendones  $12 \phi 0,5''$ , cuyos trazados son similares a los anteriormente descritos. Al estar situado este pretensado entre la planta de servicios técnicos y la de cocina, las vigas de unión entre las aristas interiores de la estrella, donde se sitúan los anclajes activos, se han aumentado de canto formando unos tabiques completos entre las dos plantas.

La planta de servicios técnicos, (+ 68,95), es una losa de hormigón armado de 0,25 m de espesor, atravesada por los tabiques antes citados y por otros radiales.

La planta de cocina, (+ 70,98), tiene una dimensión máxima de 32,0 m y esta constituida por un forjado nervado bidireccional, empotrado en las paredes de la cuba y en 8 vigas radiales que nacen en los vértices del octógono del fuste. Sobre estas vigas apoyan los pilares que soportan la planta mirador.

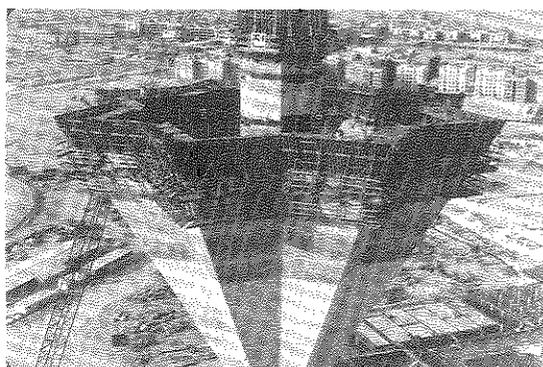


Fig. 5. Construcción de la cuba.



Fig. 6. Vista general durante la construcción de la cuba.

La planta mirador, (+ 74,80), tiene 36,6 m de diagonal mayor, y está constituida también por un forjado nervado bidireccional, empotrado en las paredes de la cuba y apoyado sobre ocho pilares circulares, de 0,25 m de diámetro, que provienen de la planta inferior.

Por encima de la planta mirador, que es la coronación de la cuba, va situado el conjunto formado por la planta restaurante y la planta de cubierta, que, estructuralmente, son independientes de las anteriores.

Ambas plantas tienen una dimensión máxima de 26,30 m, con un retranqueo de 5,0 m, respecto al parapeto del mirador, y conservan la forma de estrella de ocho puntas.

La planta restaurante está realizada mediante un forjado nervado bidireccional, empotrado en el fuste y en unas vigas perimetrales, dispuestas, en planta, siguiendo el contorno de los dos cuadrados que forman la estrella. Estas vigas van suspendidas de la planta de cubierta mediante ocho tirantes verticales, anclados en los puntos de intersección de las vigas. Cada tirante está formado por un tendón  $12 \phi 8$ , dispuesto dentro de un tubo metálico de 20 cm de diámetro, relleno de inyección.

La planta de cubierta está constituida por ocho vigas radiales, empotradas en el fuste, y suspendidas en sus extremos por ocho tirantes inclinados, anclados en la coronación del fuste. La sección de estos tirantes es de 0,35 x 0,40 m, y van pretensados mediante dos tendones  $12 \phi 0,5''$ . Desde los extremos de las vigas radiales cuelgan los tirantes verticales que soportan la planta del restaurante.

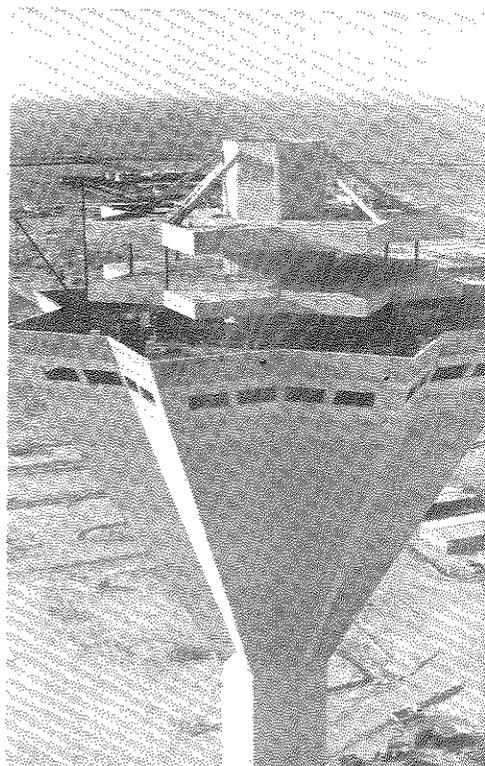


Fig. 7. Cubierta y cuba (construcción).

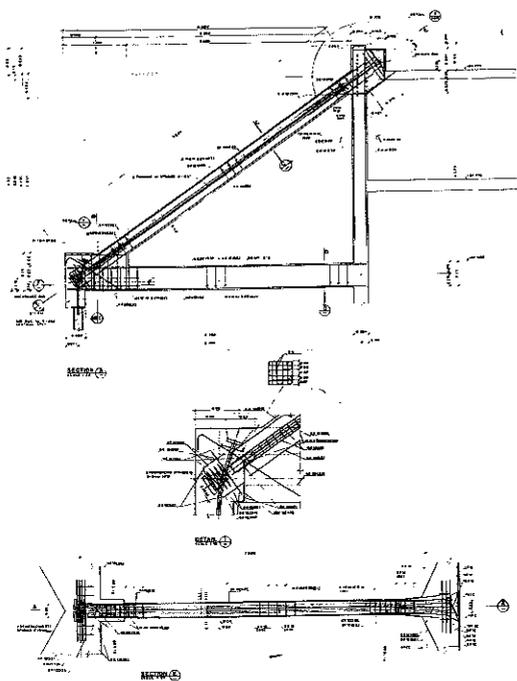


Fig. 8. Plano: Pretensado cubierta, tirantes y péndolo.

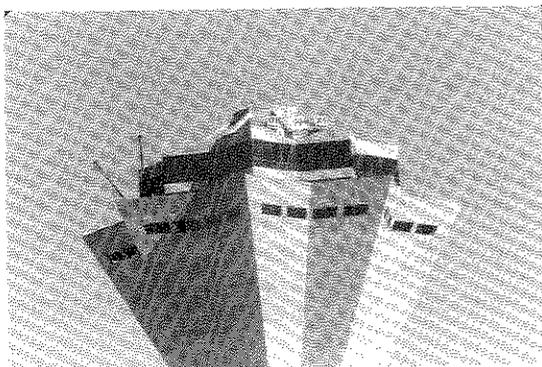


Fig. 9. Detalle de la cubierta, restaurante y parte superior de la cuba.

El sistema de pretensado utilizado en la obra fue realizado por la empresa suiza V.S.L.

#### RESUMEN

Para el abastecimiento de agua a la Nueva Universidad Islámica de Riyadh (Arabia Saudita), se han proyectado y construido, un depósito enterrado de 18.000 m<sup>3</sup> de capacidad y un depósito elevado de 2.500 m<sup>3</sup>.

El depósito enterrado es de planta circular, con un diámetro exterior de 72,0 m y una altura de agua de 5,50 m.

Las paredes son muros de hormigón armado con contrafuertes atirantados. La cubierta es una losa apoyada sobre los muros perimetrales y empujada en pilares intermedios.

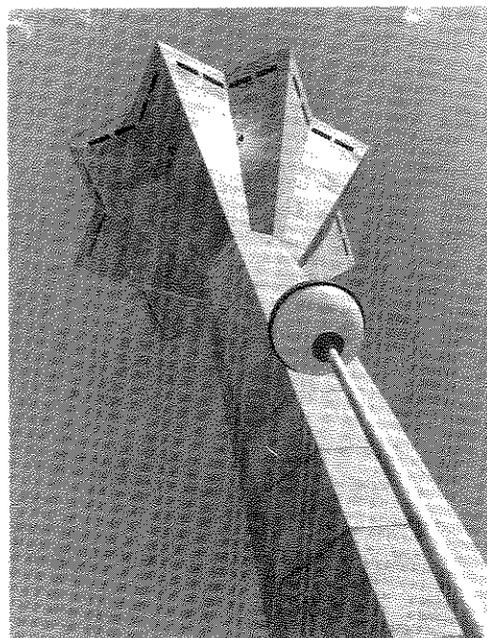


Fig. 10. Vista general del depósito elevado terminado.

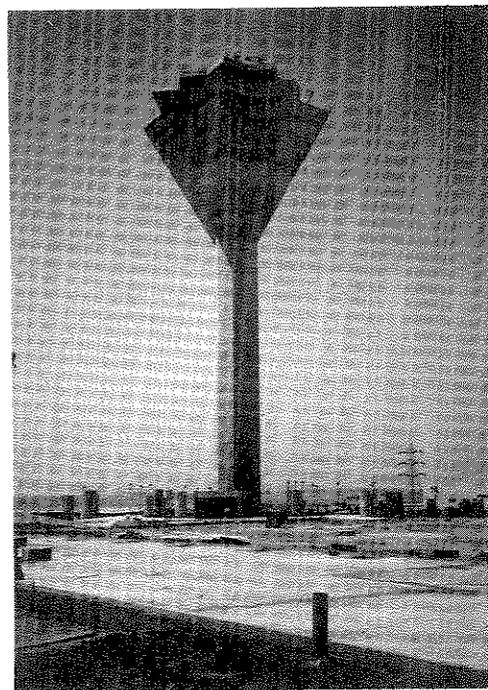


Fig. 11. Vista general del depósito terminado.

El depósito elevado tiene una altura total de 85,0 m sobre el terreno. La cuba está situada entre las cotas 50,0 y 75,0 m, con altura máxima de agua de 15,0 m. En la planta superior de la cuba van dispuestas unas plantas de servicios técnicos, cocina y mirador.

Sobre la cuba existe, además, un restaurante, suspendido desde la cubierta que va articulada al fuste.