

Nuevo sistema de fabricación e instalación de torres de toma en embalses en explotación^(*)

Por ANTONIO CAPOTE DEL VILLAR

Ingeniero de Caminos. Agromán.

Las necesidades de agua han crecido de forma espectacular en las últimas décadas como consecuencia del aumento demográfico y el desarrollo económico. Para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos, se plantea, cada vez con mayor frecuencia, la necesidad de disponer nuevas tomas en embalses existentes. La construcción de estas tomas ha exigido frecuentemente vaciar el embalse, pero problemas de garantía, económicos y medioambientales hacen que esta solución no siempre sea factible. En el artículo se presenta un nuevo sistema, patentado por el autor, para la fabricación e instalación de torres de toma en embalses en explotación sin necesidad de proceder al vaciado de los mismos.

1. ANTECEDENTES

Las necesidades de agua han crecido de forma espectacular en las últimas décadas como consecuencia del aumento demográfico y el desarrollo económico. Así, el volumen total de agua utilizada por el hombre se duplicó entre 1940 y 1980, esperándose que se duplique de nuevo en el año 2000.

Para satisfacer esta creciente demanda, se estima que no debe frenarse el ritmo actual de construcción de presas, dado que estas siguen constituyendo un elemento esencial para regular la desigual distribución de las precipitaciones en el tiempo y en el espacio.

Sin embargo, la preocupación por el medio ambiente y por el impacto de las presas sobre el mismo, así como los problemas sociales que las presas plantean en ocasiones, está posibilitando el desarrollo de una cierta presión social que, de hecho, tiende a limitar la construcción de nuevas presas.

Como consecuencia, y dado que los recursos hidráulicos son limitados, es necesario tratar de lograr un aprovechamiento integral de los mismos. Con este objetivo, una de las posibles líneas de actuación es la optimización de la explotación de los embalses existentes, transformando estos, siempre que sea posible, en embalses de uso múltiple, así como adecuando sus estructuras a

los nuevos requerimientos de calidad y garantía de suministro.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos, se plantea cada vez con mayor frecuencia la necesidad de disponer tomas en embalses existentes, bien para destinar parte de las reservas del embalse a abastecimiento u otros usos para los cuales no fue inicialmente concebido, o por la conveniencia de ampliar el suministro o mejorar la calidad del mismo.

Estas nuevas tomas deben ser selectivas si su objeto es el abastecimiento a poblaciones, por la incidencia que la calidad del agua tiene en la salud e higiene de los habitantes, así como por la repercusión de dicha calidad en el coste de los tratamientos necesarios para hacer potable el agua captada.

Por otra parte, el potencial hidroeléctrico de los embalses existentes puede hacer interesante la instalación de nuevas centrales en dichos embalses, haciéndose necesaria la construcción de nuevas obras de toma, que deben ser selectivas si se prevé turbinar caudales destinados posteriormente a abastecimiento urbano.

También en captaciones para riego se está empezando a plantear la necesidad de que las tomas sean selectivas, pues con frecuencia se vierten los caudales al río, siendo derivados a distancias variables aguas abajo de la presa. En estos casos, una calidad inadecuada del agua cap-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de diciembre de 1991.

tada en el embalse puede poner en peligro los ecosistemas existentes en el tramo de río comprendido entre la presa y la obra de derivación, haciéndose necesaria o conveniente la disposición de tomas selectivas en el embalse.

Para llevar a cabo estas nuevas obras de toma, y debido a los problemas constructivos que plantea la ejecución con el embalse lleno, es frecuente proceder a vaciar el mismo, construir en seco la obra de toma y embalsar a continuación. Sin embargo esta solución presenta los siguientes inconvenientes:

- Costes directos de las operaciones de vaciado y llenado del embalse.
- Costes indirectos de vaciado y llenado, si estas operaciones conllevan la suspensión temporal de explotaciones existentes.
- Daños producidos en la fauna que alberga el embalse y su entorno.
- Costes de las actuaciones necesarias para corregir los daños ecológicos producidos.
- Riesgo que comporta para la garantía de suministro de demandas en las campañas posteriores a la realización de la obra.

La importancia de los problemas económicos y medioambientales así planteados hace que el vaciado no siempre sea factible, debiéndose acudir a procedimientos de construcción con el embalse lleno, o al nivel de explotación exigido. En estas condiciones, los sistemas de ejecución actualmente en uso permiten únicamente construir tomas de alcance y operatividad limitada.

3. INTRODUCCION AL SISTEMA

El nuevo sistema que se presenta, patentado por el autor de este artículo, pretende resolver el problema de fabricación e instalación de torres de toma en embalses en explotación sin vaciado de los mismos. Su aplicación incluye tres conjuntos de trabajos:

- Cimentación.
- Fabricación e instalación de la torre de toma.
- Conexión de la torre con los conductos de evacuación de los caudales captados.

La fabricación de la torre y su posicionamiento en el embalse constituyen el objeto y esencia del sistema, comprendiendo las operaciones que se describen en el apartado 5.

Los trabajos de cimentación y conexión son convencionales y se basan en técnicas más frecuentes en otros campos de la ingeniería, concretamente en obras marítimas y más particularmente en trabajos off-shore. Con objeto de mostrar la operatividad del sistema, en los apartados 4 y 6, se muestran algunas de las formas en que pueden ser llevados a cabo.

4. CIMENTACION

Las técnicas aplicables para la cimentación de la torre han tenido un gran desarrollo en las últimas décadas, debido a la explotación de los yacimientos del Mar del Norte. Son procedimientos habituales en obras marítimas, donde se utilizan con gran seguridad y experiencia.

Su empleo es también cada vez más frecuente en trabajos relacionados con presas, donde se presentan las siguientes ventajas:

- Calados muy inferiores a los de obras off-shore.
- Ausencia de oleaje, corrientes y mareas.
- Fácil apoyo desde coronación de presa y plataforma auxiliar.

A modo indicativo se exponen brevemente a continuación algunos de los procedimientos que podrían utilizarse.

4.1. Reconocimientos previos

La campaña de reconocimientos del terreno puede basarse en:

- Estudio de la documentación existente sobre el proyecto y construcción de la presa.
- Inspección visual del terreno, mediante buzos, vehículos tripulados de pequeñas dimensiones, campanas, artefactos no tripulados, vídeo, etc.
- Batimetría, obtenida por medios mecánicos o ecosonda.
- Estudio de la naturaleza y espesor de capas, mediante geofísica y sondeos realizados desde la superficie o fondo del embalse.
- Toma de muestras, en sondeo o directa con buzo o vehículo, y ensayos en laboratorio o in situ.

4.2. Tipos de cimentación

En la mayor parte de los casos será posible, desde el punto de vista geotécnico, cimentar por gravedad, dado que las tensiones transmitidas por estas estructuras no suelen ser elevadas. Sin embargo puede ser necesaria una cimentación profunda, bien porque las características del terreno así lo determinen, o por las desventajas constructivas que puede presentar la eliminación de las capas situadas por encima de la superficie de cimentación.

Ambos casos se tratan resumidamente a continuación, considerando, a modo de ejemplo, un corte típico del terreno constituido de arriba abajo por: fangos, materiales sueltos (limos, arenas, etc.) roca alterada y roca sana.

4.2.1. Cimentación directa

Si el espesor de las capas situadas por encima del plano de cimentación no es grande, y su dragado no plantea problemas especiales, podrá realizarse una cimentación directa. las operaciones a realizar serían:

1º. Dragado hasta la superficie de cimentación.

2º. Limpieza de la roca con lanza de agua.

3º. Base de hormigón sumergido para apoyo de la torre. Esta base debe ser nivelada, directamente o disponiendo un elemento intermedio.

4.2.2. Cimentación sin dragado o con dragado limitado

Aunque exista una capa geotécnicamente adecuada, puede no ser conveniente una cimentación directa debido a:

— Existencia de un elevado espesor de fangos, cuyos tendidos taludes de dragado podrían hacer que el volumen a eliminar fuera excesivo, aunque se recuperaría parte del embalse muerto.

— Posibilidad de daños a otras estructuras por deslizamientos bajo el agua.

— Producción de turbidez en las aguas que se captan durante la obra, perjudicando temporalmente la explotación.

En estos casos el proceso podría ser (Figura 1):

1º. Dragado previo de profundidad limitada, dejando la superficie sensiblemente horizontal.

2º. Fondeo de un cajón, preferiblemente metálico, con conductos verticales y guías para posterior hincado de tubos metálicos. Los tubos pueden ir presentados y llevar guía de golpeo.

3º. Hincado de los tubos metálicos: desde superficie con guiaaderas o guía de golpeo y sombrerete, o desde el fondo.

4º. Hormigonado de pilotes: vaciado de los tubos metálicos, colocación de armaduras y hormigonado, con o sin recuperación de camisas, dejando esperas.

5º. Hormigonado del cajón, que sirve de base de cimentación de la torre.

En este procedimiento la propia torre podría llevar incorporada una cámara inferior hueca que, una vez fondeada la estructura, fuera hormigonada encepando los pilotes.

4.2.3. Cimentación profunda

Si las características del terreno no permiten la cimentación directa de la torre, es necesario

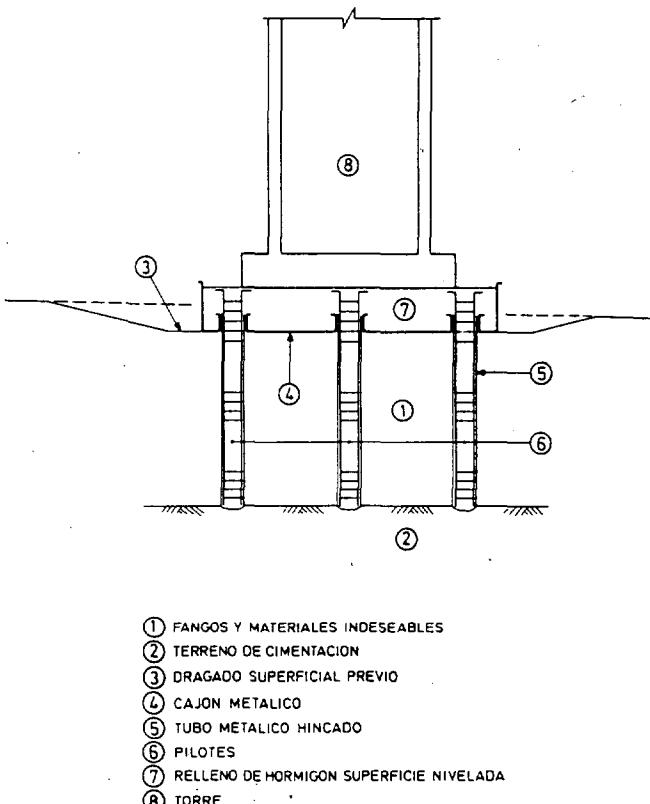


Figura 1.

acudir a cimentaciones profundas. En estos casos se cimentará normalmente con pilotes, de acuerdo, por ejemplo, con lo indicado en el apartado anterior.

Otros procedimientos de cimentación pueden ser utilizados según las características y estado del terreno. Con los aquí mostrados se pretende únicamente poner de manifiesto que la cimentación bajo el embalse es un problema, particular en cada caso, cuya resolución puede abordarse de forma eficaz con las técnicas hoy día disponibles y aplicando procedimientos habituales en otros campos de la ingeniería.

5. FABRICACION E INSTALACION DE LA TORRE DE TOMA

Comprende las siguientes operaciones:

5.1. Colocación de una plataforma flotante sobre la superficie del embalse

Esta plataforma está constituida por un flotador de forma y dimensiones adecuadas a la geometría de la torre a fabricar.

Normalmente la plataforma será anular o enmarcando a la torre, aunque pueden adoptarse diversas disposiciones: de flotabilidad controlada, con borda tipo dique seco flotante, con acoplamiento de flotadores, etc. Incluso podría disponerse colgada de coronación, en casos de pequeñas torres y coronación de presa suficientemente resistente.

La plataforma se refiere a puntos fijos para evitar su deriva, permitiendo al mismo tiempo su movimiento vertical acompañando las oscilaciones del embalse.

5.2. Fabricación de zapata y primeros metros de fuste

La plataforma es utilizada como superficie de trabajo sobre la cual se inicia el hormigonado de la zapata y primeros metros de fuste con encofrado deslizante. La zapata puede construirse con sus dimensiones definitivas o bien una primera fase, completándose una vez situada la torre en el embalse.

Hormigonada la zapata y primeros metros de fuste se sumerge la torre en el agua, dejando el francobordo necesario para trabajar con el encofrado deslizante. Normalmente la plataforma permanece sobre la superficie del embalse.

5.3. Hormigonado del fuste hasta su longitud total

Seguidamente se continúa el hormigonado del fuste, con encofrado deslizante, hasta su longitud total.

A medida que aumenta su longitud, el fuste se va sumergiendo en el embalse, permaneciendo la torre unida a la plataforma, que continúa sobre la superficie. Para estabilizar el sistema se lastra el interior de la torre con una altura de agua variable y creciente con la longitud de fuste fabricado. (Figura 2).

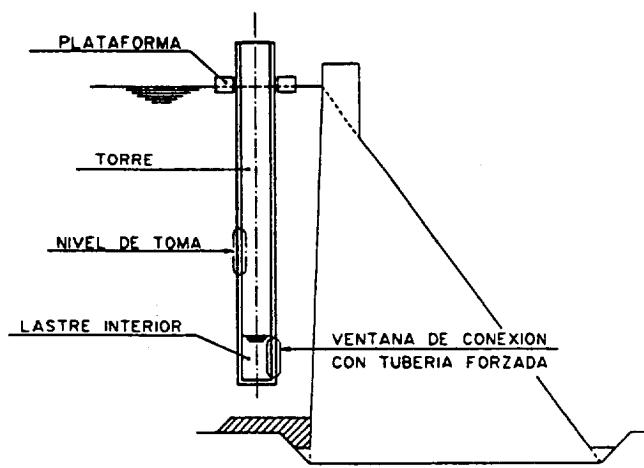
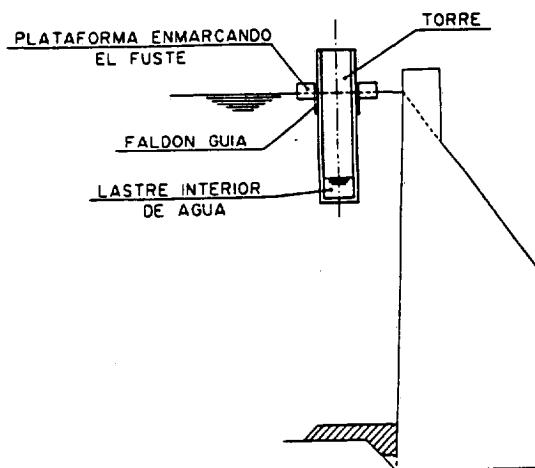


Figura 2.

Los condicionantes constructivos en esta fase son:

- El conjunto torre-plataforma, y cada elemento, debe ser en todo momento estable.
- No se deben producir movimientos bruscos de descenso u oscilación.
- Introducción gradual de la torre en el embalse.
- Francobordo en todo momento suficiente para permitir el trabajo con encofrado deslizante.
- Verticalidad garantizada de la torre durante el proceso de fabricación.
- Movimientos limitados en planta durante la fabricación.
- Movimientos verticales del conjunto permitidos para acompañar las oscilaciones del embalse.

Hemos desarrollado un tipo de plataforma, especial para estos trabajos, que permite fabricar y posicionar la torre en el embalse con seguridad y garantía de calidad.

Esta plataforma, de tipo anular siempre a flote, dispone de un faldón que colabora a la estabilidad y verticalidad de la torre, guiando la penetración de ésta en el embalse.

El sistema de unión torre-plataforma permite garantizar constantemente el francobordo necesario para trabajar con el encofrado deslizante, posibilitando la introducción gradual de la torre en el embalse.

La plataforma está dotada de un dispositivo adicional de fijación que permite seguir las oscilaciones del embalse manteniendo la verticalidad de la torre.

Sin embargo, la plataforma podría adoptar, como ha quedado dicho, formas y disposiciones diferentes. Incluso, hormigonados los metros de fuste necesarios para que la parte de torre fabricada flote y sea estable, podría procederse a la botadura de la misma, que se realizaría introduciendo agua, lenta y simultáneamente, en los compartimentos interiores de la plataforma, de manera que ésta se hunda separándose de la zapata de la torre.

5.4. Embocaduras y huecos en paredes de torre

En el caso de tomas entubadas, durante el

hormigonado del fuste se colocan en su posición las embocaduras y rejas de las tomas, tapándose provisionalmente mediante escudos metálicos. (Figura 3).

En el caso de tomas controladas con compuertas, durante el hormigonado se colocan en su posición las compuertas de cierre, de forma que el fuste sea estanco, situándose asimismo las guaderas, hierros fijos y vástagos de elevación.

En torres que hayan de ser conectadas a conductos de evacuación, se dejará, a nivel de la futura conexión, una ventana cerrada provisionalmente mediante un escudo o ataguía.

5.5. Fondeo de la torre fabricada

Finalizada la fabricación se procede al fondeo de la torre en la posición prevista en el embalse. Esta operación se realiza llenando de agua lentamente el interior del fuste, de forma que la torre fabricada desciende suavemente a su posición definitiva. La operación es controlada y observada desde superficie a través de televisión, instalando previamente cámaras de vídeo en la parte inferior de la torre. (Figura 4).

5.6. Corrección del posicionamiento

Aunque la operación de fondeo es segura y precisa, puede ser necesario corregir la posición

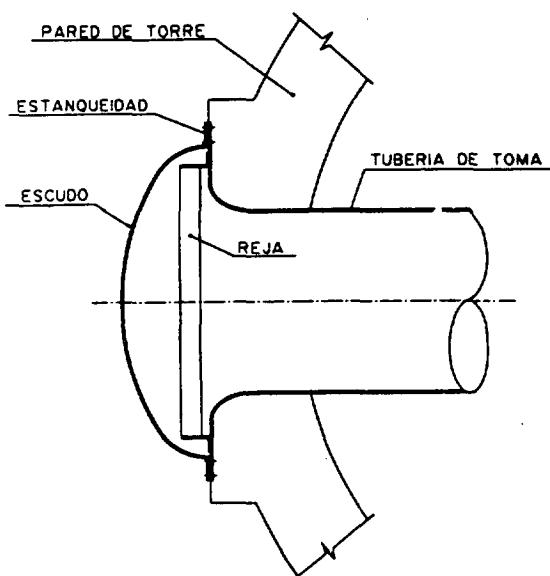


Figura 3.

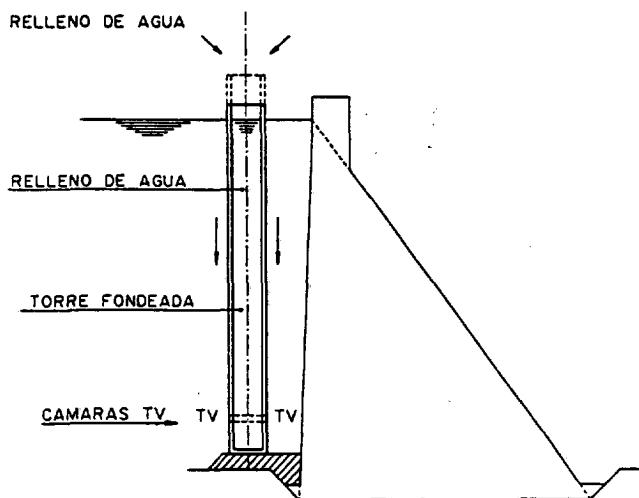


Figura 4.

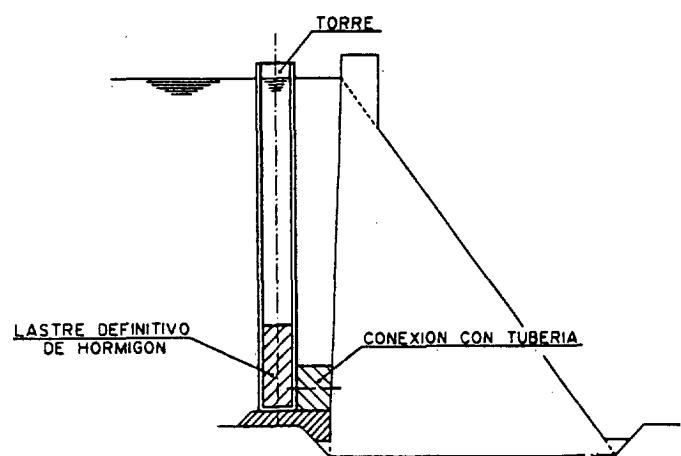


Figura 5.

de la torre debido a eventuales errores, o por ser conveniente cambiar la posición prevista por otra más ventajosa. En estos casos se procede a agotar parte del agua interior, de forma que la torre vuelva a flotar de manera estable, realizando, con idéntico procedimiento, el fondeo de la torre en la posición deseada.

5.7. Conexión de la torre con los conductos de evacuación de los caudales captados

En el apartado 6 se describen algunas de las operaciones, convencionales, que pueden llevarse a cabo.

5.8. Lastrado definitivo de la torre

Una vez situada la torre en su posición definitiva, y realizada la conexión con el conducto o conductos de evacuación de los caudales captados (si ello es necesario) se procede a colocar un lastre definitivo de hormigón sumergido, que dará a la torre estabilidad durante su vida útil. (Figura 5).

En caso necesario puede completarse el sistema de estabilización mediante anclajes u otros procedimientos.

5.9. Terminación de la torre

A continuación se procede a finalizar las cámaras y a instalar los mecanismos de accionamiento, quedando la instalación lista para entrar en servicio.

En el caso de torre visitable, se procede al vaciado del fuste, agotando el agua introducida para el fondeo. A continuación se penetra en el interior de la torre donde se instalan los elementos necesarios para la explotación de la instalación: tuberías, válvulas, etc. Seguidamente se retiran los escudos de cierre provisional de las tomas, quedando la instalación terminada y lista para entrar en servicio.

5.10. Ejemplo

Torre de toma cilíndrica de las siguientes características:

— Profundidad del embalse	70,00 m.
— Altura total de la torre	80,00 m.
— Diámetro interior del fuste	8,00 m.
— Espesor de pared del fuste	0,75 m.
— Diámetro de la zapata	12,50 m.
— Canto de la zapata	2,00 m.

Cimentación:

— Directa: tensión media sobre cimiento 2,5 Kg/cm².

— Profunda: 6 pilotes de 1,50 m ó 9 pilotes de 1,20 m de diámetro.

Fabricación e instalación (Figura 6):

— Canto de zapata en 1 ^a fase	0,50 m.
— Puntal máximo en fabricación	72,00 m.
— Peso máximo en fabricación	3.838,51 t.
— Francobordo mínimo	3,00 m.
— Francobordo para máximo puntal	4,00 m.
— Altura máxima de lastre	24,50 m.

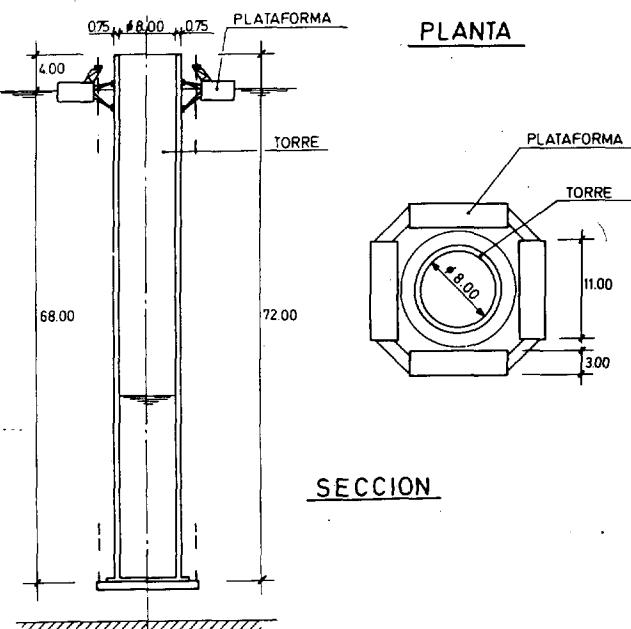


Figura 6.

- Plataforma $260 \text{ m}^3 (4-11 \times 3 \times 2)$
- Calado de la plataforma $1,60-1,70 \text{ m.}$

6. CONEXION DE LA TORRE CON LOS CONDUCTOS DE EVACUACION

En España existe una experiencia relativamente extensa en trabajos subacuáticos de montaje y reparación de elementos diversos en presas, tratamiento de fisuras, acondicionamiento de conductos, perforación de galerías e incluso creación de nuevos conductos en presas existentes sin vaciado del embalse, como es el caso de los nuevos desagües de fondo, de 1,00 m de diámetro, proyectados para la presa de Cuerda del Pozo.

Los caudales captados en la torre pueden extraerse del embalse por bombeo o por gravedad, a través de conductos existentes o de nuevos conductos. Se muestran en este apartado algunos procedimientos para llevar a cabo las conexiones.

6.1. Evacuación por bombeo

En este caso no es necesario un conducto de evacuación a través de la presa, disponiéndose una tubería de impulsión que sale de la torre hacia el exterior del embalse sobre una pasarela o elemento similar.

6.2. Evacuación por gravedad mediante conductos existentes

Se acondiciona y prolonga hacia aguas arriba el conducto existente mediante un carrete de prolongación.

A continuación se fabrica y coloca la torre en el lugar previsto. La torre presenta una ventana, a nivel de la futura conexión, cerrada provisionalmente mediante un escudo metálico o ataguía.

Posteriormente se retira el cierre provisional de la ventana y se instala un conducto de conexión, uniendo éste al carrete de prolongación.

Finalmente se hormigona el conjunto, exterior e interiormente a la torre, inyectándose los contactos para garantizar la impermeabilidad de la torre, si ésta es necesaria. (Figura 7).

6.3. Evacuación por gravedad mediante nuevos conductos

En la intersección del futuro conducto con el paramento de la presa, se instalan uno o dos escudos de protección, que cubran con suficiente amplitud la sección del nuevo conducto así como la zona que pueda quedar afectada por las posteriores operaciones de perforación. Esta zona será función de las dimensiones del conducto y estado de la presa, que en caso necesario puede haber sido tratada previamente con inyecciones.

Seguidamente, desde aguas abajo, se realiza una perforación controlada de sección adecuada al conducto a instalar. Esta perforación se detendrá a una distancia variable del paramento mojado de la presa, función de la carga de agua y del estado de la fábrica.

Desde el extremo aguas arriba de la perforación anterior, a resguardo de los escudos de protección, se ejecuta un taladro guía hasta alcanzar el paramento aguas arriba de la presa. A continuación se ensancha la perforación hasta alcanzar la sección necesaria para el nuevo conducto.

Posteriormente se instala el blindaje del conducto que atravesará la presa, inyectándose los contactos.

El resto de las operaciones puede ser como el indicado para el caso de conductos existentes.

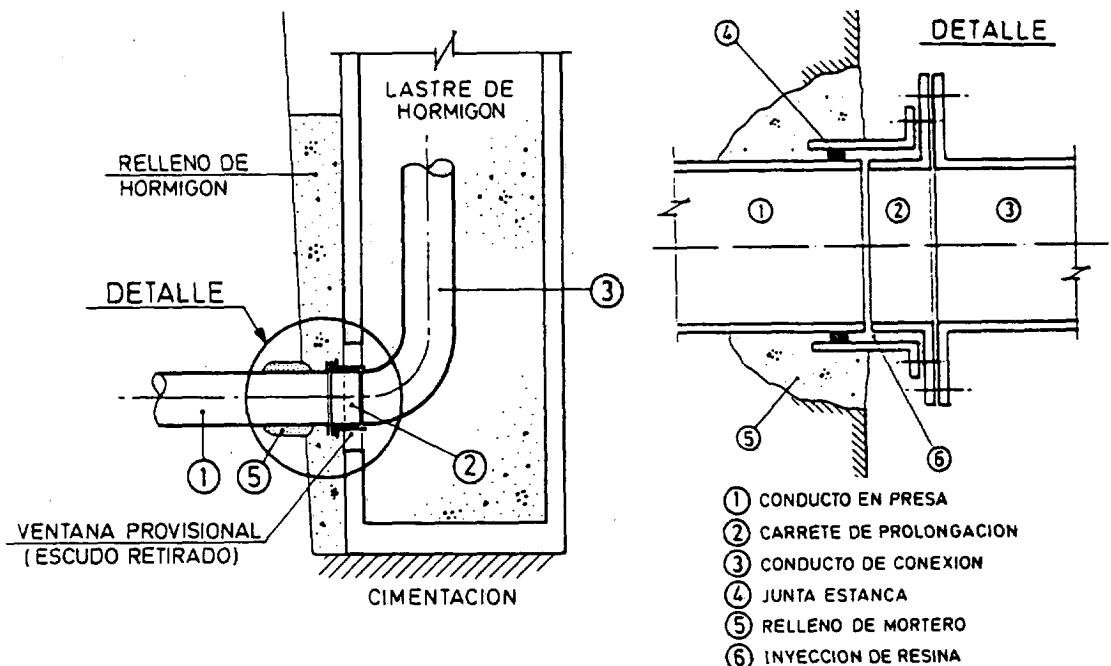


Figura 7.

7. CONCLUSIONES

La virtud fundamental del sistema es que permite fabricar e instalar torres de toma, selectivas o no, en embalses existentes sin necesidad de proceder al vaciado de los mismos y sin interferir con la explotación, o con una interferencia mínima, evitando de esta manera los problemas económicos y medioambientales que plantea el vaciado.

Desde el punto de vista constructivo, y con relación a otros procedimientos existentes sin vaciar el embalse, este sistema presenta las siguientes ventajas:

- Fabricación sencilla de la torre.
- Ausencia de juntas de construcción;

— Estanqueidad garantizada de la torre, si su explotación así lo exige.

— Seguridad estructural debido al monolitismo de la torre fabricada.

— Tolerancias geométricas estrictas.

— Flexibilidad y capacidad de adaptación a las condiciones del embalse, minimizando la importancia de posibles imprevistos.

— Elevada precisión en el replanteo y posicionamiento de la torre en el embalse.

— Facilidad para corregir errores de posicionamiento en el embalse.

— Facilidad para el control de calidad de las condiciones de fabricación e instalación.