

# Ejecución de un nuevo desagüe de fondo en la presa de La Jarosa sin vaciar el embalse mediante tuneladora con escudo cerrado

Implementation a new bottom outlet in Jarosa Dam, employment a tunnel boring machine without emptying the reservoir

**Diego Pérez-Cecilia Aguilar.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Jefe División Explotación de Presas. dperezcecilia@cyii.es

**Vicente Gaiñán Santos.** Ingeniero de Obras Públicas.  
Director de las Obras. gaireb@telefonica.net

**Juan Pablo de Francisco Díaz.** Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Jefe Departamento de Presas. jpdefrancisco@cyii.es

**Resumen:** El embalse de La Jarosa abastece el agua para consumo humano de forma permanente a varios municipios en la sierra oeste de la Comunidad de Madrid. Con el fin de mejorar la seguridad operativa de la presa y para cumplir con las recomendaciones de la normativa vigente, se proyecta la ejecución de un nuevo desagüe de fondo sin vaciar el embalse, mediante la hincas de tubería de hormigón con camisa de chapa, empleando una perforadora de escudo cerrado.

**Palabras Clave:** Presa; La Jarosa; Desagüe de fondo; Perforación

**Abstract:** The Jarosa reservoir supplies water permanently to various municipalities in the west of the Comunidad de Madrid. In order to improve the operational safety of the dam and to comply with existing recommendations on is projected a implementation of a new deep outlet, but is not allowed emptying the reservoir. The elected construction process consists of a drilling with a Pressurised Tunnel Boring Machine, TBM, and concrete pipe with liner plate.

**Keywords:** Dam; La Jarosa; Bottom outlet; Tunnel boring machine

## 1. Introducción

### 1.1. Presa de La Jarosa

El Departamento de Presas del Canal de Isabel II es el responsable de la operación, mantenimiento y seguridad de 16 grandes presas, cuya principal función es el abastecimiento de agua a la mayoría de los municipios de la Comunidad de Madrid, además la laminación de las avenidas y garantizando unos caudales ecológicos en los ríos durante los meses de estiaje.

El embalse de la Jarosa está situado en la Sierra de Guadarrama, al noroeste de la Comunidad de Madrid y próximo a la carretera A-6. El proyecto de la presa fue aprobado por la Administración en 1965, las obras comenzaron en 1966 y finalizaron en 1968. A lo largo de la ejecución se realizaron diversos cambios al proyecto.

El embalse de La Jarosa abastece agua de forma permanente a diversos municipios de la sierra oeste de la Comunidad de Madrid.

Tabla 1. Principales características

DATOS GENERALES	
Volumen embalse	7,15 Hm <sup>3</sup>
Tipología	Gravedad hormigón
Altura sobre cimientos	57 m
Longitud de coronación	213 m
Capacidad desagües profundos	1 x 15,85 m <sup>3</sup> /s
Capacidad del aliviadero	3 x 79,60 m <sup>3</sup> /s

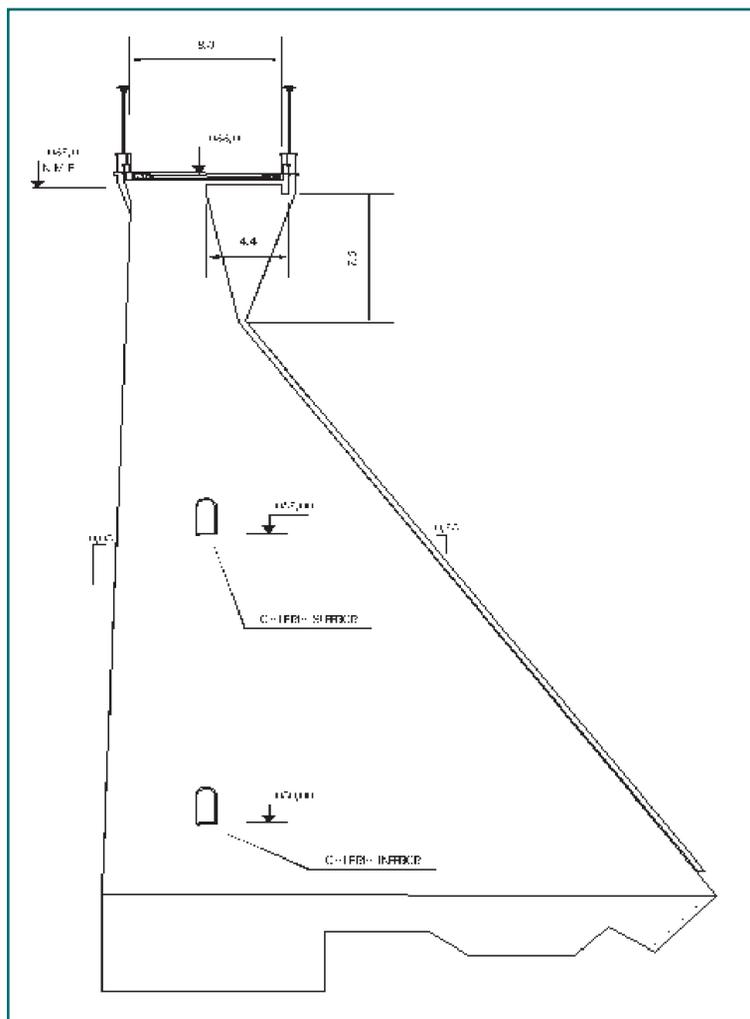


Fig. 1. Sección transversal.

## 1.2. Legislación vigente de Grandes Presas

La Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas del año 1967, de aplicación a todas las presas cuyo titular sea privado y con fecha de concesión administrativa anterior a 1996, fija los criterios aplicables a todos los tipos de presas y en su Artículo 20.4 "Desagües profundos" señala lo siguiente:

*En cada presa se proyectarán como mínimo, dos desagües de fondo.*

## 1.3. Condiciones en que estaba la presa de La Jarosa

La presa de La Jarosa disponía de un único desagüe de fondo dotado de dos compuertas consecutivas tipo Bureau. Con vistas a aumentar la seguridad

de explotación de la presa y cumplir con las recomendaciones de la normativa vigente se decidió la ejecución de un nuevo desagüe profundo que permitiera la correcta regulación de caudales y el vaciado del embalse en caso de fallo en el actual desagüe existente.

Las dimensiones del desagüe se han calculado a partir del articulado de la mencionada Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas:

*Artículo 20.2. La capacidad de los desagües profundos, con el nivel del embalse a la mitad de la altura de la presa, cumplirá las siguientes condiciones:*

*Los desagües de fondo tendrán como capacidad mínima el caudal medio del río.*

*.../...*

*Cuando la suma de las capacidades de los desagües de fondo, central y tomas, no alcance a tener, en total, un valor triple del caudal medio de río se proyectarán desagües adicionales intermedios hasta alcanzar dicho valor.*

*Artículo 20.3. Todos los desagües profundos se proyectarán para poder funcionar correctamente, con la carga total del embalse, tanto en su apertura como en su cierre.*

*.../...*

*Artículo 20.5. Todos los desagües profundos estarán provistos de doble cierre y deberán poderse accionar a mano y mecánicamente, con energía procedente de dos fuentes distintas.*

## 1.4. Solución desarrollada

De acuerdo con las normas anteriores se proyecta un nuevo desagüe profundo de diámetro interior 800 mm, dotado de dos válvulas de seguridad y una válvula de regulación de paso anular que vierte al cuenco del aliviadero.

La exigencia de mantener el nivel del embalse condicionará tanto la elección del sistema constructivo como la ubicación del nuevo desagüe. Se decide que se ejecute por el sistema de hinca atravesando el cuerpo de presa desde aguas abajo de un bloque de la margen derecha. Se escoge este emplazamiento por la mayor facilidad de acceso y de ejecución del frente de ataque y mejores condiciones topográficas de salida al embalse.

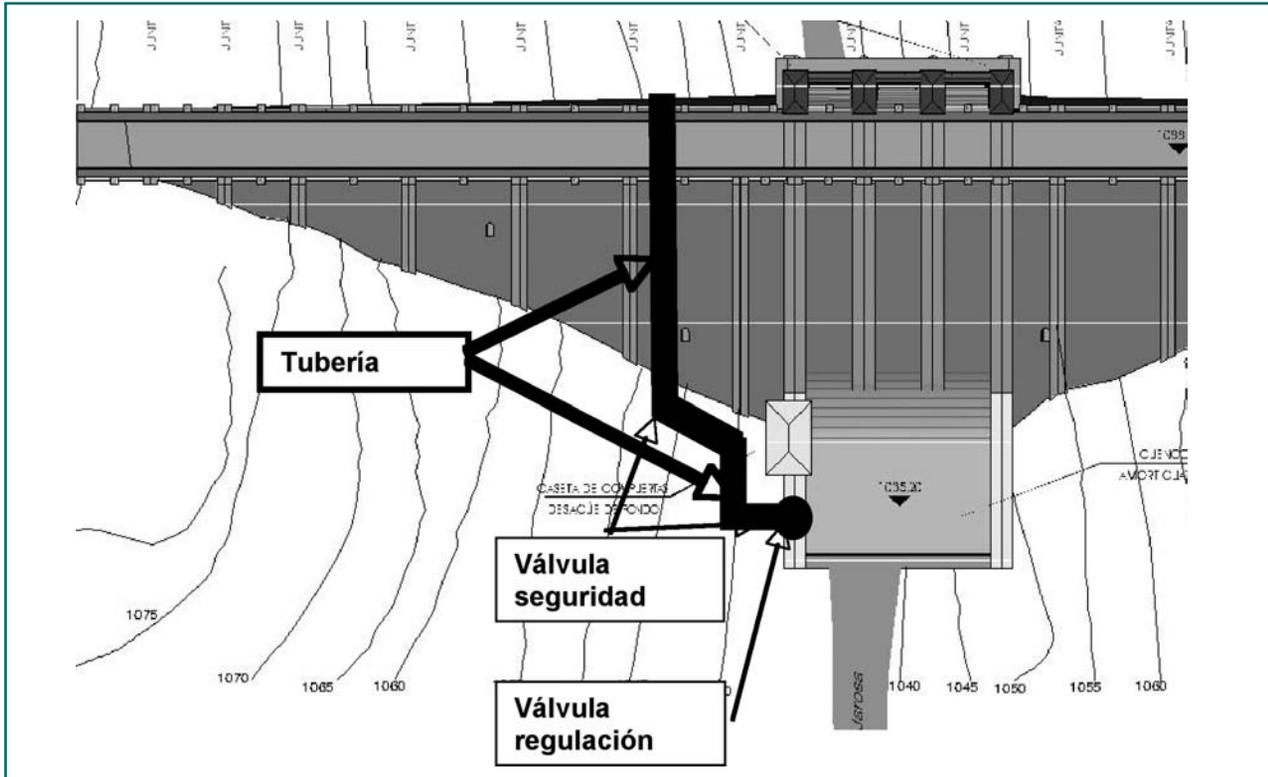


Fig. 2. Nuevo desagüe de fondo.

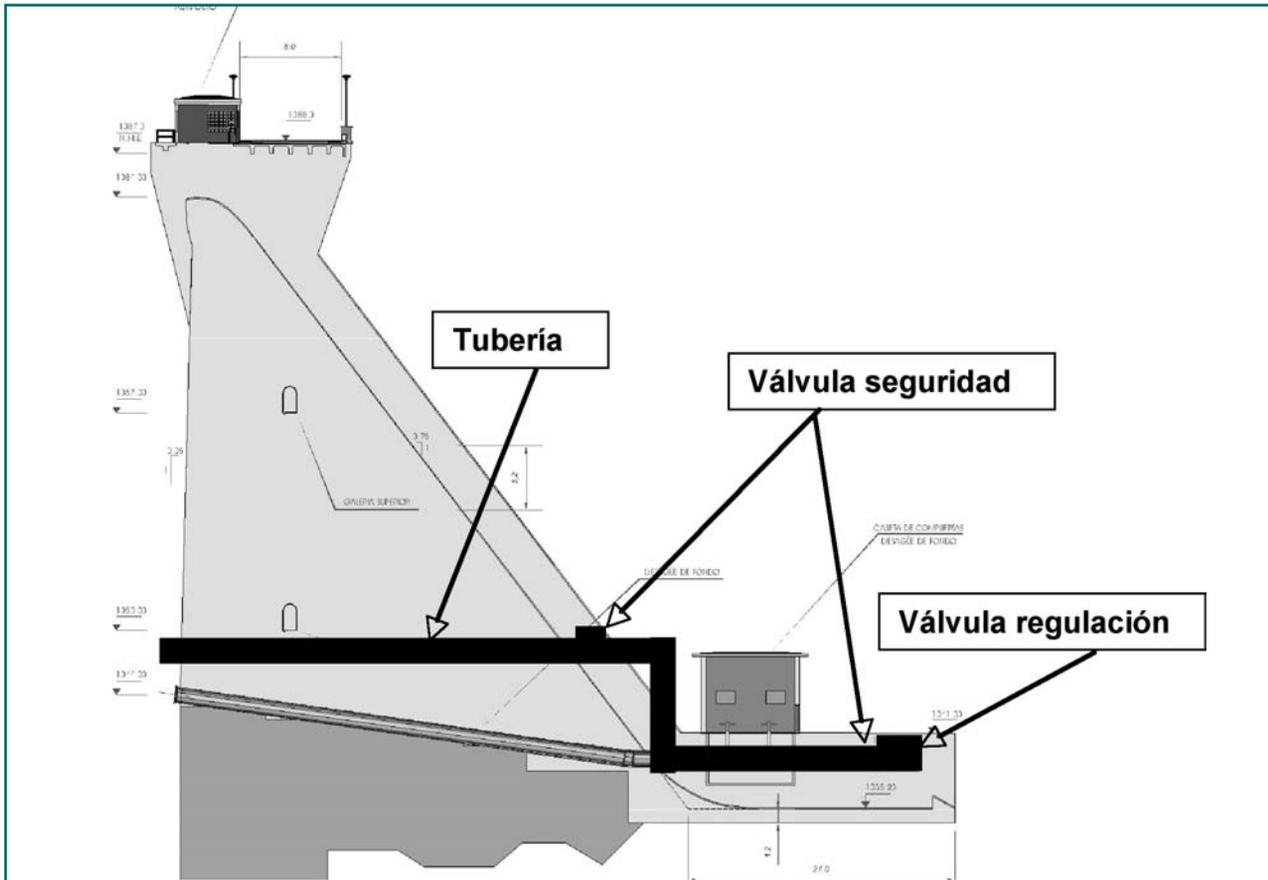
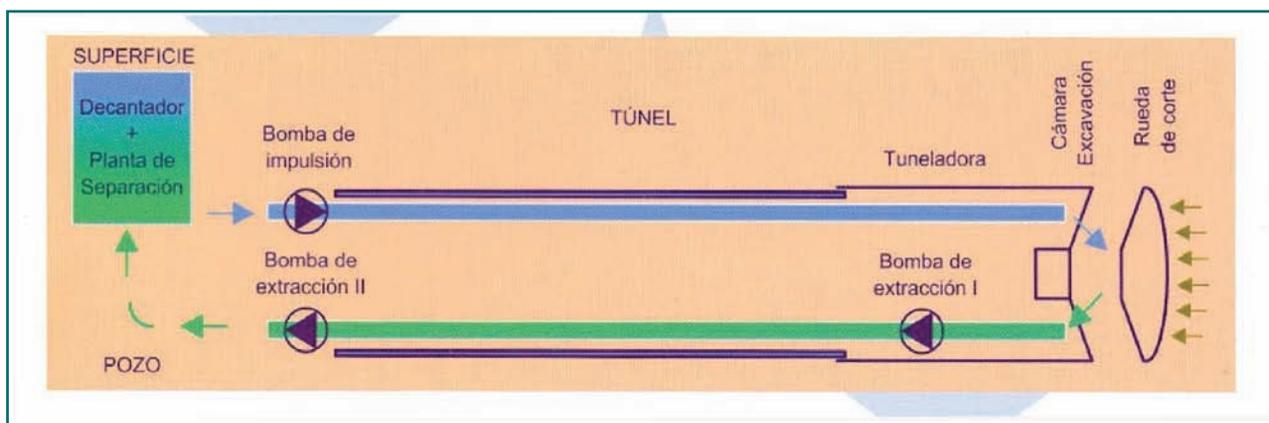


Fig. 3. Sección transversal.

Fig. 4. Sección de la perforadora.



Los principales condicionantes para la ejecución de la obra son:

- Mantener el abastecimiento a los municipios, lo que impide vaciar el embalse y obliga a emplear un método que garantice plena estanqueidad durante la excavación y el montaje de la tubería.
- El diámetro necesario según los artículos de la Instrucción es de dimensiones muy reducidas, lo que dificulta enormemente los trabajos en el interior de la perforación. El procedimiento debe ser lo más adecuado posible a la maquinaria existente en el mercado.

## 2. Proceso constructivo

### 2.1. Introducción

El método de ejecución finalmente escogido consiste en una excavación e hincada de tubería de hormigón con camisa de chapa de diámetro interior 800 mm, mediante una perforadora de escudo cerrado. Las características de este procedimiento son:

- Diámetro algo superior al requerido por la Instrucción.
- Rapidez de ejecución de la perforación, (2 semanas).
- Al finalizar la perforación la tubería ya está montada.
- Reducido sobrecorte, por lo tanto escasa inyección y elevado control.
- Limpieza del proceso.
- Economía general de la obra.

De forma esquemática el funcionamiento de una perforadora de escudo cerrado es el siguiente, la rueda de corte tritura el hormigón del frente de excavación que es recogido en el interior de la rueda a través de pequeñas ventanas situadas en la propia rueda de corte (Fig. 5), allí es mezclado con agua impulsada desde atrás y el conjunto es bombeado por una primera bomba de extracción situada en la propia perforadora hasta el decantador, donde se separan los áridos del agua que es enviada de nuevo al frente de la excavación.

Todo el conjunto de la rueda de corte es totalmente estanco, no entra agua al interior de la perforadora y aísla perfectamente el interior de la tubería del frente de excavación. La presión que la rueda de corte necesita ejercer contra el frente de hormigón es transmitida por los cilindros hidráulicos situados en el pozo de ataque a través de la tubería hincada hasta la perforadora.

### 2.2. Fases constructivas

#### 2.2.1. Emplazamiento de los cilindros hidráulicos de empuje y de la perforadora, TBM, (Fig 5)

Se debe ejecutar el pozo de ataque para situar el carro de empuje y un muro de reacción con capacidad portante suficiente para soportar el empuje que necesitará la perforadora en el frente más la fuerza necesaria para vencer la resistencia al avance de la tubería. En la ejecución del pozo se debe prestar especial atención al frente de ataque, ya que es obligado excavar el paramento inclinado de aguas abajo para conseguir un frente suficientemente plano y perpendicular al eje de la perforación, condición necesaria para situar adecuadamente la junta tórica que asegurará la estanqueidad durante todo el proceso.



Fig. 5. Emplazamiento de carro de empuje y TBM.

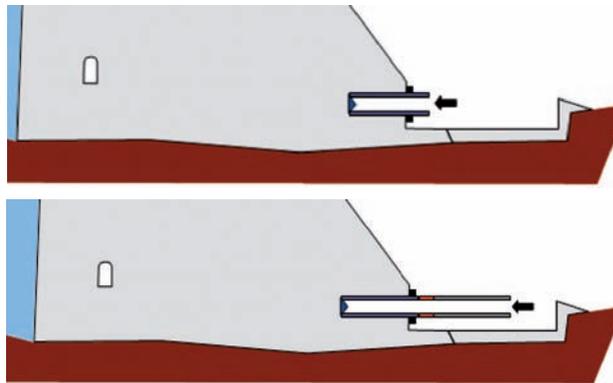


Fig. 6. Empuje de la perforadora. Comienzo excavación.

### 2.2.2. Montaje de la junta tórica y comienzo de la perforación.

De acuerdo con lo anterior y antes de comenzar la excavación es necesario regularizar la superficie del frente de ataque (Fig. 5), para emplazar la junta tórica y evitar que el agua presente en el frente de excavación salga al exterior, asunto de vital importancia en el momento en el que la perforadora llegue al embalse y la presión alcance los 35 metros de columna de agua.

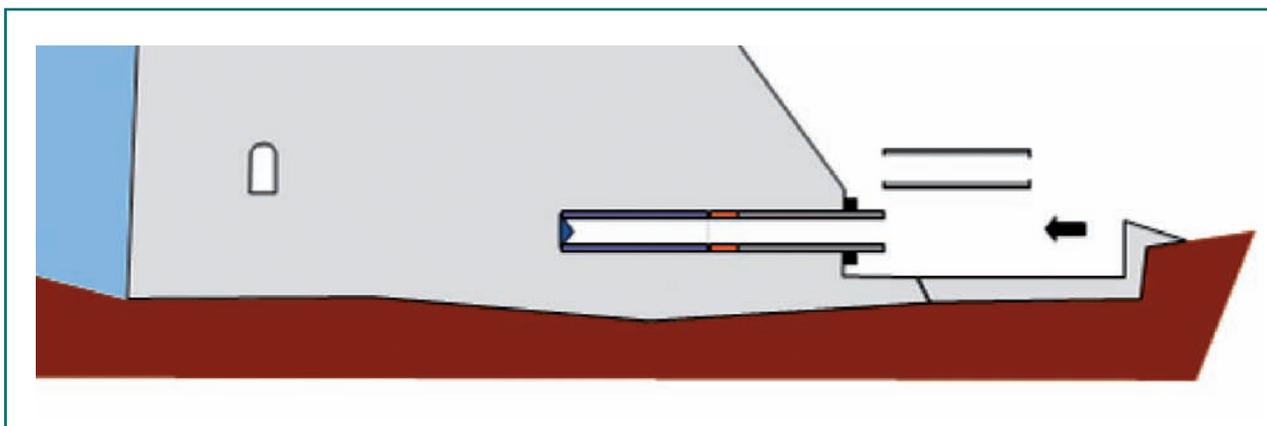
### 2.2.3. Montaje de la compuerta estanca.

La pieza que se coloca a continuación de la perforadora es clave para la ejecución de la obra (Fig. 6). Es un tramo de tubería metálica con una compuerta estanca (Fig. 7) que permitirá, al alcanzar el embalse, retirar la perforadora accionando los cilindros de empuje situados en la misma pieza y continuar trabajando en el interior de la tubería sin presencia de agua. En la Fig. 7 se pueden observar,



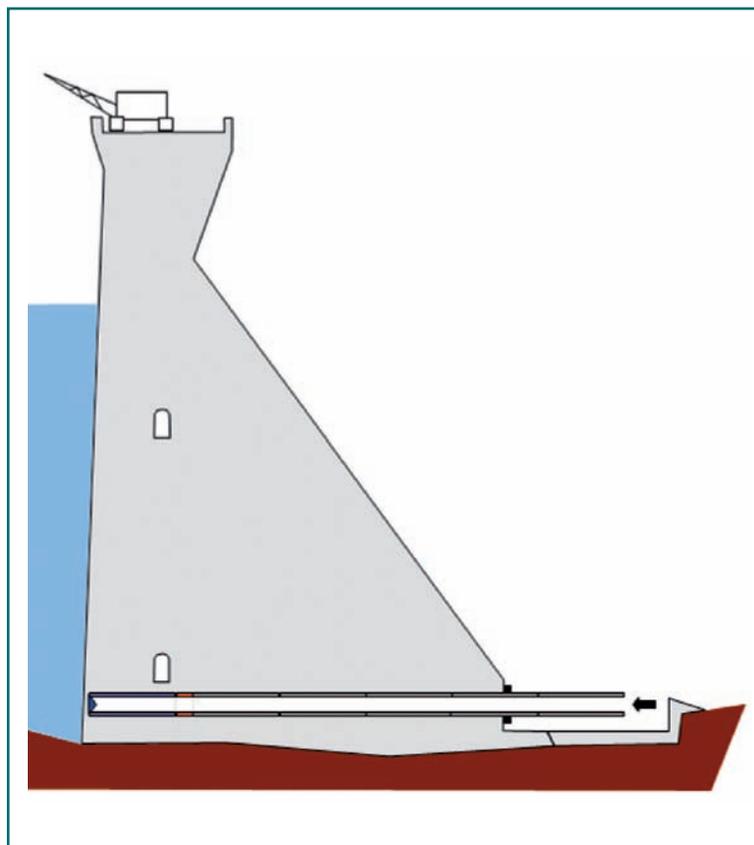
Fig. 7. Compuerta estanca vista desde aguas abajo, y aguas arriba respectivamente.

Fig. 8. Secuencia de avance.



a la izquierda y derecha de la compuerta, los pasamuros de los circuitos hidráulicos que accionarán los cilindros para separar la perforadora de la pieza tubería-compuerta, y posteriormente ésta del tubo de hormigón. A la derecha de la compuerta aguas arriba se sitúa la válvula que permitirá posteriormente al submarinista llenar el interior de la tubería para equilibrar presiones y retirar la pieza tubería-compuerta. En la parte superior de la imagen de la derecha, Fig.

Fig. 9. Un metro antes de alcanzar el agua del embalse.



7, se observa unos de los dos cilindros que empujarán la perforadora para separarla de la pieza.

#### 2.2.4. Avance.

A continuación de la pieza tubería-compuerta se monta el procedimiento habitual de una hincada de tubería de hormigón, consistente en la perforación y avance de una longitud igual a un tubo, 3 metros, la retirada del carro de empuje para dejar espacio y colocar otro tubo, avance de nuevo el carro de empuje 3 metros, así hasta atravesar totalmente el cuerpo de presa y alcanzar el embalse, Fig. 8 y Fig. 9.

Al alcanzar la perforadora el embalse, el espacio anular que la excavación de la perforadora deja entre la tubería y el hormigón de la presa es ocupado por el agua del embalse transmitiendo una presión equivalente de 35 metros de columna de agua que debe ser soportado por la junta tórica. Simultáneamente aparece el empuje de 31,4 tn del agua en el frente que tiene que ser soportado íntegramente por el carro de empuje pues la tubería se encuentra prácticamente flotando dentro del agua alojada en el sobrecorte y no puede ofrecer apenas resistencia al deslizamiento, el volumen de agua desalojado por la tubería es tal que compensa el peso de la misma. Esto es muy importante a la hora de determinar el instante en el que colocar el último tubo, pues una vez alcanzado el embalse es imposible colocar otro tubo ya que al retirar los cilindros de empuje para situarlo provocaría el deslizamiento de la tubería hacia aguas abajo, evento del todo no deseable. El último tubo se colocó apenas un metro antes de alcanzar el embalse para disponer de un recorrido en el carro de empuje sufi-



Fig. 10. Detalle junta tórica.

ciente y poder extraer completamente la perforadora del cuerpo de presa.

En este instante la junta tórica emplazada en el paramento de aguas abajo soporta directamente la presión del embalse, 35 m.c.a., y contiene la salida del agua al exterior. Para evitar que la banda de goma de la junta tórica se dé la vuelta por efecto de la presión, se colocan unas chapas a modo de peine que sujetan la banda de goma y garantizan la estanqueidad del conjunto, estas chapas tienen cierta holgura en los agujeros de los tornillos para adaptarse a las desviaciones que puedan haberse ocasionado, Fig. 10.

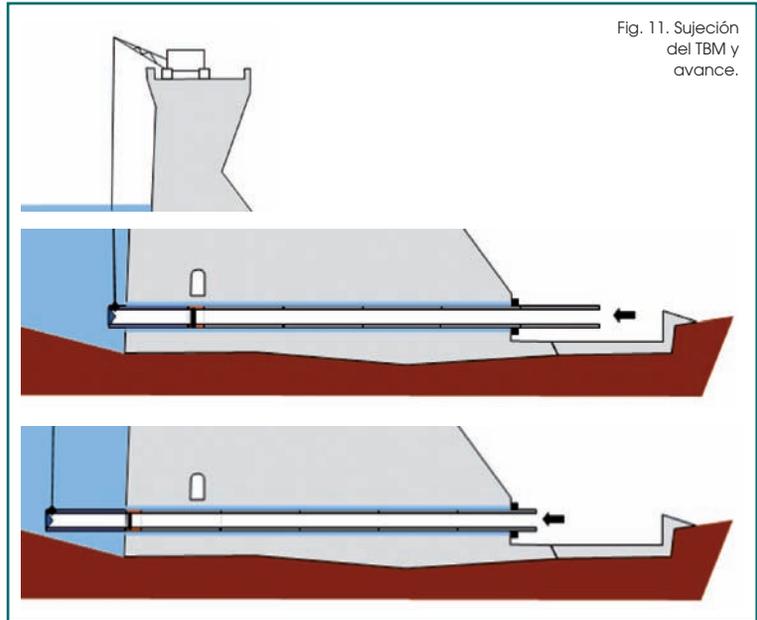


Fig. 11. Sujeción del TBM y avance.

#### 2.2.5. Extracción de la perforadora.

Una vez alcanzado el embalse, y con la perforadora al menos un metro dentro del embalse, se sujeta mediante submarinistas la parte delantera de la perforadora al gancho de la grúa situada en coronación. Una vez situado el brazo de la grúa en la vertical del eje y tensado el cable de fijación, se empuja el conjunto hasta posición final, (Fig. 11), la grúa evita que la perforadora se caiga. Se engancha otra grúa a la parte trasera de la perforadora y se tensa para sujetarla cuando se desenchufe del tubo compuerta

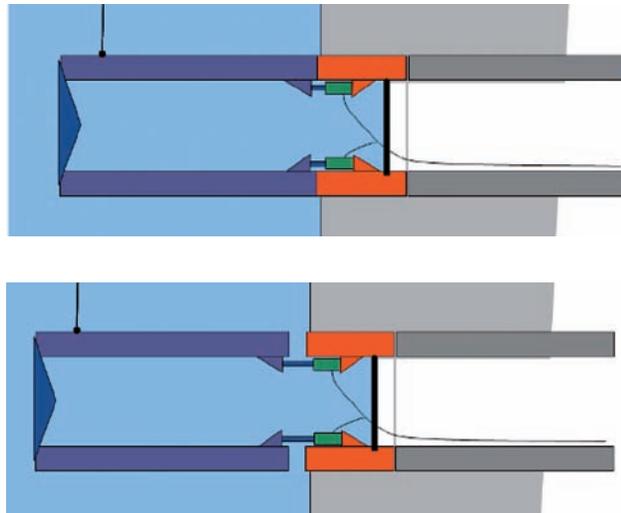


Fig. 12. Extracción TBM.



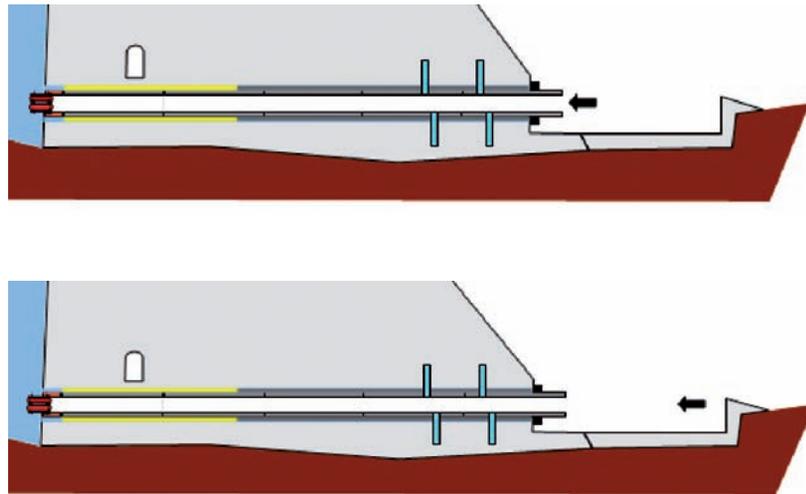


Fig. 13. TBM Fuera del agua.

Cuando la cabeza perforadora se encuentra totalmente en el embalse, y nivelada, se desmonta la instalación interior y se monta la instalación hidráulica para accionar los cilindros hidráulicos que separarán las piezas. A continuación se cierra la compuerta estanca y se inunda el interior de la perforadora desde el embalse para equilibrar presiones y facilitar el despegue.

Una vez las presiones estén equilibradas, se accionan los gatos hidráulicos desde aguas abajo para separar la perforadora de la compuerta estanca y recuperarla por el embalse. (Fig. 12)

Antes de retirar los gatos de empuje que sujetan el conjunto de la tubería, es necesario inyectar el trasdós y rellenar el sobrecorte para eliminar el agua y reducir las presiones en el cuerpo de presa, así como anclar la tubería al hormigón para evitar el desplazamiento hacia aguas abajo debido al empuje del agua sobre la compuerta estanca. (Fig. 13).

Una vez retirados los gatos de empuje, se procede al montaje de la calderería y válvulería, que se hormigona para su anclaje, (Fig 14).

Posteriormente un submarinista procede a llenar de agua el interior de la tubería abriendo la válvula emplazada a tal efecto en la compuerta estanca, la cual se separará de la tubería mediante los gatos hidráulicos conectados a una central situada en la coronación. Una vez separada se extrae mediante grúa desde coronación. (Fig 15)

### 3. Conclusiones

Uno de los puntos todavía no detallado, y que consideramos más ventajoso del procedimiento, es la rapidez de ejecución del conjunto de la obra. El plazo total de la obra fueron tres meses, de los cuales la perforación duró apenas una semana. En el

Fig. 14. Válvulas.

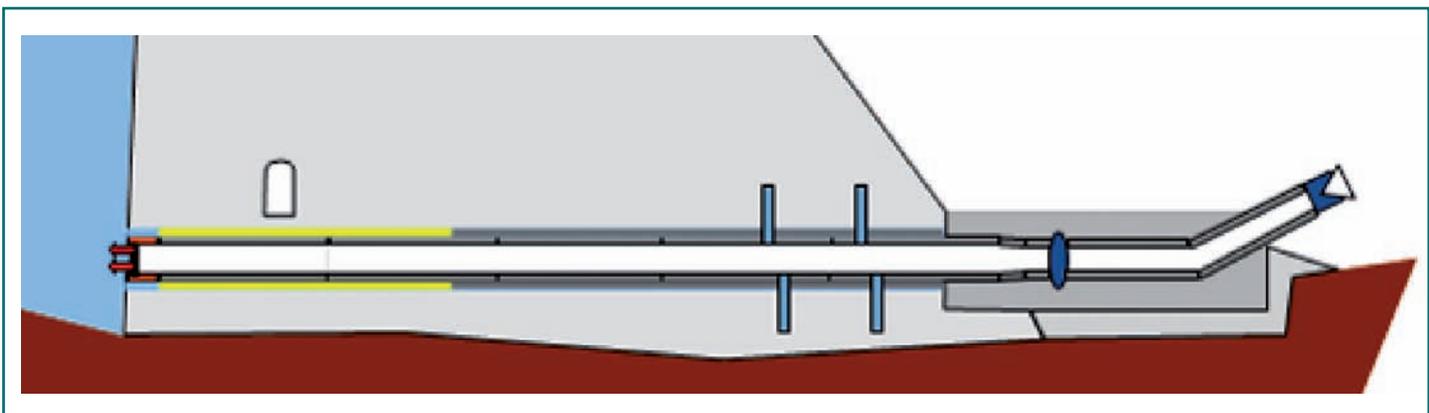
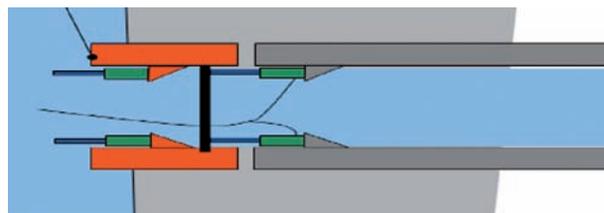
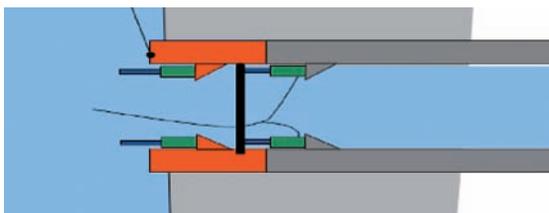


Fig. 15.  
Extracción de la  
compuerta  
estanca.



primer mes y medio se acometieron los trabajos de acondicionamiento de caminos, pozo de ataque, montaje de las instalaciones para la perforación, y el suministro de la tubería de hormigón con camisa de chapa para la hinca. Fue el plazo de la fabricación y suministro de la tubería lo que marcó el comienzo de la perforación.

Desde que comenzó la perforación hasta la recuperación de la perforadora transcurrió una sema-

na. A continuación se acometieron las inyecciones, anclajes, montaje de las válvulas y remates finales. En total tres meses.

Otros puntos relevantes que queremos destacar son la importancia de una estudiada y detallada planificación de todos y cada uno de los pasos a dar, la ejecución minuciosa del montaje de la junta tórica, y la coordinación entre los elementos que intervienen en la extracción de la perforadora. ♦

#### Referencias:

-Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas. Año 1967.