

La excavación de cavernas, pozos y conducciones está siendo ejecutada por Obras Subterráneas

La Central Hidroeléctrica subterránea San Esteban II

La Central Hidroeléctrica San Esteban II que se describe en este artículo, pretende incrementar la potencia de este salto mediante la construcción de una nueva central subterránea, emplazada dentro del macizo rocoso que sustenta la margen izquierda de la presa. El contrato para la construcción de la obra civil de dicha central, fue adjudicado por Iberdrola a la empresa Obras Subterráneas, S.A. (OSSA) por un valor de unos 40 M€ y con un plazo de ejecución de 36 meses. En la actualidad está ejecutado más del 90 % de la obra y su terminación está prevista para el primer trimestre del próximo año.

Palabras clave: ACCESOS, APROVECHAMIENTO, ATAGUÍA, CAVERNA, CENTRAL, CIRCUITO HIDRÁULICO, DESAGÜE, FORZADA, GALERÍA, POZO, TOMA, TÚNEL.



Eduardo LOSTALÉ ALONSO, ICCP.
Dtor. Técnico de

OBRAS SUBTERRÁNEAS, S.A.

La historia de la explotación hidroeléctrica de la cuenca del Sil comienza en 1.945. El 23 de septiembre de 1.956, se inauguró oficialmente el Salto de San Esteban. Entonces era la central hidroeléctrica más potente de Europa. La central es de tipo exterior con cuatro grupos y una potencia total instalada de 265,48 MW.

Desde el punto de vista hidroeléctrico, Iberdrola tiene en el río Sil la concesión del tramo de 65 km comprendido entre la desembocadura de la Cabrera y la desembocadura del Sil en el Miño. La potencia total instalada en generación es de 1.266,6 MW con 14 centrales mayores de 5 MW y 5 menores de 5 MW, y un total de 5 embalses.

Descripción del proyecto

La central hidroeléctrica San Esteban, puesta en servicio a mediados de la década de los años 50 del siglo pasado, es el penúltimo salto hidráulico del Sistema Sil explotado por Iberdrola Generación, S.A.U. antes de que este río desembogue en el Miño, a escasos 9 km de distancia. Consta de una Central de cuatro grupos, instalada inmediatamente aguas abajo de la presa de San Esteban, por su margen izquierda.

La central hidroeléctrica San Esteban II que ahora se describe, pretende incrementar la potencia de este salto mediante la construcción de una nueva central subterránea, emplazada dentro del macizo rocoso que sustenta la margen izquierda de la presa.

El contrato para la construcción de la obra civil de la segunda central, fue adjudicado por Iberdrola a la empresa Obras Subterráneas, S.A. para la ejecución de la excavación de la ca-

verna de la Central, caverna del Transformador y caverna y pozo de compuertas de la toma, como actuaciones principales. Los trabajos también incluyen la construcción de todo el circuito hidráulico de la Central, incluyendo tanto las estructuras de toma como de desembocadura.

Marco geológico y calidad del macizo rocoso

El emplazamiento del salto se encuentra dentro de la denominada Zona de Galicia Tras-Os-Montes, área delimitada por el cabo Ortegal, Órdenes, Bragança y Morais, en el cuadrante noroccidental del Macizo Hespérico. Esta zona delimita al Este con la franja del Anticlinorio de Olla de Sapo, y al Sur con la Zona Centro-Ibérica s.s.

En cuanto a la calidad del macizo, las excavaciones llevadas a cabo en la construcción de la central de San Esteban II, se desarrollan en dos litotipos bien diferenciados: granito de dos micas y diques de naturaleza diabásica.

En general, la calidad del macizo rocoso granítico presenta fuertes variaciones; el índice

RMR oscila entre los 40 y los 70 puntos, mientras que, el índice de calidad **Q** fluctúa entre los 0,5 y 20 puntos. Los ensayos de compresión a resistencia de la roca matriz muestran resultados variables: entre los 35 y 105 MPa.

Durante la construcción de la central de San Esteban se han interceptado cuatro (4) diques y un (1) filón de naturaleza diabásica. El **RMR** de los diques oscila entre los 30 y 45 puntos (calidad mala-regular) mientras que la **Q** de Barton arroja valores comprendidos entre los 0,2 y 1,5 puntos (calidad muy mala-mala). Atendiendo a estas clasificaciones geomecánicas, resultó necesaria la aplicación de tratamientos especiales en los tramos de galería y/o conducción excavados en este litotipo.

De acuerdo con los ensayos de compresión simple, realizados durante la campaña de investigación geotécnica de noviembre de 2007, la resistencia a compresión simple de la roca intacta, oscila entre los 5 y los 53 MPa.

Las filtraciones de agua inventariadas en el circuito subterráneo de San Esteban II, son escasas y muy sensibles a las precipitaciones. No

obstante, el deshielo y las lluvias torrenciales acaecidas durante los meses de febrero y marzo de 2010, incrementaron el número y caudal de dichas surgencias.

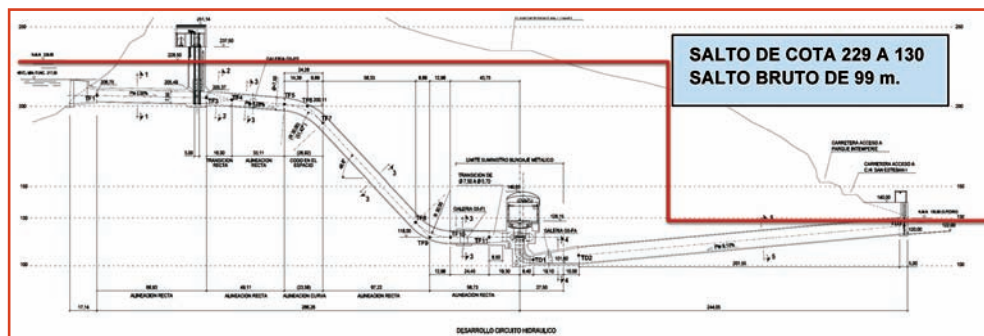
Excavaciones para la construcción de la obra civil de la central

Procedimiento general de la construcción

En las Figs. 1 y 2 se representa el perfil del esquema general de la obra y una perspectiva tridimensional del conjunto subterráneo.

Las excavaciones se han realizado en terrenos constituidos por granitos con distintos grados de meteorización y fractura-

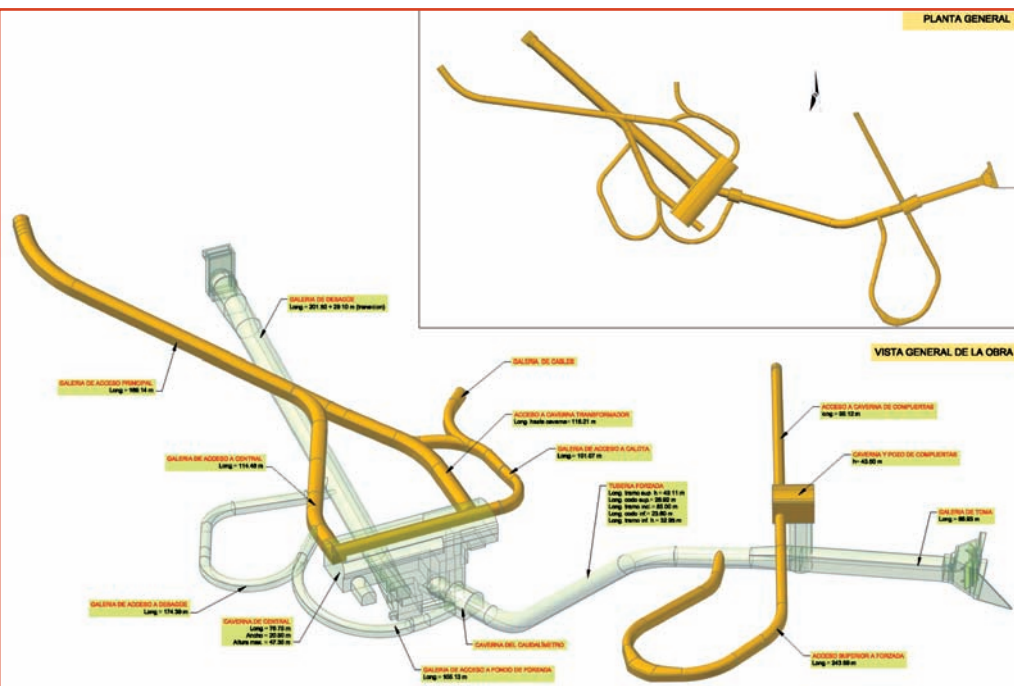




■ [Figura 1] .- Perfil del esquema general de la obra.



■ [Foto 2] .- Acceso a media ladera.



■ [Figura 2] .- *Perspectiva tridimensional del conjunto subterráneo.*

ción. De forma general se ha empleado la técnica de perforación y voladura y utilizando diferentes tipos de sostenimientos, hormigón proyectado, bulones de varias longitudes y diámetros y, más ocasionalmente, cerchas metálicas.

El empleo de explosivos, por encontrarnos próximos a una presa, una central hidroeléctrica y un parque exterior de transformación, ha exigido el llevar un rígido control de las vibraciones producidas en las voladuras y a acomodar los planes de tiro a las características de la roca, con el objeto de minimizar los efectos sobre las instalaciones existentes.

Accesos subterráneos

En el **Cuadro I** se resumen dichos accesos definiendo longitudes y secciones de los mismos.

Para alguno de ellos, en concreto para el que constituye el acceso a la Caverna y Pozo de Compuertas, debido a su emplazamiento a

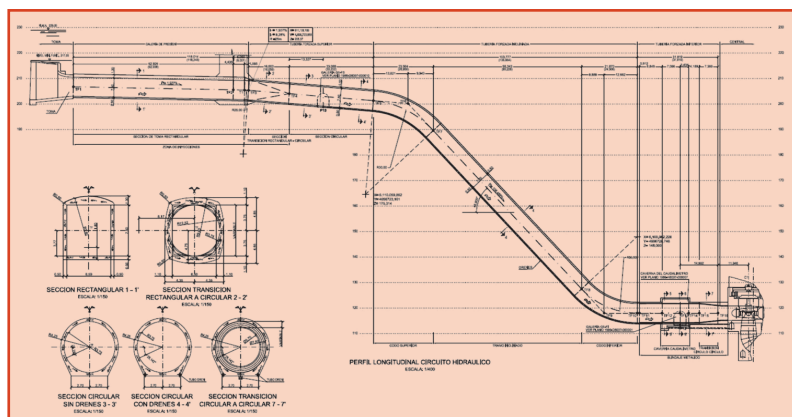
TRAMO	LONGITUD	DIMENSIONES	SECCION
G-1	400 m.	6,70 m x 6,7 m.	41 m ²
G-2	95,12 m.	4,5 m x 6,2 m.	28 m ²
G-5	523,2 m.	4,5 m x 5,5 m.	24,65 m ²

■ [CUADRO I] .- Dimensiones de los accesos.

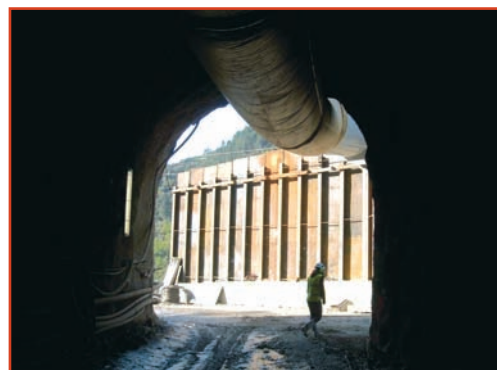
media ladera y a la proximidad de instalaciones preexistentes, ha habido que diseñar con especial detalle protecciones específicas que eviten las proyecciones en las primeras voladuras del emboquille (**Fotos 2 y 3**).

Circuito hidráulico

La **Fig. 3** muestra un perfil de dicho circuito hidráulico. De aguas abajo a aguas arriba se compone de:



[Figura 3] .-
Esquema
del perfil
del circuito
hidráulico.

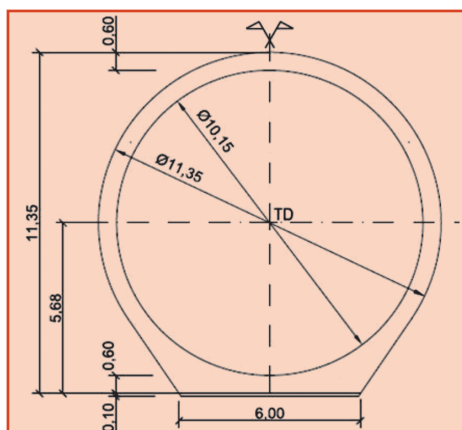


■ [Foto 3] .- Acceso ya construido.

- *Tunel de Desaqüe.*

Bajo el nombre de *Desagüe* se indica a la conducción existente entre la aspiración de la turbina y la restitución al río. En el sentido de avance del agua, está integrado por los siguientes elementos:

- *Cono, codo de aspiración y transición de desagüe.* Se inicia desde la salida de la turbina con una longitud total de 27,5 m. La sección inicial a la salida de la turbina presenta una altura de 7,6 m, después de la transición, la sección finaliza con unas dimensiones de 9 m de ancho y una altura de 10 m.
- *Conducción de desagüe.* La conducción tiene una sección de 10,15 m de diámetro, con una longitud de 219,55 m; la sección tipo se muestra en la **Fig. 4**.
- *Ataquéa de desagüe.* Entre la tubería y el



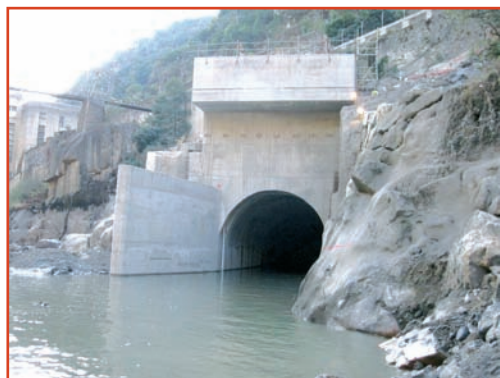
■ [Figura 4].- Sección tipo de la conducción.

canal de descarga se construye la ataguía de descarga en el exterior.

• Estructura de Ataguía, desembocadura y canal de restitución

A partir de la estructura de ataguía se construye la desembocadura y el canal de restitución, los cuales se ejecutaran con una longitud aproximada de 27 m.

Al objeto de minimizar los efectos que tendría en la explotación de los embalses el bajar el nivel del río para poder construir esta estructura, la excavación para su emplazamiento se ejecutó en pozo, construyéndose además una ataguía de protección de hormigón (Foto 4 y 5).



■ [Foto 4].- Ataguía de protección de hormigón.



■ [Foto 4].- Ejecución del pozo en cauce seco.

De esta forma, el período de *cauce seco* se redujo al mínimo imprescindible para construir la solera. El importante reto que suponía el cumplimiento de este hito se consiguió con éxito.

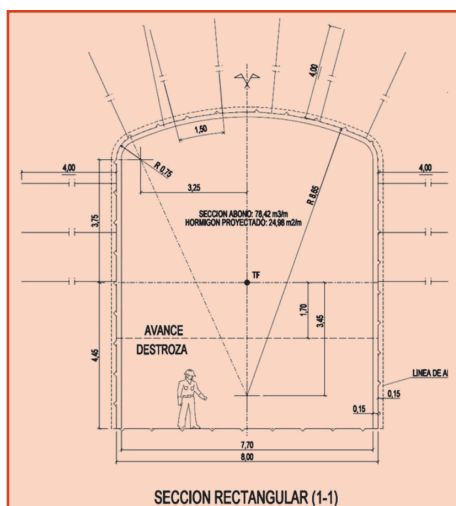
• Forzada

Se denomina *Tubería Forzada* a toda la conducción entre el pozo de compuertas y la turbina, la cual se ha dividido en tres tramos:

- *Tramo Sub-horizontal Superior.* La tubería forzada sale del pozo de compuertas mediante una transición rectángulo-círculo, de diámetro interior 7,5 m y una longitud de 16,04 m, a la que sigue un tramo de sección circular de 7,25% de pendiente con una longitud de 45,9 m y un codo en el espacio de 30 m de radio y 26,5 m. de longitud.
- *Tramo inclinado.* La construcción del tramo de forzada que discurre en pozo de 45° de inclinación, es una actividad realmente singular que se describe más adelante.
- *Tramo horizontal inferior.* A la tubería inclinada le sigue un codo recto de 30 m de radio y 23,5 m de longitud, posteriormente un tramo recto horizontal de 44,3 m de longitud de sección variable, inicialmente tiene 7,5 m de diámetro y finaliza con 5,8 m.

• Túnel de toma

Esta conducción es de sección rectangular y une la obra de toma con el pozo de compuertas de la toma (Fig. 5).

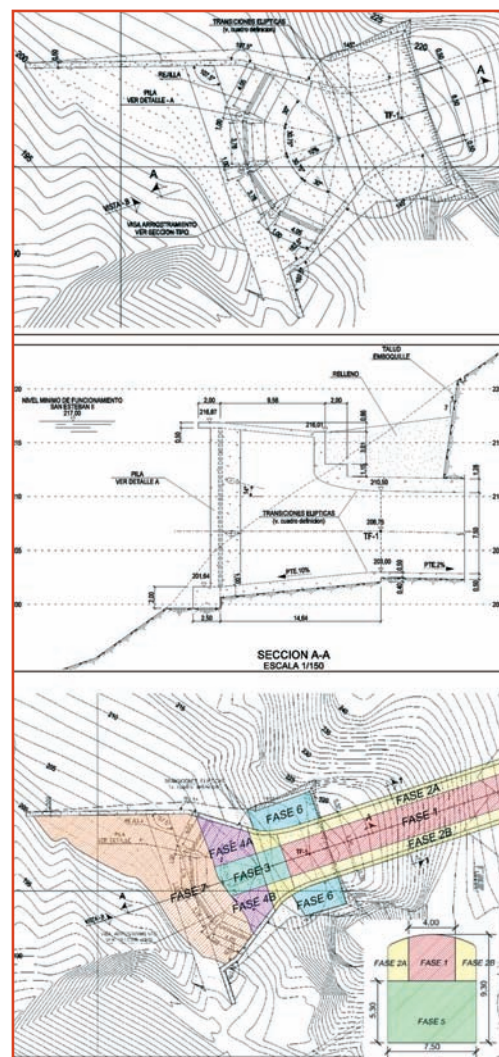


■ [Figura 5].- Sección del túnel de toma.

• Estructura de toma

En la Fig. 6 se muestra una planta y el alzado de la misma y un plano con las fases de excavación inicialmente planteadas.

Actualmente se está rediseñando su proceso constructivo, tratando de prefabricar el mayor número de elementos de la misma. Con esta solución, se reducirá de forma significati-



■ [Figura 6].- Planos de la estructura de toma.

va el tiempo previsto para su construcción y consecuentemente, una vez más, como en el caso de la Estructura de Desagüe, se afectará lo mínimo posible la normal explotación de los embalses de San Esteban y San Pedro.

• Pozo inclinado de la Forzada

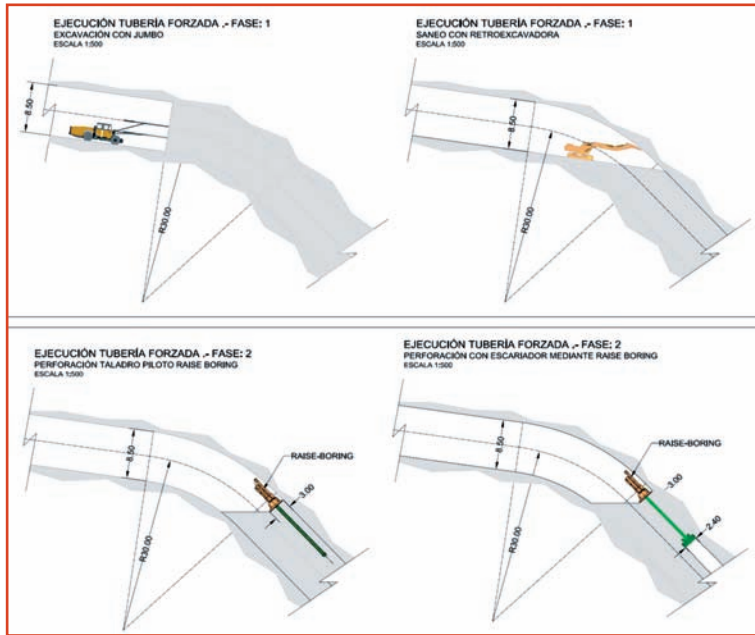
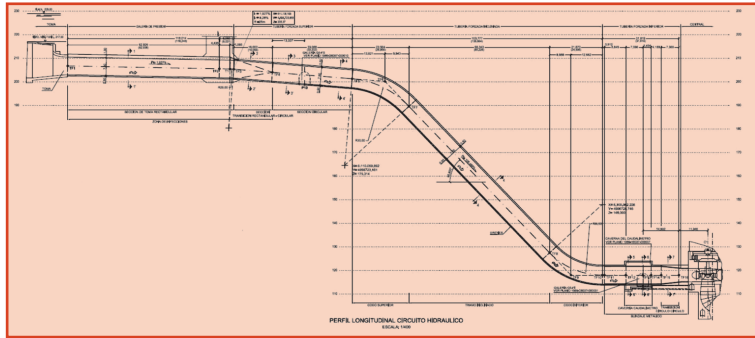
En la *Conducción Forzada* existe un tramo inclinado 45°, cuya construcción merece ser calificada de singular, dada su gran dificultad y los medios específicos que han sido necesarios para su ejecución. La sección es circular con un diámetro de 8,50 m y su longitud es de 85 m aproximadamente (Fig. 7).

Para su construcción se ha ejecutado previamente un cuele escariando de abajo a arriba con la técnica de *Raise-Boring*, para posteriormente, y ya de arriba abajo, hacer la destroza por perforación y voladura (Fig 8 y Foto 6).

Ha sido necesario diseñar unas instalaciones complejas para descenso del personal y máquinas en las máximas condiciones de seguridad (Fig 9 y Foto 7).

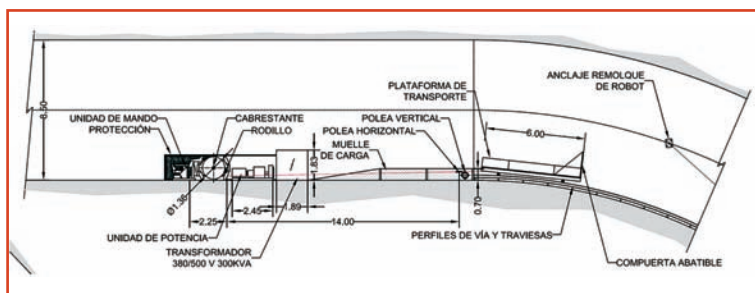
Los rendimientos alcanzados han sido:

- Ejecución del cuele con máquina para *raise-boring*: 5,5 m/día



[Foto 6] .- Vista del equipo de raise boring para ejecución del tramo inclinado de la conducción forzada.

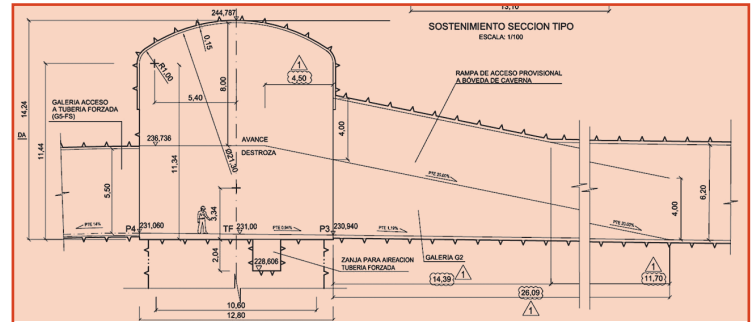
[Figura 3] .- Escaleras y dispositivos de seguridad para subida y bajada del personal en el pozo del tramo inclinado.



[Figura 7].- Tramo inclinado de la conducción forzada.

- Destroza con explosivos: 1,5 m/día
- Caverna y pozo de compuertas

La Caverna de Compuertas se sitúa en un ensanche excavado en la galería de acceso denominada G-2 a la cota 231. Tiene unas dimensiones en planta de 12,80 m. x 14,90 m. y 13,50 m. de altura, con techo abovedado. Desde ella se ha excavado un pozo de 32 m. de altura y 10,80 m. de diámetro que es el denominado *Pozo de Compuertas*, en el que, como su nombre indica, se colocan las compuertas de toma (Fig 10).



[Figura 8].- Sistema de ejecución del codo en el tramo inclinado de la conducción forzada.

[Figura 10].- Sección tipo de la caverna y pozo de compuertas.

La excavación del Pozo se ha realizado ejecutando previamente un cuele de 2,40 m. de diámetro mediante escariado con *raise-borer*, cuele que posteriormente ha sido ensanchado con explosivos a su diámetro final. En la Foto 8 se muestra el equipo de *raise boring* utilizado, y en la Foto 9, el Ø final del pozo de compuertas ejecutado.



[Foto 8] .- Raise borer.

[Figura 9].- Disposición de las instalaciones y maquinaria para descenso del personal.

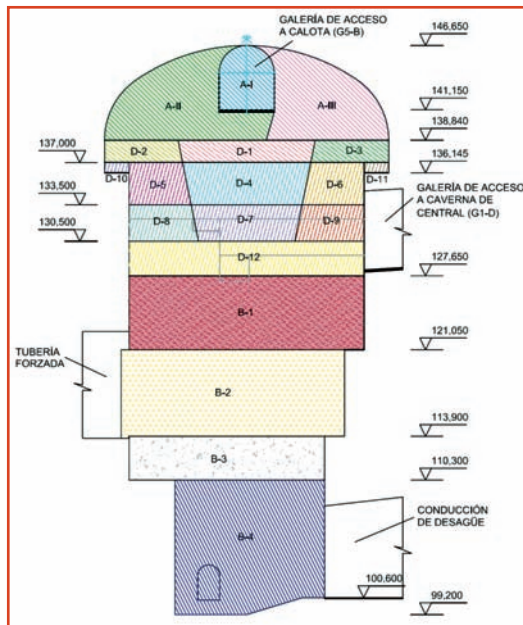
- Caverna de la central y del transformador
- La Caverna de la Central tiene unas dimensiones de 20,50 m x 58,25 m en planta, con la planta de la nave principal a la cota 133,15 msnm. La altura máxima de la excavación es



■ [Foto 9].- Diámetro final del pozo.

de 47,35 m., mientras que la altura final una vez construida la planta de alternadores será de 18,35 m., siendo el acceso a la misma la galería denominada de *Acceso Principal a la Central* citado anteriormente.

Su excavación ha tenido que ser realizada en varias fases. Los esquemas de las **Figs. 11 y 12**, son suficientemente explicativos.



■ [Fig. 12].- Sección transversal de la caverna.

De forma general, el sostenimiento empleado ha consistido en la proyección de una capa de gunita de 15 cm de espesor y colocación de bulones de 32 mm de diámetro y 10 m de longitud

en cuadrícula de 1 m. x 1 m. Como en otras centrales similares en macizos graníticos, no está previsto revestir ni la bóveda ni los hastiales.

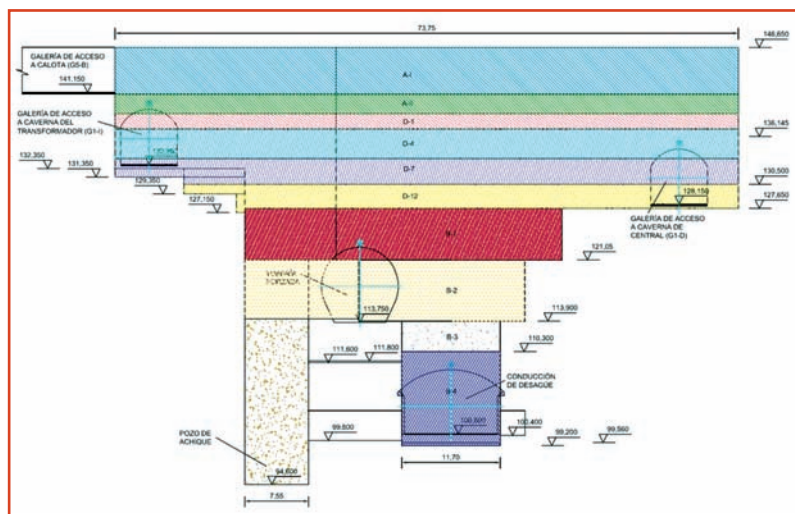
Merecen destacarse dos incidentes fundamentales surgidos durante la excavación

El primero se refiere a la aparición, durante la excavación de la bóveda, de un elemento anómalo dentro del cuerpo ígneo granítico, como ha sido un *dique intrusivo* de composición básica.

Este dique, similar a otros ya referenciados en el entorno, supone el relleno de una fisura de tipo distensivo, en una fase tardía y posterior al emplazamiento del plutón general.

A efectos geomecánicos, las características principales del dique responden a un espesor aproximado de 3 a 4 m., de tipo continuo (persistencia que excede de las dimensiones de la caverna), relleno de diabasa de color gris en la zona central y verdoso en los contactos, de elevada resistencia pero intensa fracturación (**Foto 11**).

El sostenimiento en esa zona se ha reforzado *saneando* el dique hasta 1,00 m. de profundidad aproximada, colocando doble malla electrosoldada de acero de 150 x 150 x 12 mm, entre capas de gunita proyectada



■ [Figura 11].- Sección longitudinal de la caverna de la central.

■ [Foto 11].- Tratamiento geotécnico del dique en el interior de la caverna.

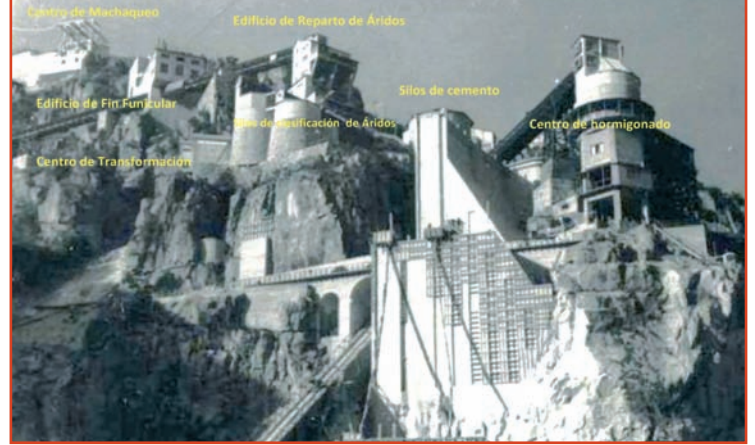
(hasta alcanzar un espesor total de 90 cm.) y cerrando la cuadrícula de bulonado hasta 0,5 m. x 0,5 m. aproximadamente (e inclinados hacia la roca encajante). **Foto 12**.



■ [Foto 10].- Vista de la ejecución de la caverna de la central.



■ [Foto 12].- Saneado, bulonado y gunitado del dique para refuerzo del sostenimiento.



■ [Foto 13].- Hormigón encofrado para evitar las cuñas de terreno.

■ [Foto 14].- Instalaciones antiguas de la obra.

El segundo es la aparición, tanto en bóveda como en hastiales, de cuñas de terreno que se desprendían, fundamentalmente en la fase del obligado saneo, produciendo inevitables sobreexcavaciones que han exigido la reconstrucción a su geometría definitiva, con hormigón encofrado, de parte de los hastiales de la caverna, ya que en muchas zonas llegaba incluso a no haber apoyo para las vigas carril (**Foto 13**).

La *Caverna del Transformador* se ha diseñado prolongando, sin solución de continuidad, la bóveda de la Central. Es una caverna de 20,5 m x 16 m en planta y altura máxima 12,65 m, con acceso rodado.

Demoliciones

Finalmente, es interesante mencionar que está previsto demoler todas las antiguas instalaciones

que se utilizaron en la construcción del embalse de *San Esteban*. Es un requerimiento municipal y como tal debe ser atendido, a pesar de su indudable coste y de que, al menos algunas de ellas –en opinión del autor–, podrían mantenerse como recuerdo histórico de una obra tan importante.

Epílogo

La construcción de grandes aprovechamientos hidroeléctricos con centrales subterráneas, ha sufrido durante bastante tiempo un parón en su desarrollo. Desde la construcción en los años 80 del gran complejo de *Cortes – La Muela*, en el que se emplaza la central subterránea *Cortes I*, y en la segunda mitad de los años 90, la central subterránea de *Millares II*, ambas propiedad de *Iberdrola* y en cuya cons-

trucción, por cierto, también participó *Obras Subterráneas*, prácticamente no se ha desarrollado ningún nuevo proyecto hasta hace aproximadamente 4 años en que se iniciaron los trabajos para la ampliación de la central de *Cortes* antes mencionada.

La construcción de *San Esteban II*, puede marcar, con aquella, el comienzo de una nueva etapa para este tipo de actuaciones, algunas de ellas previstas en la misma zona, y otras en los importantes aprovechamientos programa-



OBRAS SUBTERRÁNEAS, S.A.

Aragoneses, 2 A • P.I. Alcobendas

28108 Alcobendas (Madrid)

☎: 917 823 400 • Fax: 915 624 298

E-m: info@ossaint.com

Web: www.ossaint.com