



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Valencia*



MEMORIA

Proyecto de Obra Civil para Aprovechamiento Hidroeléctrico en el río Cabriel en el T.M. CASAS IBAÑEZ (ALBACETE) CANAL DE DERIVACIÓN

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso académico 2013-2014

Fecha presentación Julio 2014

Alumno:

Parte desarrollada:

Yevhen Zobal

Desarrollo Canal de derivación



ÍNDICE

1. OBJETIVO DEL PROYECTO Y SITUACIÓN.
2. ANTECEDENTES.
3. DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE.
4. ESTUDIO DE SOLUCIONES.
5. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS
- 5.2 Canal
5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SALTO.
6. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.
7. DOCUMENTOS CONSTITUYENTES DEL PROYECTO.
8. CONCLUSIONES.



MEMORIA

1. OBJETIVO DEL PROYECTO Y SITUACIÓN.

El objetivo de este proyecto es ver si es viable la construcción de un azud para dar un determinado nivel de agua y luego aprovechar el salto de agua existente entre el punto de toma y el de reintegro al río, casi 11km aguas abajo y 3,45km en línea recta entre el punto de toma y el punto de turbinación, con un salto de agua existente de 28m.

El objetivo de este azud será el de dar nivel aguas arriba para que se turbine aguas abajo con la finalidad de generar energía eléctrica y venderla en el mercado energético. Dado que la situación de esta nueva presa en el río Cabriel se encuentra entre dos grandes presas, las cuales si están construidas frente a posibles avenidas, este azud no se dimensionara para contrarrestar dichas posibles avenidas ya que se supone que la presa de Contreras será suficiente, situada a 21km en línea recta aguas arriba.

En cuanto a la situación de este aprovechamiento, se encuentra en el río Cabriel entre dos grandes presas, Contreras y Cortes de Pallas. La zona del río en la que se encuentra el presente proyecto está en el límite de comunidades autónomas, estas comunidades autónomas son la Comunidad Valenciana y la Comunidad de Castilla-La Mancha en los términos municipales de Venta del Moro, en la zona valenciana, y Villamalea, en la zona manchega. Para tener una referencia visual de la zona se ha incluido en el anejo fotográfico algunas imágenes obtenidas tanto de Google Earth así como del Instituto Geográfico Nacional y de Google Maps para ilustrar la zona.

2. ANTECEDENTES.

En el actual marco fluvial e hidrológico español todos los ríos tienen un cierto control humano con el fin de aprovechar al máximo los recursos hídricos que proporciona cada río. Por ello principalmente, en este estudio no se ha pensado en otra presa reguladora más, pues en el actual río Cabriel ya cuenta con 2 grandes presas que se encargan de ello, sino en un azud que trabaje sumergido.

Se pretende aprovechar además el conocido problema de Contreras, pues tiene muchas pérdidas las cuales retornan al río, por lo que este caudal de más puede ser aprovechado aguas abajo por cualquier tipo de aprovechamiento hidroeléctrico, como es nuestro caso. La cantidad de agua retornada al río es de $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

En cuanto al marco social, se presenta el problema de un aumento de la población que cada vez demanda más energía para realizar sus necesidades básica, así como una demanda cada vez mayor de agua con una calidad adecuada, por lo que añadir otro azud que produzca más energía puede ser una solución a un problema futuro de mayor demanda que oferta.

3. DOCUMENTACIÓN DISPONIBLE.

Para la realización del presente Proyecto se han utilizado los planos geológicos del Instituto Geominero, la documentación asociada al embalse de Contreras, la topografía asociada por la Cuenca Hidrográfica del Júcar (CHJ) y los datos hidrológicos del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) proporcionados también por la Cuenca Hidrográfica del Júcar (CHJ).



4. ESTUDIO DE SOLUCIONES.

El proyecto del aprovechamiento hidroeléctrico se ha concebido de manera que el resultado final es una decisión tomada a partir de varios estudios de soluciones.

Entre ellos cabe destacar las siguientes elecciones tomadas:

- Elección del lugar para realizar el Proyecto.
- Elección de la ubicación de la toma y del canal de retorno al río.
- Elección de la ubicación del azud.
- Elección del caudal ecológico.
- Elección del canal para peces.
- Elección del canal de derivación y longitud.
- Elección de la cámara de carga.
- Elección de la ubicación de la central.
- Elección de la disposición del número de turbinas.
- Elección de si la instalación eléctrica es interior o exterior.
- Elección de la altura de la turbina.
- Elección del tipo de eje a disponer.
- Elección si el retorno es por gravedad o a presión.

Para adoptar la solución final se han tenido en cuenta en todos esos puntos varios factores, el económico, el medioambiental y la energía generada, dado que las alternativas propuestas son viables técnicamente.

El hecho de que se haya valorado medioambientalmente es para establecer una antesala de lo que será el Estudio de Impacto Ambiental de dicha solución.

Todos los datos en los que se apoya la decisión están expresados en el Anejo de Estudio de Soluciones, aquí solo se interpretaran los resultados obtenidos.

Alternativa 1. Esta primera alternativa se encuentra a 4km de la alternativa 2 que ha sido la que finalmente se ha adoptado ver Anejo de Estudio de Soluciones. Esta alternativa aunque técnicamente es viable y proporciona una cantidad de energía similar puesto que la diferencia de salto entre ambas es de 1m, tiene el inconveniente que su tramo de conducción discurre en su totalidad en túnel, lo que provoca principalmente un impacto ambiental alto, un sobre coste en los métodos de excavación. Además esta actuación se produciría sobre una zona verde, el Parque Natural de Hoces de Cabriel, por lo que se rechaza por su gran impacto desde el punto de vista medioambiental.

Alternativa 2. Tras ver el problema con la alternativa anterior se ha querido solucionar trasladando la obra a otro punto donde la orografía del lugar fuera un inconveniente menor. Este punto, situado a 4Km aguas debajo de la alternativa anterior, ver Anejo de Estudio de Soluciones, en este caso la sección en túnel se reduce a la mitad, pero en cambio la superficie ocupada por la obra en canal se dobla. De todas formas y dado que la zona no se encuentra en ningún paraje natural ni tiene un alto interés paisajístico se puede permitir esto con el fin de evitar el gran coste que supone una obra que discurra más de 2Km en túnel.

Para la elección del tipo de turbina se ha tenido en cuenta el régimen de caudales medio diarios que suele circular por el rio Cabriel en la zona de estudio, ver Anejo de Estudio de Soluciones. Donde los caudales más habituales suelen ser de entre 10-20m³/s, se elige una turbina con capacidad para turbinar 15m³/s, la cual tendrá un volumen turbinado anual en



torno a los 300Hm³, con un porcentaje de aprovechamiento del 66%. Con este sistema el proyecto lograra generar entorno a los 25MWh anuales, con mínimos de 16MWh y máximos en años de bonanza hídrica que pueden alcanzar los 27MWh como podría haber ocurrido en el año 2010.

También sería recomendable realizar una explotación de la central de manera coordinada con la Cuenca Hidrográfica del Júcar (CHJ) para verter los caudales indicados por esta y desconectar la central en caso de avenidas, ya que, como se indica en la Ley de Aguas en el artículo 58 el orden de prioridad de un salto está en tercer lugar del ranking de prioridades, por detrás del uso agrícola que está en segundo lugar y el uso para abastecimiento que está en primer lugar. Este ranking similar al que fija el Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar.

5. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS.

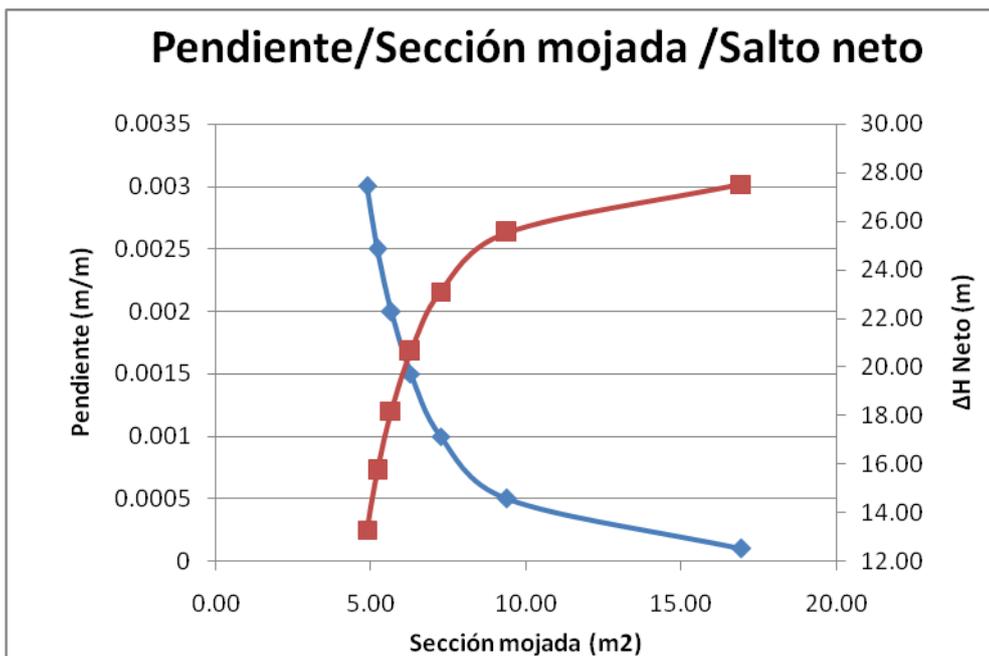
5.2. CANAL.

Los dos tramos por los que va a transcurrir el canal son, en túnel y a cielo abierto. Lo que significa que se ha de pensar una **pendiente óptima** que garantice cumplimiento de la **velocidad máxima** del agua (para prevenir los problemas de erosión), **superficie mojada** (directamente relacionada con el coste de ejecución y material en el tramo del túnel) y el **sálto neto** que se tendrá al final como el salto realmente aprovechable.

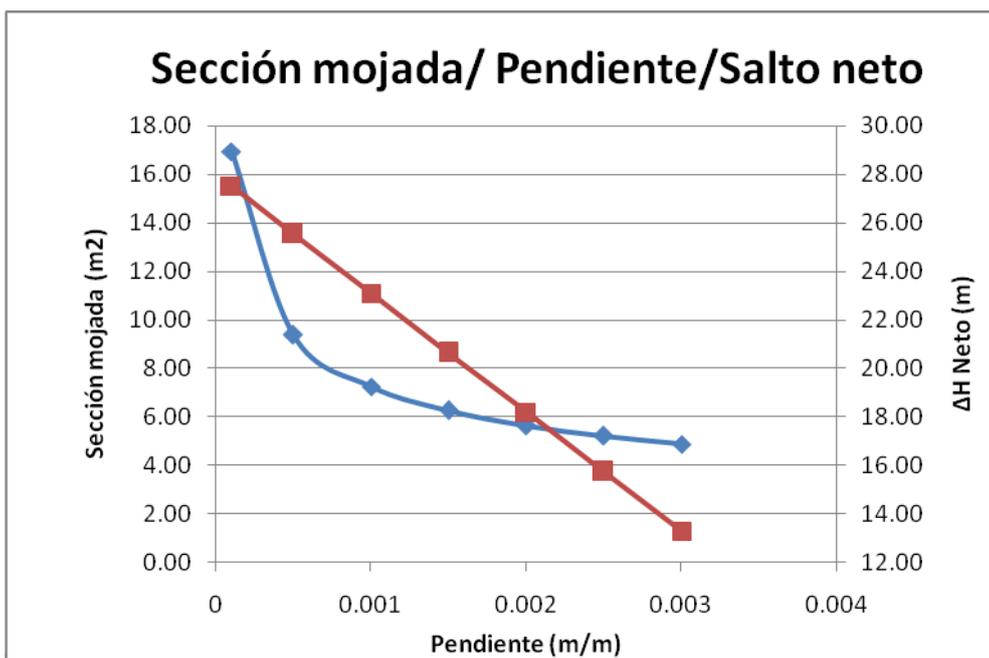
Para ello, se ha realizado un estudio de distintas alternativas que nos dan unos valores de los parámetros a estudiar (velocidad máxima, superficie mojada, salto neto) que se muestran a continuación:

<i>I pendiente (m/m)</i>	0.0001	0.0005	0.001	0.0015	0.002	0.0025	0.003
<i>y calado (m)</i>	2.88	1.91	1.58	1.42	1.31	1.23	1.17
<i>Sm sección (m²)</i>	16.93	9.38	7.24	6.28	5.65	5.20	4.88
<i>v velocidad (m/s)</i>	0.89	1.60	2.07	2.39	2.66	2.88	3.07
<i>H Neto (m)</i>	27.51	25.55	23.1	20.65	18.2	15.75	13.3

A continuación también se representan estos valores en la siguiente gráfica, en la cual podemos observar la relación entre la **Pendiente y la Sección mojada (azul)**, y por otro lado entre la **Sección mojada y el Salto neto (rojo)**.



Y además se representa otra gráfica cuya variable común en este caso es la **pendiente longitudinal** del canal, y no la sección mojada como en el caso anterior.



Como clara observación, las alternativas con la velocidad que supera 2 m/s se descartan ya que superan la máxima permisible en Hormigón, y de las dos alternativas restantes el valor de la superficie mojada es demasiado elevado, teniendo en cuenta que tenemos que realizar un tramo en túnel, que va a afectar al coste del mismo. Con lo cual nos quedamos con la solución cuya pendiente geométrica longitudinal es de 5/10.000 m/m.



Descripción de la obra del canal.

El canal que se pretende realizar es también llamado **canal de derivación**, con el objetivo de trasladar el agua desde el azud, hasta el lugar de aprovechamiento eléctrico. La sección del canal es de forma trapezoidal, con taludes de 1H: 1V.

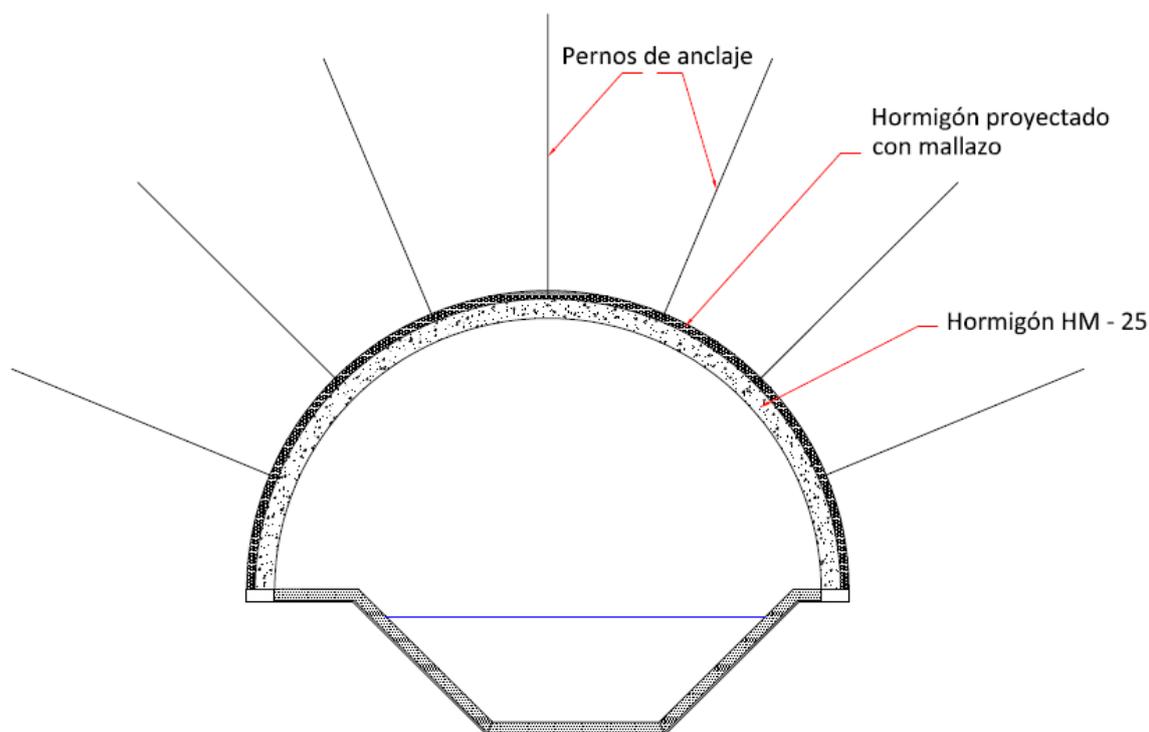
La obra tiene dos cambios de sección. El primer cambio de sección se realiza para pasar de la sección rectangular tras la toma del agua en el azud, a la sección trapezoidal del canal. Y la segunda se realiza al final del tramo del canal para pasar de la sección trapezoidal a la sección rectangular, antes de la cámara de carga, para una mayor facilidad de manejo con la propia sección y el caudal circulante.

La obra del canal comienza en el punto de la toma (en el azud) y en su primer tramo definido entra en una sección en túnel con una longitud total de 1377 metros.

SECCIÓN EN TÚNEL

Comprende la sección del canal junto con unos espacios laterales que se han dejado para poder realizar visitas en el período de explotación del mismo, para las actuaciones de mantenimiento u otros. Y por otro lado la sección del semicírculo que circunscribe la sección del trapecio anteriormente comentada con un radio de 5,4 metros.

El túnel se refuerza con un espesor de 0,15 metros de **Hormigón proyectado con mallazo**, unos **pernos de anclaje** (definidos geoméricamente en el plano de la sección transversal), y hormigón en masa (HM-20) de espesor 0,35 metros.



La sección del trapecio del canal se impermeabiliza en todo su anchura con un geotextil.



A la salida del túnel el canal continúa a cielo abierto a lo largo de los restantes 3616 metros.

SECCIÓN A CIELO ABIERTO

El canal se ubica a lo largo de su recorrido en el terreno con una **pendiente de ladera media** del orden de 56% que varía a lo largo del mismo. Con lo cual se ha decidido realizar un desmonte en la parte derecha del canal y un terraplén en la parte izquierda.

Uno de los objetivos es instalar un drenaje subterráneo para reducir las subpresiones generadas por las pérdidas del agua. El dren consiste en una zanja dentro de la cual va un tubo perforado de **PVC** de 0,4 m de diámetro, recubierto por un **geotextil** (filtro, para impedir acceso de las partículas del suelo cohesivo) y por fuera **relleno de grava**, que proporciona una función del filtro adicional con el fin de que no se erosione el terreno.

DESMONTE

Por la parte en la que se va a realizar el **desmonte** el talud del terreno es de **1H: 1V**, y se encuentra una **cuneta perimetral** de guarda para evitar acceso de la posible escorrentía al canal. El terreno que proviene de la excavación del desmonte, es el que se ha justificado en la geología, areniscas y margas.

La ladera descubierta se pretende cubrirse con una geomalla para evitar la erosión del terreno y de sus partes, y para impedir el acceso de sólidos a la cuneta, reduciendo el riesgo de la colmatación de la misma.

Cada 100 metros se van a instalar unos sumideros, que se llevarán el agua (escorrentía) acumulada en la cuneta, y a continuación mediante unos tubos transversales a la sección (drenaje transversal) la transportarán hacia el pie del terraplén y luego mediante unos bajantes, con el fin de no erosionar el terrenos) se baja por la ladera hasta la cota inferior.

TERRAPLÉN

Por otro lado del canal, en el **terraplén** con el talud de **1,5H: 1V**, se pretende realizar un camino de servicio (material: zorra artificial) con una ligera **pendiente** del orden del **2 %** en la dirección opuesta al lado del canal, utilizando la maquinaria de transporte, extensión y compactación.

Para la realización del terraplén se empleará el terreno proveniente de la excavación del desmonte.

Se realizará la **impermeabilización** de toda la sección en toda su longitud, empezando desde la cuneta perimetral y hasta la zona del terraplén (incluido) con un **geotextil**, ya que se prevé una escorrentía posible que proviene del drenaje superficial del camino de servicio.

Cada cierta longitud se realizará las bajantes para transportar el agua que proviene desde el drenaje superficial del camino de servicio.



6. CARACTERÍSTICAS DEL SALTO.

- Altura del salto: 32.5 metros.
- Caudal de diseño: 15 m³/s.
- Número de grupos: 1
- Tipo de turbina: Kaplan vertical.
- Potencia de la turbina: 0.9 MW
- Producción energética estimada anual: 21 MW
- Factor de utilización: 0.27
- Horas equivalentes de funcionamiento: 2386.36 horas

7. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.

Los cálculos necesarios para el presente proyecto comprenden:

- Cálculos hidrológicos.
- Cálculos de las turbinas y generadores.
- Cálculos hidráulicos.
- Cálculos de las distintas instalaciones.

8. DOCUMENTOS CONSTITUYENTES DEL PROYECTO.

He aquí los documentos que forman parte del “Proyecto de obra civil de un aprovechamiento hidroeléctrico”.

Documento Nº 1: MEMORIA Y ANEJOS.

- Memoria.
- Anejo I: Antecedentes.
- Anejo II: Estado Actual.
- Anejo III: Legislación.
- Anejo IV: Accesos a la obra.
- Anejo V: Topografía, Geología y Geotecnia.
- Anejo VI: Estudio previo.
- Anejo VII: Estudio de soluciones.
- Anejo VIII: Estudio hidrológico.
- Anejo IX: Cálculos.
- Anejo X: Estudio de impacto ambiental.
- Anejo XI: Programa de obra.
- Anejo XII: Presupuesto.
- Anejo XIII: Fotográfico.

Documento Nº 2: PLANOS.

- Localización y situación de la obra y accesos.
- Planta topográfica.
- Llanura de inundación.
- Perfil azud.
- Alzado y planta del azud.
- Perfil longitudinal canal.
- Secciones transversales a,b,c del canal.
- Secciones transversales d,e,f del canal.



PROYECTO DE OBRA CIVIL DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO

- Secciones de movimiento de tierras.
- Planta general de la central hidroeléctrica.
- Sección de la turbina.
- Sección cámara de carga.
- Detalles turbina Kaplan.

9. CONCLUSIONES.

Finalmente se ha calculado que con los trabajos propuestos y un programa de tareas medianamente detallado se podrá acabar la obra en 1 años más o menos. El presupuesto final de la obra que se estima es de alrededor unos 10.000.000€, y como se sacan unos 900.000 euros anuales por este aprovechamiento se estima que la obra podría ser rentable a largo plazo el cual debería ser mayor de 12 años.

Estimamos que se incluyen los elementos imprescindibles para la obra, que las partes de la misma cuyas dimensiones resulten diferentes del proyecto en la ejecución por su encaje en el terreno, han sido previstas con la suficiente amplitud y que han sido tenidas en cuenta las circunstancias desfavorables de este tipo de obra.

Se considera que todos estos datos que estamos dispuestos a aclarar y completar si se considera necesario, serán suficientes para que la Administración competente se forme juicio exacto de lo que se pretende realizar, por lo que se somete el presente documento a los Organismos Superiores para su aprobación.

Valencia, Julio de 2014
Los autores del TFG

Yevhen Zobal



PROYECTO DE OBRA CIVIL DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Valencia*

Proyecto de Obra Civil para Aprovechamiento Hidroeléctrico en el río Cabriel en el T.M. CASAS IBAÑEZ (ALBACETE) DESARROLLO CANAL DE DERIVACIÓN

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso académico 2013-2014

Fecha presentación Julio 2014

Alumno:

Parte desarrollada:

Yevhen Zobal

Desarrollo Canal de derivación



Índice General de Proyecto

Documento Nº1: Memoria y anejos

Memoria
Anejo I
Anejo II
Anejo III
Anejo IV
Anejo V
Anejo VI
Anejo VII
Anejo VIII
Anejo IX
Anejo X
Anejo XI
Anejo XII
Anejo XIII

Documento Nº2: Planos

1. Situación y emplazamiento de la obra
2. Estado Actual
3. Llanura de inundación del azud
4. Planta y alzado de la presa
5. Perfil transversal del azud
6. Sección longitudinal del canal
7. Secciones transversales del canal a, b, c
8. Secciones transversales del canal d, e, f
9. Detalle de excavación, juntas, sección en túnel y sección del sumidero
10. Planta general del edificio de la central
11. Sección vertical por el eje de la tubería forzada
12. Cámara de carga
13. Tubería



Documento Nº1: Memoria y anejos Índice

Memoria

Anejo I: Antecedentes

Anejo II: Estado actual

Anejo III: Legislación

Anejo IV: Accesos a la obra

Anejo V: Topografía, Geología y Geotecnia

Anejo VI: Estudio previo

Anejo VII: Estudio de soluciones

Anejo VIII: Estudio hidrológico

Anejo IX: Cálculos

Anejo X: Estudio de impacto ambiental

Anejo XI: Programa de obra

Anejo XII: Presupuesto

Anejo XIII: Fotográfico



Documento Nº2: Planos Índice

1. Situación y emplazamiento de la obra
2. Estado Actual
3. Llanura de inundación del azud
4. Planta y alzado de la presa
5. Perfil transversal del azud
6. Sección longitudinal del canal
7. Secciones transversales del canal a, b, c
8. Secciones transversales del canal d, e, f
9. Detalle de excavación, juntas, sección en túnel y sección del sumidero
10. Planta general del edificio de la central
11. Sección vertical por el eje de la tubería forzada
12. Cámara de carga
13. Tubería