

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

### Máster Universitario en Caminos, Canales y Puertos



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



---

## TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

**Estudio de soluciones para el aprovechamiento  
hidroeléctrico en el vertido del canal Tajo-Segura al  
embalse de Alarcón (T.M. de Belmontejo, Cuenca).**

## MEMORIA

**Autor:** Soler Llopis, Andreu

**Tutor:** Solera Solera, Abel

*curso 2020-2021*

*Valencia, septiembre de 2021*

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

## Índice

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>PARTE I. ANTECEDENTES Y MARCO LEGISLATIVO</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2 MARCO LEGISLATIVO. REGLA DE EXPLOTACIÓN DEL TRASVASE</b> .....	<b>16</b>
<b>PARTE II. EL PROYECTO</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 OBJETIVO</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2 DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO</b> .....	<b>21</b>
2.2.1 Ámbito geográfico y localización del proyecto .....	21
2.2.2 Acceso a las obras .....	22
2.2.3 Topografía, salto bruto, hidrogeología y Geotecnia .....	23
<b>2.3 ESTADO ACTUAL</b> .....	<b>28</b>
<b>2.4 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS</b> .....	<b>35</b>
2.4.1 Caudal medio diario .....	35
2.4.2 Curva de caudales clasificados.....	38
2.4.3 Curva de caudales clasificados-Volúmenes útiles.....	39
2.4.4 Caudal de diseño.....	40
2.4.5 Capacidad, pendiente y pérdida de altura del canal ATS desde el PK 90+000 hasta el punto de vertido .....	42
<b>2.5 ESTUDIO DE SOLUCIONES</b> .....	<b>44</b>
2.5.1 Descripción de las alternativas.....	45
2.5.2 Observaciones de las alternativas propuestas.....	50
2.5.3 Punto de toma y sección de entrada.....	51
2.5.4 Régimen de explotación para la Alternativa 4 .....	52
2.5.5 Tubería forzada.....	53
2.5.6 Cámara de carga .....	59
2.5.7 Aliviadero .....	64
2.5.8 Edificio de la central.....	64
2.5.9 Salto neto .....	65
2.5.10 Capacidad de potencia .....	66
2.5.11 Producción energética .....	69
2.5.12 Selección de la turbina.....	71
2.5.13 Equipos electromecánicos.....	75
2.5.14 Solución adoptada .....	78
<b>2.6 ESTUDIO ECONÓMICO</b> .....	<b>80</b>
2.6.1 Facturación de energía.....	80
2.6.2 Coste de la obra.....	81
2.6.3 Análisis de rentabilidad.....	82
<b>2.7 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> .....	<b>86</b>
2.7.1 Legislación vigente .....	87
2.7.2 Identificación de impactos .....	88
2.7.3 Valoración de los impactos .....	93
2.7.4 Medidas y acciones correctoras .....	94
2.7.5 Seguimiento ambiental.....	99
<b>PARTE III. CONCLUSIONES Y REFERENCIAS</b> .....	<b>101</b>

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

## **INTRODUCCIÓN**

El presente estudio consiste en aprovechar el trasvase Tajo-Segura para realizar un aprovechamiento hidroeléctrico, concretamente se trata de un análisis para la implantación de una minicentral hidroeléctrica en los últimos kilómetros antes de desembocar el trasvase del acueducto Tajo-Segura al embalse de Alarcón, en la provincia de Cuenca. Es un estudio de viabilidad técnica y económica en el que puede emplearse para dar paso a la posibilidad de poder construir la central o, por el contrario, justificar si es un proyecto inviable analizando diferentes soluciones para conferir aquella que sea la deseable.

El funcionamiento de una central consiste en utilizar la energía potencial que obtiene el agua almacenada, y convertirla en energía eléctrica para comercializar con ella. Para ello se diseñará una central que cumpla con los requisitos de viabilidad.

El medio ambiente y la carencia de recursos energéticos es un tema que está muy presente en la actualidad, por ello este trabajo pretende promover la industria hidroeléctrica. En concreto, la energía hidráulica es un recurso que lleva funcionando muchos años y está adaptada cada vez más a las necesidades. Poder transformar energía presenta una elevada eficiencia, y pese a que a la instalación de centrales es complicada y tiene un coste elevado, el factor que más condiciona la creación de este tipo de energía es hallar un emplazamiento interesante dado que es una solución muy recomendable para demandas de energía medianas.

En primer lugar, se describe el contexto en el que se encuentra el canal ATS y del régimen de explotación para situar el aprovechamiento hidroeléctrico y describir actualmente el mercado energético. En segundo lugar, se describe el desarrollo del estudio, es decir, se describen todos aquellos condicionantes existentes entre ellos los topográficos, se realiza un estudio de soluciones que dará lugar a adoptar una solución desde un punto de vista constructivo, económico y respetuoso con el medio ambiente, en base a cuatro alternativas que se estudian, la construcción de una central en cada rápida, una central para las dos rápidas y la posibilidad de una central de puntas. En



## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

tercer lugar, se realizan las conclusiones acerca de la viabilidad del proyecto, se profundizará en el estudio de soluciones y en el desarrollo del diseño constructivo y, por último, en el cuarto capítulo se muestra aquella información complementaria que ha servido de base para la elaboración de los cálculos y justificaciones. Además, se adjuntan esquemas y fotografías que se han considerado necesarias.

## **PARTE I. ANTECEDENTES Y MARCO LEGISLATIVO**

### **1.1 ANTECEDENTES**

El Acueducto Tajo-Segura forma parte del programa general de aprovechamiento del llamado “Complejo Tajo-Segura” que es la primera obra de infraestructuras hidráulicas en superar el desequilibrio hídrico existente entre el norte y sur de España. Este trasvase es una de las obras más importantes de la ingeniería hidráulica española, tanto por las soluciones técnicas aportadas para resolver problemas, algunos procedentes de la construcción, como por su finalidad de corregir, para su mejor aprovechamiento, la irregular distribución en el espacio de nuestros recursos hidráulicos.

Con esta obra, se ponen los recursos hidráulicos al servicio de la comunidad nacional, resolviendo una situación de hecho, ya que, en el Sureste español, el agua era ya un factor limitado del progreso económico. La finalidad del trasvase es transferir caudales excedentes del río Tajo a la cuenca del Segura, desde donde se distribuirán, en una vasta área de las provincias de Murcia, Alicante y Almería, para atender las necesidades existentes.

Con la realización del trasvase Tajo-Segura queda establecida un enlace físico entre algunos de los sectores más importantes de la red hidroeléctrica española. La estructura básica del trasvase es el Acueducto Tajo-Segura (canal ATS) que enlaza el río Tajo, (embalse de Bolarque) con el río Mundo (en el embalse de Talave), en siendo este un afluente del río Segura, mediante un trazado de 242 Km de longitud, que permite derivar hasta un caudal máximo de aproximadamente 33 m<sup>3</sup>/s. Dicho canal conduce un volumen anual de agua de hasta 600 Hm<sup>3</sup>/año de máximo con un promedio de entre 300 y 400 Hm<sup>3</sup>/año.

Cabe destacar que, a pesar de que el canal del trasvase atraviesa diferentes Demarcaciones (Tajo, Júcar y Segura), la zona de estudio se encuentra en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ). De esta forma el ATS comienza al norte con

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

la Demarcación Hidrográfica del Tajo hasta llegar a la Demarcación Hidrográfica del Segura.

Las obras de este complejo se dividen en cuatro tramos:

- Tramo I – Elevación de Altomira
- Tramo II – Canal de La Bujeda-Alarcón
- Tramo III – Canal de Alarcón – La Mancha
- Tramo IV – Túnel de Talave

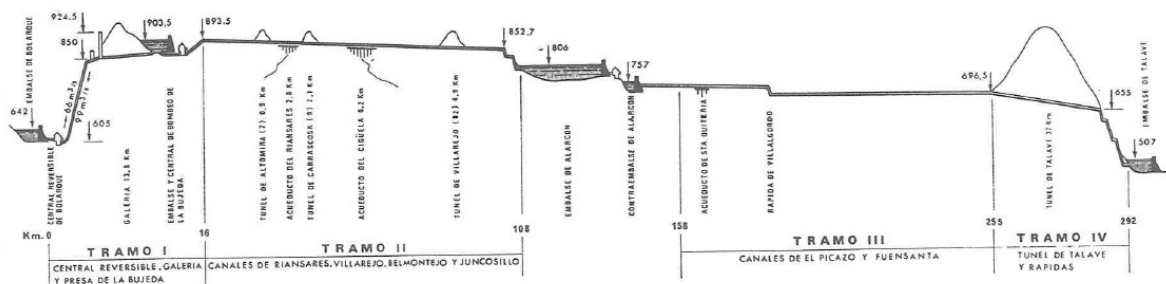


Ilustración 1. Perfil longitudinal del trasvase Tajo-Segura

Esta infraestructura permite el abastecimiento de una población permanente en el sureste español de más de 2.300.000 habitantes, así como el riego de 147.255 hectáreas entre las provincias de Almería, Murcia y Alicante, cultivos que son atendidos por cerca de 70.000 regantes pertenecientes a 80 Comunidades de Regantes, estando estas integradas en el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura.

Comienza su recorrido en el Tramo I gracias al principal sistema regulador hiperanual de la cuenca del Tajo, que constituyen los embalses de Buendía y Entrepeñas que se comunican con el embalse de Bolarque con una cota de 642 m en la provincia de Guadalajara punto a partir del cual mediante una central reversible permite ser bombeada el agua hacia el próximo embalse de La Bujeda el cual se encuentra a una mayor cota de 903.5 m.

A continuación, inicia el Tramo II que engloba un conjunto de túneles y tramos en canal de sección abierta hasta llegar al término municipal de Belmontejo y Juncosillo, provincia de Cuenca donde vierte sus aguas al embalse de Alarcón a una cota de 852.7

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

m. Esta es la parte donde trata el desarrollo del proyecto, dado que los datos de desniveles existentes brindan la oportunidad de trazar un aprovechamiento hidroeléctrico en este lugar.

A partir del embalse de Alarcón situado a 757 m de altitud da comienzo el Tramo III el cual discurren las aguas del trasvase en los canales de El Picazo y Fuensanta en descenso de altura y finalmente terminan las obras con el conjunto del Tramo IV siendo el final de su recorrido en el embalse de Talave, provincia de Albacete, hallándose un desnivel importante de 696 m a 507 m, donde se encuentra la lámina libre de dicho embalse.

El recorrido total de las aguas de 292 Km, de los cuales la longitud de las obras es de 242 Km gracias al uso del embalse de Alarcón motivo por el que se ve reducida la cantidad de obra en la infraestructura del trasvase. Se destaca por tener 172 Km en canal a cielo abierto, 58 Km en túnel y 11 Km en acueducto además de varios kilómetros a través del embalse de Alarcón y el río Júcar.



*Ilustración 2. Tramo del trasvase ATS vertiendo en la cola del embalse y encuentro con el río Júcar*

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.



*Ilustración 3. Mapa ilustrativo del Complejo Tajo-Segura*

Más allá de este embalse, existe parte de infraestructura que forma parte del Complejo, a esta se le conoce como **Postrasvase**, el cual comprende las obras de conducción, regulación y distribución en el Sureste de los caudales trasvasados (región de Murcia). La longitud de los canales principales de distribución que alimentan finalmente a las tomas de los distintos usuarios es de aproximadamente 276 Km.

La longitud total del territorio de la Demarcación Hidrográfica del Júcar que atraviesa el trasvase es de aproximadamente 120 Km. Comenzando en Villarejo-Periesteban (Cuenca) hasta la población de Los Anguijes (Albacete). Siendo este tramo el perteneciente al emplazamiento donde se va a realizar el estudio de soluciones para determinar el aprovechamiento hidroeléctrico viable aprovechando la existencia de dos rápidas.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Como puede verse en las siguientes imágenes, la nueva minicentral se encontrará al término del Tramo II, a partir de Belmontejo hasta la rápida Terminal. Esta zona tiene las siguientes características longitudinales.

- Canal de Belmontejo: 14,13 Km
- Rápida de Belmontejo: 259 m
- Canal del Juncosillo: 1,42 Km
- Rápida Terminal: 504 m



*Ilustración 4. Vista aérea del canal ATS a estudiar y su topografía.*

El tramo del trasvase a analizar para la definición del aprovechamiento se encuentra a lo largo de los últimos 2800 m del canal ATS, comenzando en el PK 90+000 y terminando en el punto de vertido PK 92+800.

En este tramo se ubican las dos rápidas y es por ello por lo que se puede estudiar alternativas aceptablemente buenas que ofrece el terreno y la infraestructura existente.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

A modo de aproximar las longitudes de cada parte de este tramo el canal ATS tenemos:

- Canal de Belmontejo: 640 m
- Rápida de Belmontejo: 260 m
- Canal del Juncosillo: 1350 m
- Rápida Terminal: 450 m

En total suman 2700 m de canal ATS.

## **Descripción general del ATS en Belmontejo**

Valverde del Júcar se sitúa en la mitad meridional de la provincia de Cuenca, en el dominio conocido como límite suroriental de la Meseta. Aquí el clima corresponde a un régimen de tipo mediterráneo templado, con una pluviometría media de 400 a 600 mm/año. Las zonas con índices pluviométricos más altos (>700 mm/año) se localizan en la Serranía, siendo las áreas meridionales como la Llanura Manchega las que ofrecen mayor tendencia a la aridez, con índices medios anuales comprendidos entre 300 y 400 mm.

La temperatura media anual es de 13°C con máximas absolutas de 39-40°C y mínimas de -8 y -9 °C.

El relieve de la depresión es suave y alomado, cuya topografía ronda los 800 msnm en las cercanías al embalse de Alarcón y los cursos del agua que corren por los valles más amplios son muy efímeros y no siempre llegan a desembocar a otro valle, ofreciendo recorridos bastante dispersos tendentes a finalizar en zonas de mal drenaje.

La población es escasa en la zona y se halla concentrada en pequeños núcleos urbanos entre los cuales destacan en la zona el término municipal de Belmontejo.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## Características generales del Canal

En el tramo II, en el embalse de La Bujeda se inicia una conducción que salva una distancia de 93 Km, hasta el embalse de Alarcón, mediante una alternancia de tramos en canal, acueductos y túneles.

Entre los acueductos merecen destacarse los pasos de los ríos Riansares y Cigüela, que con longitudes de 2850 m y 6200 m respectivamente, cimentados en terrenos difíciles y soportados por pilares de hasta 50 m de altura constituyen verdaderos récords en su tipología en el momento de su construcción.

Así mismo, de los doce túneles que consta este tramo, merece especial mención el de Villarejo ya que es el cruce de la divisoria entre Guadiana-Júcar de 5020 m de longitud por las dificultades que ofreció su perforación.

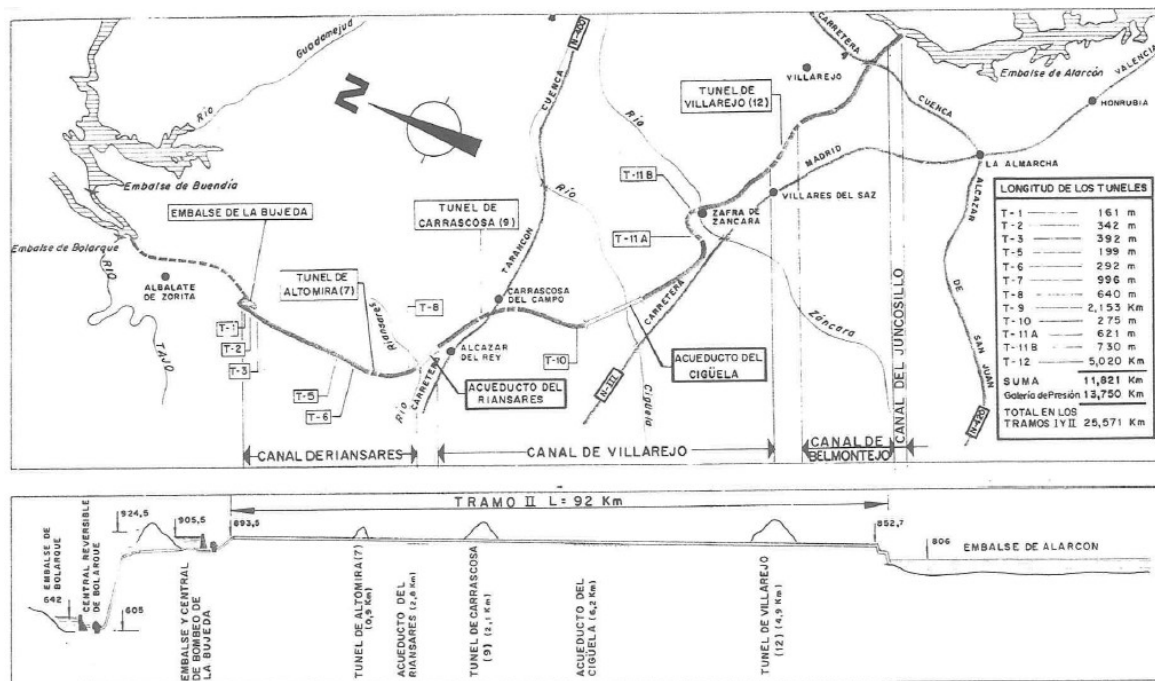


Ilustración 5. Planta y perfil longitudinal del Tramo II del canal ATS.

Este Tramo del ATS da comienzo en el embalse de regulación diaria y semana de La Bujeda, construido cerrando con diques de materiales sueltos una depresión natural, que ha sido preciso impermeabilizar, en su mayor parte con un manto arcilloso. El



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

volumen total del embalse es de 7.000.000 de m<sup>3</sup> de los que 6,8 están situados entre los niveles 884 y 905,50 m que son los límites de explotación.

Esta dispone de una galería de presión que actúa en ambos sentidos del agua, según la instalación de la central esté funcionando como generadora de energía o en bombeo.

El agua almacenada en este embalse puede pasar por gravedad al canal Bujeda-Alarcón (donde se encuentran los canales de Belmontejo, Juncosillo y las rápidas) cuando el nivel de retención está por encima de determinada cota. Para niveles inferiores, la central de bombeo de La Bujeda la impulsa hasta el canal mediante tres grupos de motobombas de 16,5 m<sup>3</sup>/s cada una, con una potencia total de 10.500 kW.

## **Descripción de la Geometría del trasvase ATS en Belmontejo**

Al término del Tramo II y antes de la incorporación de las aguas al embalse, se dispone de un desnivel de aproximadamente 40 m, lugar idóneo donde será aprovechado para la instalación de una central hidroeléctrica.

Los canales de Belmontejo y Juncosillo poseen unas características similares, ambas son de sección trapezoidal revestidas de hormigón sobre capa de impermeabilización. La sección en desmonte permite conocer la geometría del canal dado que es todo el tramo en sección abierta.

De acuerdo con este perfil, es sabido que la excavación del terreno originarias de la construcción de la sección trapezoidal se han utilizado para recrecer las orillas, sobrepasando la altura prevista, y creando una altura de seguridad frente a crecidas.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

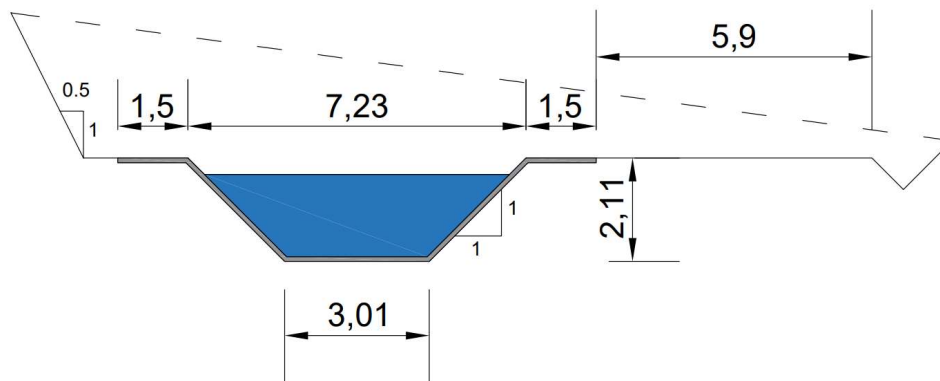


Ilustración 6. Sección transversal genérica del canal ATS

Sin embargo, la geometría de las rápidas es diferente, pasando a ser un canal tipo Parshall o de garganta de sección rectangular compuesto de hormigón que produce una variación de nivel asegurando la relación con el caudal que fluye a través de la garganta. El funcionamiento consiste en provocar una contracción brusca de la sección. La pendiente longitudinal del canal en los tramos previos a las rápidas es inferior al 2%. Sin embargo, la rápida terminal no posee un canal de salida, vierte directamente las aguas al embalse.

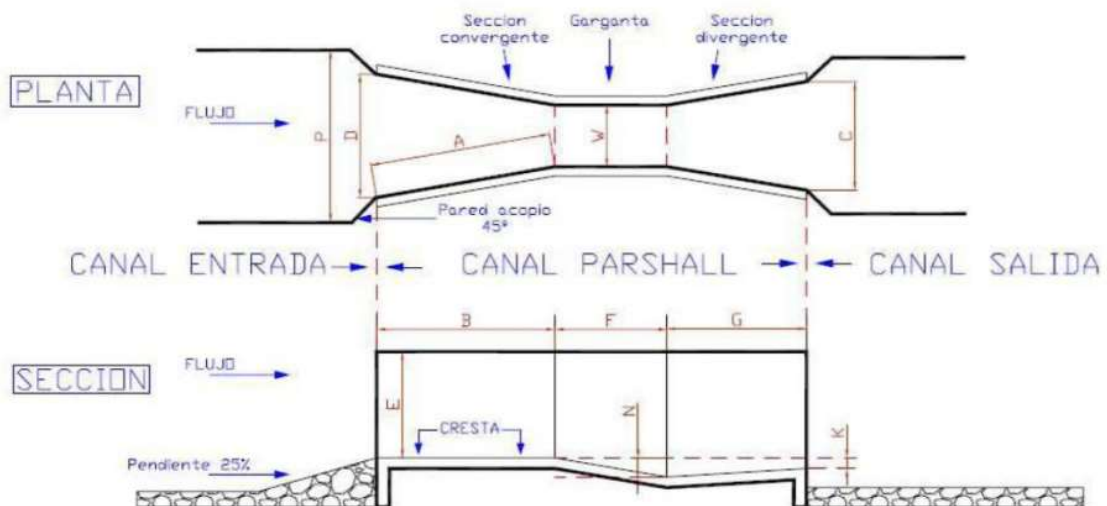


Ilustración 7. Sección longitudinal de las rápidas

El embalse de Alarcón es un elemento clave en el trazado de la conducción del trasvase ya que permite la reducción de longitud necesaria de obra de canalización. Las

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

aguas del Trasvase se incorporan en su cola y son de nuevo derivadas aguas debajo de la presa

## **1.2 MARCO LEGISLATIVO. REGLA DE EXPLOTACIÓN DEL TRASVASE**

Dentro del marco jurídico fundamental, el trasvase Tajo-Segura está regulado por un numeroso conjunto de disposiciones de diverso rango. A continuación, se enumeran las principales normas que afectan a su explotación:

Disposiciones generales:

- Ley 21/1971 de 19 junio sobre el aprovechamiento conjunto Tajo-Segura
- Ley 52/1980 de 16 octubre de Regulación del Régimen económico de la explotación del Acueducto Tajo-Segura

Disposiciones sobre la comisión central de explotación del Acueducto Tajo-Segura:

- Real decreto 2530/1985 de 27 diciembre, sobre Régimen de explotación y distribución de funciones en la gestión técnica y económica del acueducto Tajo-Segura.

Disposiciones sobre la regla de explotación:

- Real decreto 773/2014 de 12 de septiembre sobre el que se aprueban diversas normas reguladoras del trasvase por el Acueducto Tajo-Segura.

Recientemente se ha aprobado una modificación de esta regla, aunque en el presente estudio se ha realizado de acuerdo con datos derivados de la regla de 2014.

Además, la propuesta del Plan Hidrológico del Tajo actualmente en información pública sube el caudal mínimo en el Tajo a 1 m<sup>3</sup>/s por lo que puede reducir los aportes al ATS en 30 Hm<sup>3</sup>/año.

La regla de explotación actualmente vigente es una actualización de la regla aprobada por la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura, el real decreto 773/2014 de 12 de septiembre, por la que se aprueban diversas normas reguladoras del trasvase.

Según disponen estas normas. en función de las existencias conjuntas en los embalses de Entrepeñas y Buendía a comienzos de cada mes, se establecen cuatro

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

niveles mensuales con arreglo a los que se acordará la realización de los trasvases, con un máximo anual total de 650 Hm<sup>3</sup> en cada año hidrológico (600 para el Segura y 50 para el Guadiana).

Nivel 1: Se dará cuando las existencias entre los embalses de cabecera sean iguales o mayores a 1300 Hm<sup>3</sup>, o cuando las aportaciones conjuntas entrantes a estos en los últimos 12 meses sean iguales o mayores que 1200 Hm<sup>3</sup>. En este caso el órgano competente autorizará un trasvase mensual de 60 Hm<sup>3</sup>, hasta el máximo anual mencionado.

Nivel 2: Este caso se dará cuando las existencias conjuntas entre Buendía y Entrepeñas sean menores a 1300 Hm<sup>3</sup>, sin llegar a los volúmenes previstos en el Nivel 3, y las aportaciones conjuntas registradas en los últimos 12 meses sean menores a 1200 Hm<sup>3</sup>. En este caso el órgano competente autorizará un trasvase mensual de 38 Hm<sup>3</sup>, hasta el máximo anual antes referido.

Nivel 3: Se dará cuando las existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía no superen, a comienzos de cada mes, los valores de la siguiente tabla (valores en Hm<sup>3</sup>):

Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
613	609	605	602	597	591	586	645	673	688	661	631

*Tabla 1. Valores en Hm<sup>3</sup> de trasvase*

En este nivel, se daría como situación hidrológica excepcional, por lo que al órgano competente se le permite autorizar un trasvase de hasta 20 Hm<sup>3</sup>/mes.

Nivel 4: Se dará esta situación cuando las existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía se encuentren por debajo de 400 Hm<sup>3</sup>, en cuyo caso no cabe aprobar trasvase alguno.

Desde la entrada en vigor de este real decreto la explotación del trasvase ATS viene registrando cierta frecuencia de situaciones hidrológicas excepcionales (nivel 3) o de ausencia de recursos trasvasables (nivel 4), que en conjunto pueden llegar a

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

suponer la mitad del tiempo de operación. Esta circunstancia, devalúa el propio concepto de excepcionalidad, tiene como consecuencia una alta inestabilidad y una gran irregularidad en los volúmenes trasvasados.

La razón por la que se ha llegado a alcanzar esta situación es doble. En primer lugar, la regla vigente no tomó en consideración las conclusiones de los informes técnicos en los que se proponía modificar el volumen de trasvase en nivel 2 y reducirlo a 30 Hm<sup>3</sup>/mes, y se decidió mantener la cifra original de 38 Hm<sup>3</sup>/mes. Esta situación supuso que la nueva regla comenzara su funcionamiento en 2014 con alta probabilidad de incurrir en situaciones hidrológicas excepcionales, desviándose desde el inicio de los valores de diseño considerados admisibles.

En segundo lugar, desde que la nueva regla entró en vigor las aportaciones a los embalses de Entrepeñas y Buendía han experimentado un notable descenso, llegando a registrarse durante estos años el peor año hidrológico desde la entrada en servicio el trasvase.

La combinación de ambos factores (inadecuada cifra de partida y desfavorable evolución hidrológica de los últimos años) ha dado lugar a esta elevada ocurrencia de situaciones excepcionales en la explotación del trasvase.

Este funcionamiento de la regla vigente pone de manifiesto la convivencia de actualizar y ajustar sus parámetros, de forma que a la situación excepcional se presente con menor frecuencia y se restablezcan las probabilidades de presentación con las que inicialmente fue diseñada la regla.

Los valores de estos parámetros dependen, fundamentalmente, de las condiciones hidrológicas y de los usos del agua y requerimientos ambientales de la cabecera del Tajo.

Tras los análisis realizados, la modificación de parámetros que se considera más adecuada consiste en reducir el volumen de trasvase en nivel 2 de los 38 Hm<sup>3</sup>/mes

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

vigente a 27 Hm<sup>3</sup>/mes y elevar el umbral de aportaciones acumuladas que define el límite entre los niveles 1 y 2 de 1200 a 1400 Hm<sup>3</sup>, manteniéndose el resto de los parámetros en su valor actual.

Con estas dos modificaciones, tanto la probabilidad de incurrir en situaciones hidrológicas excepcionales como la de no disponer de recursos trasvasables se reducen a valores admisibles, con lo que se consigue una mayor regularidad en los envíos, al tiempo que se mantiene un trasvase medio anual similar a la media de volúmenes totales trasvasados para abastecimiento y regadío durante el período completo de funcionamiento del trasvase.

Permitiendo alcanzar un compromiso entre los volúmenes trasvasados y la estabilidad de los suministros. Beneficiará tanto a las cuencas cedentes como a la receptora.

## **PARTE II. EL PROYECTO**

### **2.1 OBJETIVO**

La motivación del presente documento que se realiza es desarrollar un estudio de viabilidad con el fin de establecer un aprovechamiento hidroeléctrico que pueda ser utilizado en un futuro para la elaboración de un proyecto real. Se trata de optimizar y aprovechar en gran medida los recursos hídricos disponibles con las infraestructuras presentes para la generación de electricidad a partir de un determinado salto de agua y caudal disponible.

Por ello este estudio tiene como finalidad establecer las alternativas factibles aguas arriba del embalse de Alarcón, en las dos últimas rápidas que aparecen en el tramo del Acueducto Tajo-Segura dado que se dispone allí de una topografía atrayente.

La zona seleccionada destaca como ubicación potencial para producir energía de este tipo ya que posee grandes extensiones de tierra donde es posible acoger la producción de dicha energía permitiendo un desarrollo armónico de la actividad económica y social del entorno.

Además, dentro de las labores a determinar se incluye encontrar las condiciones más adecuadas de caudal y salto aprovechable con el que poder diseñar las máquinas que sean más adecuadas para la central y, en general todas aquellas variables que influyan en el diseño. Una vez estudiadas las distintas opciones, se justificará la solución escogida desde un punto de vista técnico, constructivo, económico y respetuoso con el medio ambiente.



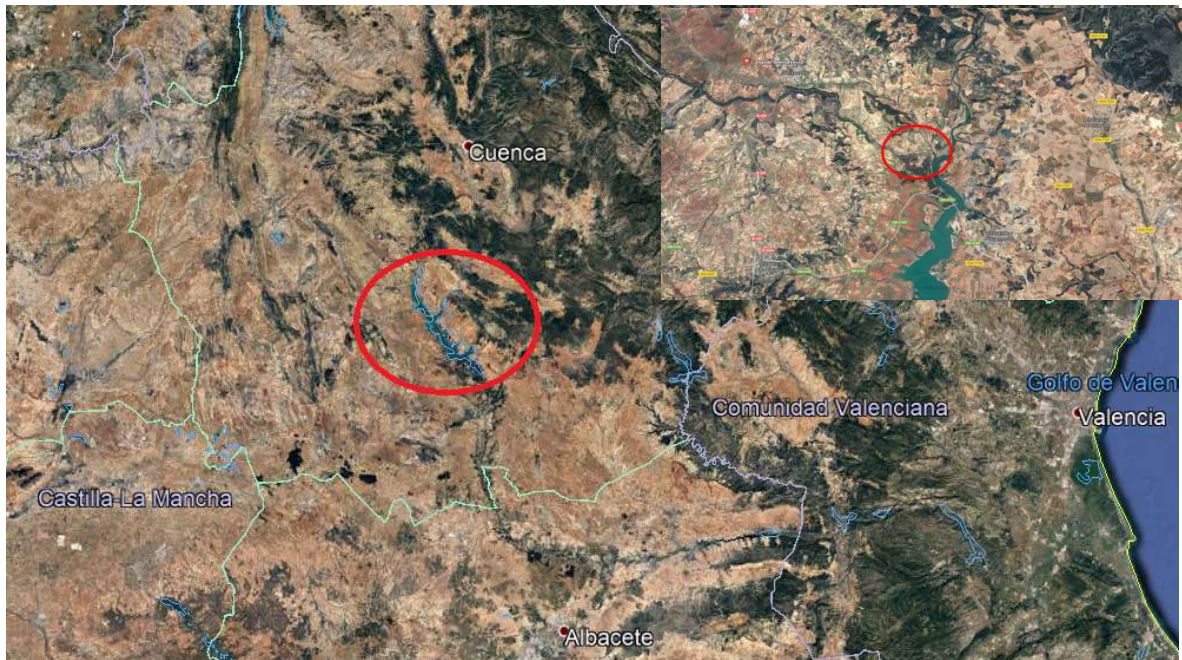
## **2.2 DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO**

### **2.2.1 Ámbito geográfico y localización del proyecto**

El estudio está centrado en los últimos kilómetros antes de verter el agua del canal ATS al embalse de Alarcón, aprovechando las infraestructuras existentes en el final del Tramo II (canal de Belmontejo y canal de Juncosillo) además de los dos descensos (rápidas) que disipan la energía del agua debido al desnivel existente en la zona.

Nos encontramos en el vertido del canal ATS a la cola del embalse de Alarcón, desde donde sus aguas se mezclan con las del río Júcar, ubicado este lugar en la provincia de Cuenca, comunidad autónoma de Castilla-La Mancha, España, próximo al municipio de Belmontejo.

A continuación, se muestran algunas referencias visuales de la ubicación donde tratará este trabajo, obtenidas por Google Maps y el Instituto Geográfico Nacional.



*Ilustración 8. Ubicación de la zona de estudio de este proyecto*

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.



*Ilustración 9. Emplazamiento del estudio*

## **2.2.2 Acceso a las obras**

Existen algunos accesos desde los que permiten acceder a la obra, el origen de todos ellos se encuentra en la Nacional III Madrid-Valencia, con dirección NNO-SSE; desde donde parten caminos comarcales y rurales que comunican relativamente bien los centros de población como Belmontejo y dan acceso al canal ATS.

También existe una carretera aleñada al canal como vía de servicio para poder efectuar labores de mantenimiento a lo largo del recorrido del canal, además permite acceder a los diferentes puntos de estaciones de aforo y otras instalaciones.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

El ancho del vial es de 5.00 m, suficiente para la circulación de camiones, lo cuales pueden maniobrar perfectamente en las explanadas y realizar los cambios de sentido. La superficie de rodadura se encuentra en buenas condiciones por lo que no se considera necesario realizar ningún tratamiento superficial en esta.

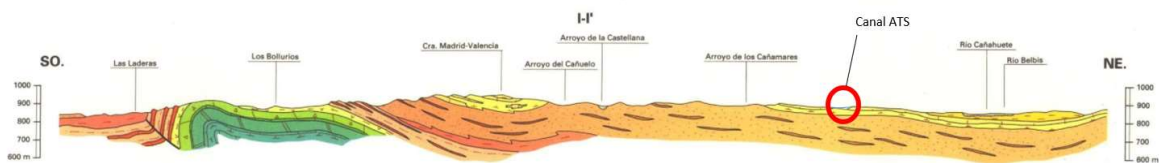
También se encuentran vías pecuarias que atraviesan el canal en varios puntos en el tramo de estudio, las cuales pueden resultar interesantes como accesos auxiliares para la construcción del aprovechamiento. En general, el acceso existente al objeto de estudio es bueno.

## 2.2.3 Topografía, salto bruto, hidrogeología y Geotecnia

Con el fin de situar los diversos elementos que componen la obra y estimar las características del terreno y de los materiales sobre los deberá apoyarse y cimentar las instalaciones para el aprovechamiento se han empleado la siguiente información:

- La Base Topográfica Nacional de España a escala 1:25.000 (Líneas de nivel cada 10 m)
- El visor cartográfico de Castilla La Mancha (Líneas de nivel cada 5 m)
- Mapa Geológico y Minero de España a escala 1:50.000

La ubicación se encuentra en una zona llana con desniveles suaves, sin embargo, la orografía decrece progresivamente conforme se acerca el canal ATS al embalse de Alarcón.



*Ilustración 9. Corte geológico donde se ubica el canal ATS en el conjunto*

La cota sobre la que discurre el trazado del canal desde el PK 90+000 es de 859,66 m hasta la zona de vertido (final de la Rápida Terminal) en el PK 92+700, con una altura que puede variar dependiendo de la capacidad o desnivel que puede sufrir el embalse de Alarcón, siendo su nivel máximo normal de explotación en 806 m.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

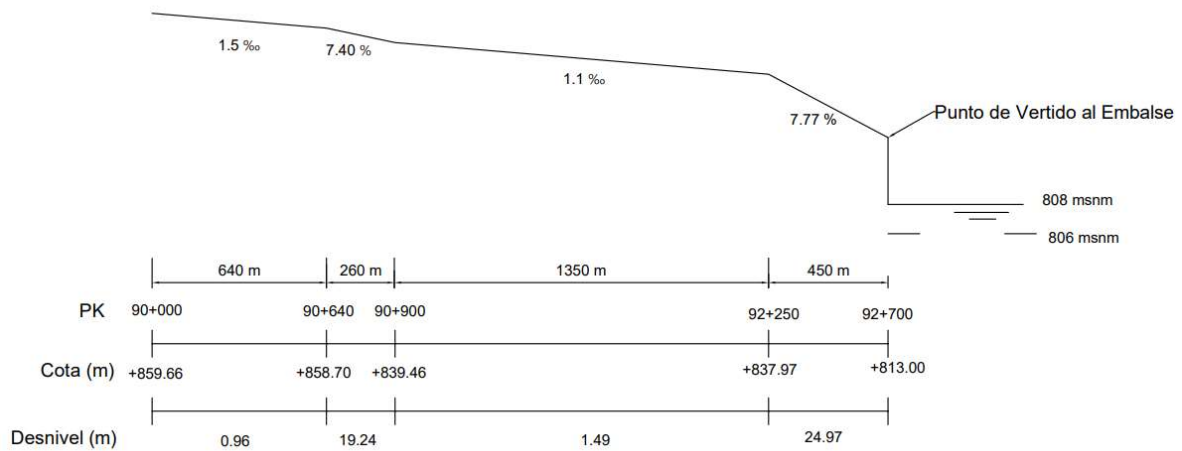


Ilustración 10. Perfil longitudinal topográfico

A lo largo del trazado analizado en el presente trabajo se encuentran algunos accidentes geográficos que condicionan el salto del canal y por tanto afectan al máximo aprovechamiento de salto que se podría tener. Más adelante se especificará el perfil longitudinal con el que se trabajará.

## Descripción geológica y geotécnica

Según el mapa MAGNA 50, para estimar de manera orientativa la síntesis geotécnica de la zona, se resume que la geología predominante en la zona aflora **areniscas y arcillas de tonos ocres y rojizos** de gran representación superficial en los entornos del Embalse de Alarcón y en el último km del trazado del canal **gravas, arenas y lutitas provenientes de fondo de valle** provenientes del barranco del Juncosillo.

El primer conjunto de materiales constituido por arcillas y arcillas yesíferas, intercaladas con niveles de areniscas, margas arcillosas y calizas, presentan una formación impermeable fundamentalmente cuyo drenaje se efectúa principalmente por escorrentía.

La ripabilidad de este suelo es media, presentando una capacidad de carga relativamente aceptable, por lo que son materiales que se pueden considerar adecuados

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

o tolerables para su utilización como material de relleno incluso. Sin embargo, puede presentar problemas de erosionabilidad.

Por otro lado, cerca de la rápida terminal se encuentran materiales que ocupan los fondos de los barrancos y las llanuras aluviales. Generalmente son gravas, arenas y arcillas.

Estos son materiales semipermeables donde su drenaje se realiza por escorrentía e infiltración. Normalmente el nivel freático se encuentra a escasa profundidad, por lo que puede producirse problemas de agotamiento e inestabilidad de las pareces en zanjas y sifonamientos. Es una zona inundable en época de lluvias y crecida del Embalse.

La ripabilidad de este suelo es sencilla presentando una capacidad de carga baja-media, ya que son depósitos poco consolidados, y pueden aparecer zonas con asientos diferenciales. En la zona donde se encuentra este material si deberá de acondicionarse y tener especial cuidado para cimentar sobre este suelo, aunque puede emplearse como rellenos con una compactación adecuada.

Próximo a la colina El Cornero cerca del PK 91+000 se encuentra una serie de resaltes correspondientes a calizas y margas. Sin embargo, debido a la naturaleza de estas tierras, presenta deficientes condiciones de afloramiento de material rocoso ya que su aprovechamiento principal corresponde al cultivo.

Estos dos tipos de suelos que se pueden encontrar comprenden prácticamente materiales terciarios y depósitos cuaternarios.

En cuanto a su límite entre los dos tipos de suelos, no suele encontrarse bien definido, estableciéndose generalmente en el punto en que se considera que comienzan a predominar las areniscas sobre las arcillas; este cambio litológico suele ir acompañado por una ligera variación en la coloración, pasándose de tonos rojizos (arcillas) a tonos anaranjados (areniscas).

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Su potencia es muy variable en función de la geometría de la cuenca El conjunto arcilloso rojizo en el que están englobados tanto por su color como por su mayor resistencia a la erosión, lo que hace que resalten ligeramente en el relieve.

Las areniscas y arcillas de tonos ocres y rojizos se observan facies de llanura de inundación, ya que alrededor del canal ATS se encuentran extensiones de cultivos, a una cota inferior a la del propio trazado del canal. Estos materiales corresponden a la forma canalizada de un abanico aluvial húmedo.

Los depósitos de terrazas del río Júcar son los de mayor importancia y representación. Los fondos de valle de la red fluvial menor, los conos de deyección, coluviones y glacis constituyen, junto con las terrazas la totalidad de gravas, arenas y fondos de valle.

## **Descripción Hidrogeológica**

La cuenca principal que recoge la mayor parte de la esorrentía superficial es el afluente Belbis. Esta posee una superficie de cuenca de unos 187 Km<sup>2</sup>, que abarca el Termino Municipal de Belmontejo. Acumulando unas aportaciones de en torno a 21.40 Hm<sup>3</sup>/año.

Por otro lado, los caudales de avenida considerados a partir de las precipitaciones máximas en el punto de confluencia entre el río Júcar y el Belvis es para un periodo de retorno de 100 años 389.36 m<sup>3</sup>/s.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---



*Ilustración 11. Zona húmeda en la confluencia entre río Júcar y Belvis*

El Júcar dadas sus dimensiones y el desarrollo que tiene en otros puntos hace que se disponga como fondo una llanura de inundación actualmente cubierta por las aguas del embalse. También se encuentran los depósitos del resto de los pequeños valles se generan en su mayor parte por la acción combinada de las aguas canalizadas y la actividad en la base de las laderas.

Sus depósitos no son homogéneos, pues al encontrarse arroyos como el Juncosillo, que es de mediano recorrido, su litología y textura dependen de los materiales que atraviesan; así, unos son fundamentalmente limo-arcillosos con cantos dispersos de calizas y otros aumentan su contenido en detríticos gruesos.

El canal del trasvase Tajo-Segura, es la obra de infraestructura más importante en toda la zona, situado casi paralelamente al río Belvis sin embargo sus aguas están condicionadas por el embalse de Alarcón al cual vierten.

El vaso del embalse de Alarcón que ocupa parte de la orilla donde se vierte el agua trasvasada se considerará como zona húmeda.

También será de importancia la consideración de riesgos de inundación toda el área situada entre Belmontejo y el canal Tajo-Segura. Sin embargo, tiene una asignación de riesgo < 40 y prioridad de corrección mínima.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

## **2.3 ESTADO ACTUAL**

Cabe mencionar en este apartado que se ha tenido la oportunidad de realizar una visita de campo en el canal donde ha sido posible recoger una serie de archivos fotográficos, con los que se va a poder visualizar el estado actual de la zona a plantear este estudio de soluciones.

Tomando como inicio la estación de aforo encontrada próxima al PK 90+000, el terreno es prácticamente llano con una pendiente suave rodeada de terrenos agrícolas y zonas boscosas con arboladas de pino rodeando todo el canal en ambas márgenes. La infraestructura está compuesta por el canal, algunos accesos (vías pecuarias y vía de servidumbre) que aprovechan algunos residentes de la zona próxima para pasear o realizar actividades deportivas (muchos de ellos son de acceso restringido para vehículos). Además, se observa un paisaje natural, formado por la arbolada de pinos y zonas en desmonte y terraplén por los que el canal discurre.



*Ilustración 12. Inicio del trazado del ATS en el PK 90+000*

Más adelante, siguiendo el curso del canal, cerca del PK 90+640 encontramos una estación de aforo y el cambio de sección del canal de un trazado trapezoidal a un canal Parshall (que no reduce capacidad) formando la llamada Rápida de Belmontejo. Punto donde comienza un desnivel considerable de unos 19.00 m de altura.



## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---



*Ilustración 13. PK 90+640 al inicio de la rápida Belmontejo*

La sección de la rápida es en cajón con una disminución de su sección permitiendo que el agua adquiera mayor velocidad en los 260 m de recorrido. Hasta llegado el PK 91+000 el canal mantiene esta sección, pero la pendiente se suaviza, dando comienzo al tramo del canal del Juncosillo. Este cambio de pendiente produce turbulencias cambiando la velocidad del agua.



*Ilustración 14. Rápida de Belmontejo en el PK 90+900*

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---



*Ilustración 15. Régimen transitorio de la rápida, dissipador de energía*

En el siguiente recorrido del Canal del Juncosillo la sección vuelve a ser trapezoidal tomando forma curva de radio no muy pronunciado para salvar a la geografía del entorno.



*Ilustración 16 Canal del Juncosillo, zona de tramo curvo*

Conforme avanza el canal es atravesado también por algunas pasarelas peatonales que se utilizan para efectuar labores de mantenimiento o incluso mediciones para conocer entre otras cosas el nivel del agua en el canal o el caudal y velocidad del agua trasvasada.



## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Cabe destacar que la infraestructura se encuentra bien señalizada y vallada, para que se tomen precauciones en cuanto a seguridad y evitar riesgos de peligro al público.

A mitad camino del canal del Juncolliso, se encuentra el barranco del mismo nombre, el cual atraviesa tanto el trasvase como la calzada de servidumbre que la acompaña en todo momento una pequeña obra de hormigón ejerciendo esta la función de canal que lleva las aguas del barranco de un lado al otro perfectamente canalizada como una obra de drenaje transversal.



*Ilustración 17. Arroyo del Juncosillo atravesando la vía de servicio y el canal ATS en el PK 91+000*

El resto del trazado es idéntico a la siguiente imagen salvo por el cambio de material arcilloso, este tramo entre las dos rápidas es relativamente recto con algunas curvas de manera que va adentrándose en dirección a la cola del embalse de Alarcón.

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---



*Ilustración 18. Sección más típica del canal Juncosillo antes de llegar a la rápida terminal*

Con la llegada del PK 92+300 da comienzo el final del tramo de trasvase objeto de este estudio inicia la rápida Terminal la cual tiene un descenso más grande que al anterior rápida de unos 25.00 m y una longitud de unos 500 m en línea recta y en bajada de las aguas.



*Ilustración 19. Rápida terminal. Al final se encuentra el embalse de Alarcón*

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Finalmente, en el PK 92+800 se observa una obra con escalones para disipar energía y permitir la desembocadura del agua del canal al embalse de Alarcón. Existen unas escaleras que dan acceso a la coronación del canal en el que además existen barandillas.



*Ilustración 10. Punto de vertido al embalse de Alarcón. en el PK 92+700*

Por tanto, se trata de un canal descubierto de hormigón cuya función original es transportar el agua hasta Alarcón, sin ningún tipo de suministro de agua en el tramo objeto de estudio, solo es un medio de transporte para las aportaciones que se encuentra dentro del dominio de la tercera Confederación, (la del Júcar), pero serán destinadas a la Confederación Hidrográfica del Segura.

La entrada de agua en el canal es regulada por el embalse de La Bujeda situado a 893,5 msnm, de aquí sale el canal con una capacidad de 33 m<sup>3</sup>/s, hasta llegar al embalse de Alarcón. A partir del PK 90+000 el canal transporta el agua con una pendiente media de 0,0092.

En dicha sección del ATS, se encuentran las rápidas, las cuales trabajan como disipadores de energía. Estas estructuras están diseñadas para generar pérdidas

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

hidráulicas en los flujos dado que se produce una alta velocidad en el agua. El objetivo es reducir la velocidad y pasar el flujo de régimen supercrítico a subcrítico.



## **2.4 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS**

### **2.4.1 Caudal medio diario**

Para conocer el caudal de diseño y poder equipar la turbina de la central hidroeléctrica, es necesario realizar una evaluación de los recursos hidráulicos, es decir hay que analizar los volúmenes de aportaciones que el canal ATS efectúa a lo largo de un periodo de tiempo, el cual debe ser lo más grande posible, de tal modo que permita obtener unos resultados más ajustados.

El caudal de diseño es una de las variables más importantes en el diseño para definir el equipamiento a instalar, con este caudal se busca que la energía producida sea la máxima posible en función de la hidrología. Por tanto, se debe analizar el régimen de caudales del canal ATS en la zona próxima a la toma de agua.

Se han estudiado los datos históricos de caudales de 10 años comprendidos desde el 1 de enero de 2008 hasta el 5 de junio de 2018 en el trasvase Acueducto Tajo-Segura con el fin de tener suficientes datos y poder abordar el problema mediante promedios. Dichos datos han sido facilitados por el órgano de cuenca, la Confederación Hidrográfica del Segura, además de la obtención de datos adicionales de estaciones de aforo de donde se han podido extraer a través de las Confederaciones Hidrográficas del Tajo y del Júcar.

A partir de estos datos se determinan los caudales máximos, medios y mínimos diarios correspondientes a los 10 años, con los que se elaboran series temporales agrupadas por años hidrológicos.

También para afianzar el resultado de caudales en el tramo final de 2800 m del canal ATS y poder diseñar el aprovechamiento.

Dada la ubicación del nuevo aprovechamiento, inicialmente se recopilarán las series hidrológicas (de 10 años) en la zona de implantación, en la cabeza de la rápida de

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Belmontejo se tiene una estación que proporciona los datos de caudales medios diarios, material que permitirá realizar el correspondiente estudio hidrológico.

Al disponerse de estos datos reales de caudales en el canal ATS, no será necesario definir un estudio hidrológico teórico con datos de precipitaciones de la zona o análisis de aforos existentes en cuencas semejantes ya que estas series ya tienen en consideración las aportaciones meteorológicas, climáticas y del entorno. Es decir, el volumen que se observa en las series es el volumen neto total de agua que se trasvasa y pasa en esta sección del canal ATS en cada momento.

A continuación, se muestra la serie temporal del caudal medio diario, el cual se encuentra incluida en el **ANEXO 1. Gráficos del estudio hidrológico:**

Puede observarse en los años comprendidos entre 2011 a 2014 es donde se han tenido mayores aportaciones al canal, mientras que el periodo comprendido entre 2017 y 2018 ha sido el más afectado por el déficit hídrico que se produjo en estos últimos años como consecuencia de los episodios de sequía. En cualquier caso, todos estos años presentan una tendencia similar ya que es una serie lo suficientemente grande como para realizar una distribución estadística que tipifique los años en función de la aportación registrada en el canal ATS.



*Ilustración 21. Serie temporal de caudal medio diario 2008-2018*

En el siguiente gráfico, se corresponde a una serie temporal de los caudales medios diarios, apreciando la variación de los caudales a lo largo de los años así mismo también para el propio año, la variación de los caudales diariamente.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Caudal medio diario (m<sup>3</sup>/s) vs Día

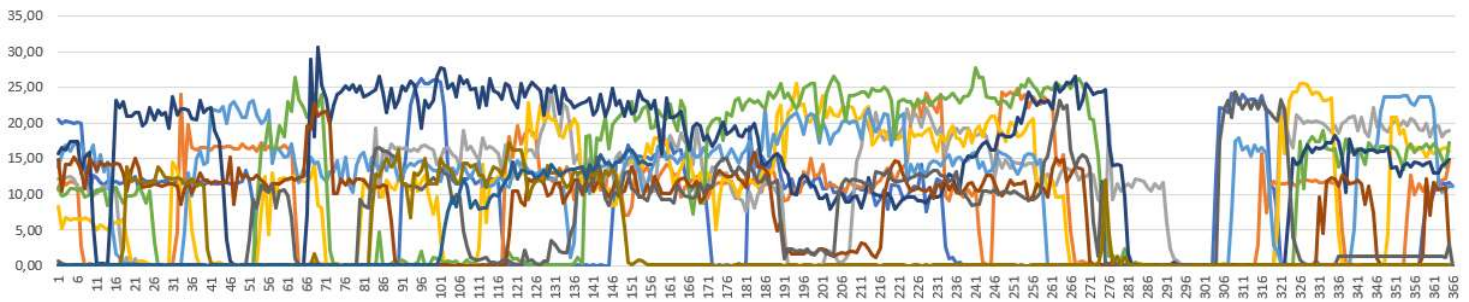


Ilustración 22. Serie temporal de caudales medios diarios en cada año 2008-2018

En esta distribución se observan varias tendencias. La primera de ellas es que encontramos un rango de caudales comprendido entre 10 y 20 m<sup>3</sup>/s de media diaria, rango por donde fluctúan los caudales en los 10 años analizados y además estas curvas en la mayoría de los casos presentan continuidad, salvo las excepciones producidas como el pico entre los días 66 y 71 del año 2014 (invierno), que llega a 25 m<sup>3</sup>/s.

Estos máximos y mínimos que se producen de la fluctuación compensan la media y la ubican entre dicho rango, prácticamente en todos los años.

También en esta distribución por lo general se observan mayores caudales en verano y en el periodo de primavera (entre el día 172 hasta el día 265) durante los años 2011 y 2013 y especialmente bajos en los meses de otoño de cada año (día 273 hasta el día 334).

En definitiva, los años que no siguen una tendencia uniforme son 2014 y 2015 ya que este último es el año que presenta aportaciones de caudal más bajos de todos. también se observa que, durante los últimos meses del año, las aportaciones en esos días son por lo general altas, en torno a 15 m<sup>3</sup>/s.

Es decir, se aprecia alguna diferencia entre los caudales trasvasados de invierno y de verano, sin embargo, es lo esperado, por lo que estas variaciones no son muy grandes.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## 2.4.2 Curva de caudales clasificados

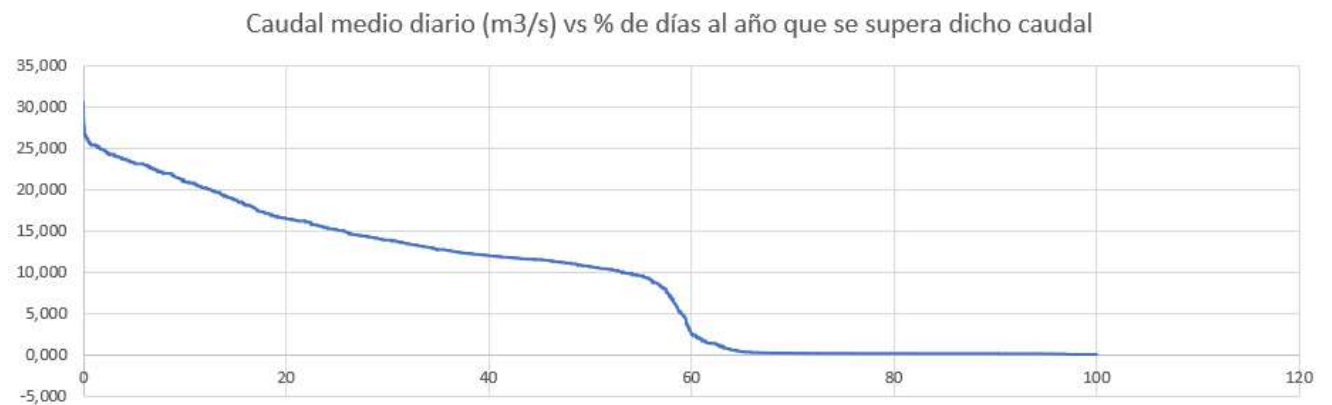
En la siguiente ilustración se puede ver cómo es la curva de caudales clasificados; ésta muestra los caudales ordenados de mayor a menor para cada año y el número de días al año en que se superan dichos caudales:



*Ilustración 23 Curva de caudales clasificados por año 2008-2018*

El caudal de diseño que se selecciona es el caudal con el que más tiempo deberá estar trabajando la turbina; en la siguiente gráfica se muestra con más detalle la información anterior ya que de modo que no se tienen en cuenta caudales inferiores a  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ , dado que son valores de caudal muy bajos y no será necesario analizar dichos valores.

Si traducimos estos caudales mediante una curva de caudales clasificados, ordenando por orden de magnitud en vez de por orden cronológico, esto resultará útil para poder conocer qué porcentaje de tiempo se alcanza o supera un valor determinado del caudal. Ordenando todos los caudales, se obtiene:



*Ilustración 24. Curva de caudal clasificado medio*

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Esta nueva curva de Caudales Clasificados permite determinar cómo varía el caudal del trasvase respecto del tiempo y generalmente expresa el número de días al año que supera un determinado caudal.

Puesto que disponemos de los caudales y estos estarán exclusivamente disponibles para el aprovechamiento, se completa la curva con los caudales de entrada.

## 2.4.3 Curva de caudales clasificados-Volúmenes útiles

En esta gráfica se analiza la curva del caudal equipado-volumen útil para cada año. En primer lugar, se han escogido un rango de caudales de diseño de entre 0 m<sup>3</sup>/s a 30 m<sup>3</sup>/s. A continuación, se calcula el volumen de agua que se turbinaría al año en Hm<sup>3</sup> y finalmente sería aplicar el mismo procedimiento para cada caudal equipado, y cada año, obteniéndose el siguiente resultado:

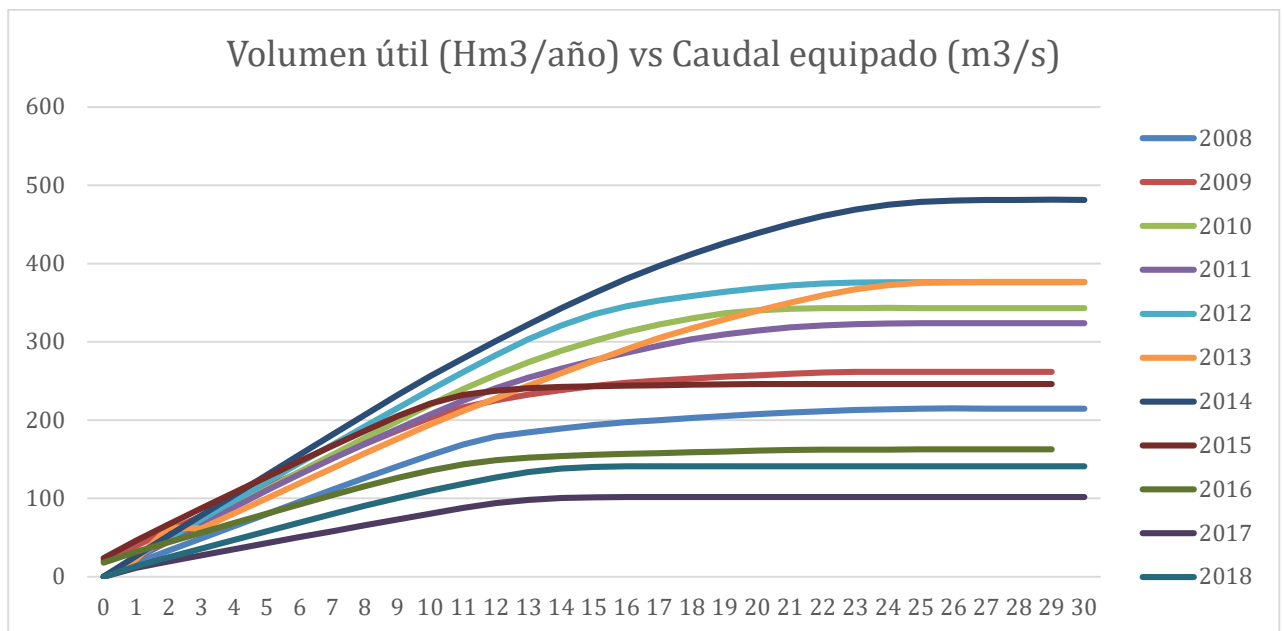


Ilustración 25. Curvas de caudal equipado-volumen útil en cada año 2008-2018

Estas curvas son la integral de las curvas de caudales clasificados y comienzan con cierta pendiente ascendente y terminan siendo prácticamente horizontales. El motivo por el que se hacen horizontales es que, a partir de un determinado caudal de equipamiento, el volumen de agua que se turbinaría al año se mantiene constante. Esto indica que el caudal que se instalará será aquel que optimice la relación coste-beneficio (el coste en función de las dimensiones de la instalación, y el beneficio en función de la producción).

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Dado que se trata de un canal de trasvase, no hay caudal ecológico o de servidumbre ya que no existe un mínimo para mantener un cauce natural, ni un caudal mínimo necesario para otros usos el cual deba derivarse el agua necesaria, por lo que no tiene un gran impacto a la hora de establecer el caudal de diseño.

### **2.4.4 Caudal de diseño**

La determinación del caudal de diseño es el producto de comparar el coste marginal del equipamiento con el beneficio marginal, es decir, comparar el incremento de coste correspondiente a un aumento del caudal equipado (en el caso de estudio 15 m<sup>3</sup>/s), con el valor de la energía que se consigue con ese incremento. El beneficio va en función de la producción y el coste va en función de las dimensiones de la instalación. A continuación, se muestra en una tabla con las producciones medias anuales para cada caudal equipado:

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Caudal Equipado (m <sup>3</sup> /s)	Volumen útil 2008-2018 (Hm <sup>3</sup> /año)	Aumento de la producción (Hm <sup>3</sup> /año)
10	187,607	
		17,313
11	203,646	
		16,039
12	217,681	
		14,035
13	229,251	
		11,569
14	239,272	
		10,021
15	247,861	
		8,59
16	255,337	
		7,476
17	261,702	
		6,364
18	267,176	
		5,475
19	272,067	
		4,89
20	276,337	
		4,271
21	279,916	
		3,579
22	282,835	
		2,918
23	285,046	
		2,212
24	286,494	
		1,448
25	287,277	
		0,783

*Tabla 2. Determinación del caudal de diseño con el aumento de producción en Hm<sup>3</sup>/año*

Como se puede observar en la anterior tabla, el aumento de la producción disminuye a medida que aumenta el caudal de equipamiento. Hasta un caudal de 12 m<sup>3</sup>/s, el beneficio crece linealmente hasta que tiende a hacerse constante.

Se podría encontrar una turbina de caudal nominal entre 15 y 20 m<sup>3</sup>/s que pueda cubrir todo el rango de caudales, desde 10 a 25 m<sup>3</sup>/s. Aunque se aumentara el

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

caudal de diseño progresivamente el aumento de la producción disminuye. Por lo que ese pequeño aumento de producción anual no compensa la inversión de la instalación.

### **2.4.5 Capacidad, pendiente y pérdida de altura del canal ATS desde el PK 90+000 hasta el punto de vertido**

Para poder modelizar la situación lo más real posible a la topografía existente se considerará que el factor más limitante es el nivel del embalse. Como se ha comentado, este es un nivel variable y resulta de especial interés definir a que cota de nivel se va a turbinar el agua en caso de querer aprovechar hasta los últimos metros antes de llegar al embalse.

La problemática se encuentra entre dos condicionantes. La primera es que el canal del trasvase no será posible modificar su trazado ni geometría bajo ningún caso, por lo que el planteamiento de una central hidroeléctrica deberá hacerse con obra nueva y fuera del canal, para no intervenir en este. La infraestructura del trasvase debe permanecer intacta y deberá seguir cumpliendo su función posteriormente a la instalación de la central hidroeléctrica. Esto genera que el análisis topográfico resulte más complejo de lo que parece y muy importante para el planteamiento de este estudio.

La segunda es que el embalse de Alarcón ofrece unos niveles máximos que nunca han llegado a alcanzarse, sin embargo, como se ha visto, a orillas del embalse se sabe que el terreno es inestable y hay riesgo de inundación. El edificio de turbinación puede quedar total o parcialmente inundado, con el posible riesgo de perder rentabilidad dado que la central sería inoperable y no podría producir energía.

Es por ello por lo que la solución alcanzada ha sido considerar que se trabaja a una cota superior al nivel máximo del embalse (808 m) para dar más seguridad frente a posibles elevaciones de la lámina de agua. Además, se ha podido observar con la visita de campo que la zona en dirección norte desde la desembocadura del canal de trasvase termina en sobreelevación de unos 5.00 m de altura, con lo que la cota del terreno en este punto es de 813 m.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

También se ha visto necesaria comprobar la capacidad del ATS en el tramo donde se va a implicar el aprovechamiento para ver si puede trasegar el caudal de diseño y, por consiguiente, si se puede derivar el agua desde un punto donde si habría que intervenir sobre el canal ATS para tomar el agua. Para ello se ha utilizado la fórmula de Manning calculando la capacidad del canal.

Como caudal de diseño se encuentra entre 10 y 25 m<sup>3</sup>/s, se concluye que el canal existente tiene suficiente capacidad como para transportar el agua que se quiere turbinar, pudiendo estar capacitado para trasvasar hasta 33 m<sup>3</sup>/s.

Para poder estimar la pendiente y la pérdida de altura se ha representado la altimetría teniendo en cuenta las rápidas y disipadores de energía; el canal tiene una pendiente media de -0.0386 m/m y la pérdida de altura es de 46.66 m (debido a las rápidas que consumen este desnivel). A continuación, se muestra la simplificación del perfil longitudinal de dicho canal.

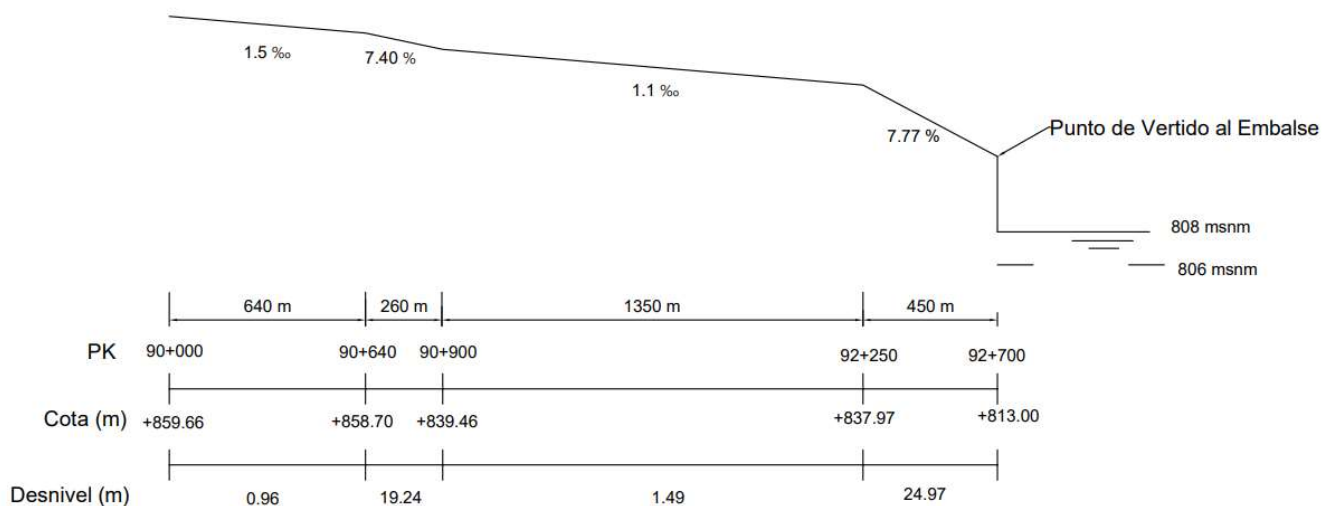


Ilustración 26. Perfil longitudinal topográfico, con los saltos y desniveles en el terreno

## **2.5 ESTUDIO DE SOLUCIONES**

En este apartado se pretende exponer las posibles alternativas o soluciones que se han considerado para la definición del aprovechamiento hidroeléctrico.

Es importante destacar que la solución final proviene de analizar una serie de factores, como son los económicos (incluye los costes de construcción, la producción, etc.), medio ambientales, limitaciones de operación, topografía y altura de salto. Aunque previamente a la consideración de estos factores, se tienen que tomar una serie de cuestiones previas que condicionan toda la instalación.

Al plantearse la construcción de una o varias centrales para aprovechar las rápidas existentes en el trasvase a partir del PK 90+000 se han estudiado las condiciones existentes en la zona de los 2700 m de tramo final hasta el punto de vertido en el embalse de Alarcón, dado que podría existir la posibilidad de construir una o varias centrales, una central que aproveche el salto producido en cada rápida del canal de manera independiente o incluso podría plantearse una solución complementaria, es decir, teniendo la cámara de carga en la primera rápida, se podría regular la central ubicada bajo la segunda rápida.

Conociéndose las dimensiones del canal Acueducto Tajo-Segura y las aportaciones del canal en apartados anteriores, se concluye que a priori no existe preferencia para la elección de la localización en lo que corresponde a la disponibilidad de recursos hidráulicos ya que se trabaja sobre el mismo canal y el punto de toma será un “punto fijo”. la ubicación de la toma debe ser aquella que sea lo más favorable posible para que la turbinación del agua.

Sin embargo, es importante conocer tanto las condiciones de entorno del canal como las condiciones topográficas del terreno dónde se implantaría el edificio de la central, la tubería forzada y la cámara de carga. En las zonas donde existen pequeñas distancias y elevadas pendientes se encontrará la conducción.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Asimismo, no existe una gran diferencia entre los dos emplazamientos donde se establecería el edificio de la central. Toda la zona está generalmente rodeada de árboles y los viales que pasan no son de importante tránsito, por lo que el impacto visual no será notable.

Las únicas dificultades que se podrían encontrar se sitúan en el PK 91+000 donde existe el arroyo del Juncosillo que atraviesa tanto el trasvase como los terrenos de la margen derecha y el cerro existente "El Cornero", ya que hasta el propio canal ATS realiza una ligera curvatura debido a un pequeño por lo que para establecer en este punto la tubería es posible la necesidad de realizar una pequeña excavación en zanja en esta zona o instalar una junta que permita darle la inclinación mediante codos si es que se decidiera colocar sobre el terreno.

## **2.5.1 Descripción de las alternativas**

Las opciones que se considerarán a continuación se basan en construir una serie de nuevas estructuras, y al mismo tiempo, intentar aprovechar en la medida de lo posible aquellas ya existentes, sin afectar en ningún caso el estado actual del trazado del canal ATS salvo para instalar una compuerta con reja para evitar el paso de sedimentos y una conexión lateral que permita acceder el agua directamente a la conducción o a través de una cámara de carga.

### ***2.5.1.1 Alternativa 1 – Aprovechamiento hidroeléctrico fluyente en la Rápida de Belmontejo***

Esta primera solución, consiste en la posibilidad de construir una central hidroeléctrica bajo el salto de la primera rápida entre +858.57y +839.46, es decir un salto de 19 m. En esta solución se plantea la toma en el PK 90+640, en la margen derecha ya que se tiene suficiente espacio y la topografía es más llana. Al comienzo de la rápida, directamente se colocará un pequeño depósito de hormigón que estará unida al canal ATS por medio de una conexión directa. La toma estará provista de una ataguía deslizante junto con una reja evite el paso de sedimentos. Esta ataguía siempre estará abierta salvo para realizar futuras inspecciones de la tubería.

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Este depósito no tendrá una capacidad significativa ya que solo servirá para que los regímenes transitorios que se produzcan no perturben el funcionamiento de la tubería forzada.

A continuación, partirá una senda conducción hasta entrar en la central (edificio de la central) edificio que albergará la turbina y los equipos y elementos electromecánicos situada en la cota +839.46 m en el PK 90+900, a 260 m debajo de la toma.

La instalación se completará con un desagüe, el cual incorpora las aguas derivadas nuevamente al canal del trasvase.



*Ilustración 27. Planteamiento en Planta de la Alternativa 1*

Dada su condición de funcionamiento como central fluyente, la operatividad de esta será constante durante todo el día (24 h), con una altura de salto bruto y caudal de equipamiento constante, diseñándose energéticamente para un caudal de 15,00 m<sup>3</sup>/s.

Encontrándose en paralelo al canal ATS por lo que la lámina de agua se encontrará a la misma cota que el trasvase.

El objetivo de esta alternativa es reducir la longitud de la tubería forzada, con ello las pérdidas de energía existentes y reducir la afección sobre el impacto visual, los campos de cultivo y caminos existentes realizando solamente una ocupación temporal de algunos de ellos.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## 2.5.1.2 Alternativa 2 – Aprovechamiento hidroeléctrico fluyente en la Rápida Terminal

En este caso se plantea una central hidroeléctrica aprovechando la segunda rápida. Esta alternativa presenta más longitud y mayor altura, sin embargo, su funcionamiento será fluyente. El salto esperado será mayor en comparación con la anterior solución por lo que la cantidad de energía producida será mayor también.

Se estudia la posibilidad de un trazado que reduzca las pérdidas de altura y aumente la altura de salto, independientemente de que lo más económico a nivel constructivo sea mantener el canal actual, no tiene sentido hacerlo ya que en un aprovechamiento lo más importante es aprovechar la máxima altura de salto disponible. Se dispone de un salto bruto de 24.97 m.

Por las condiciones de operatividad (trabaja las 24 h) el diseño del depósito será idéntico, con una capacidad mínima al comienzo de la rápida en el PK 92+250 que permita el almacenamiento del agua colocándose en la margen derecha del ATS ya que la otra margen es más abrupta en esta parte de la topografía.



Ilustración 28. Planteamiento en planta de la Alternativa 2

Para la construcción de la central habrá que acondicionar el terreno, pero no será necesario utilizar medios de entibación para su construcción dado que permite construirse en talud.

En este caso el desagüe de la central se realizará en el antiguo cauce del río Belvis, situado en el vaso del embalse de Alarcón, en la margen derecha del ATS.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## 2.5.1.3 Alternativa 3 – Aprovechamiento hidroeléctrico fluyente para el conjunto de las dos rápidas

En esta solución se plantea la posibilidad de instalar una única central que realice todo el aprovechamiento, desde el PK 90+640 hasta el punto de vertido PK 92+700.

Esta alternativa ofrece una solución más onerosa, ya que el volumen de obra es mayor dado que hay más longitud de tubería, pero al mismo tiempo al aprovechar prácticamente la máxima altura de salto los beneficios serían mayores. El salto bruto que se tiene en esta propuesta es de 46.66 m.



Ilustración 29. Planteamiento en planta de la Alternativa 3

Por las condiciones de operatividad también es necesario diseñar un depósito de capacidad mínima que permita el adecuado funcionamiento en la conducción y además se estudiará si es o no imprescindible contar con mayor espesor en la tubería ya que la distancia que deberá recorrer hasta llegar a la misma es de más de 2000 m.

Hay riesgo de poder producirse problemas de golpe de ariete y cavitación a pesar de que el agua circule por gravedad, puede entrar en carga y estos fenómenos son indeseables y hay que evitarlos a toda costa para no dañar la instalación.

A nivel constructivo este diseño es más económico ya que se construye un solo salto aprovechando la topografía y el canal tiene suficiente capacidad como para

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

trasegar el máximo caudal de diseño y además sería la más adecuada, puesto que el salto bruto es el máximo existente y la producción energética será elevada.

### **2.5.1.4 Alternativa 4 – Aprovechamiento hidroeléctrico de puntas para una central regulada**

Este planteamiento incorporaría una central de regulación bajo el depósito de cabecera (cámara de carga) en cada una de las anteriores alternativas (Alternativa 1, Alternativa 2 y Alternativa 3). En este tipo de solución la cámara de carga tiene mayor relevancia ya que su diseño debe ser tal que permita operar durante las horas donde mayor precio tiene el kW/h. Este está sujeto a tener una altura determinada para poder almacenar el volumen de agua necesaria para poder trabajar en horas punta.

La cámara de carga dispondrá de un aliviadero para que no rebose en caso de algún problema devolviendo el sobrante al canal ATS y partirá una senda tubería forzada hasta entrar en el edificio de la central, edificio que albergará la turbina y los equipos electromecánicos.

Para los casos de alternativa 1 y 3 como central regulada se ubicará la cámara de carga en la cota +858.57 m, en el PK 90+640. En el caso de la alternativa 2 se localizará en el PK 92+250 a una cota de 837.97 m.

Que la central trabaje en horas punta quiere decir que funciona cuando el precio de la electricidad en el mercado energético sea elevado. Esto suele producirse en algunas horas a lo largo del día, normalmente cuando la demanda de consumo es alta.

Como el agua que se permite introducir en una central hidroeléctrica está limitado a unas cuantas horas al día para poder turbinar debido a la adaptación de operatividad a la demanda, el caudal necesario será mayor y la central requerirá de una turbina de mayores prestaciones que en los anteriores casos.

La hipótesis que se va a adoptar para poder comparar la productividad de todas las soluciones que se proponen en la siguiente tabla es que una minicentral de unas



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

características usuales por lo que surge la necesidad de conocer la capacidad de anticipación para el rendimiento de las centrales. Y está estrechamente relacionado con el tiempo en el que el volumen de agua pasa por la central.

Central Regulada				
Qentrada (m3/s)	horas	Qdiseño (m3/s)	Volumen turbinado (m3)	Capacidad regulación (m3)
10	8	30	288.000	576.000
10	6	40	216.00	648.000
10	4	60	144.000	720.000
25	20	30	360.000	1.800.000
25	10	60	900.000	1.260.000

*Tabla 3. Resumen de las variantes de funcionamiento para la central regulada*

Esta alternativa 4 presenta mejoras debidas a la regulación y permite obtener beneficios dado el precio de la energía. Sin embargo, posee un mayor coste de inversión por la regulación y el tamaño de las máquinas y de las obras, siendo la más costosa el planteamiento para la Alternativa 3, con una central regulada en todo el tramo objeto de estudio.

## 2.5.2 Observaciones de las alternativas propuestas

En el caso de que sea necesario realizar tareas de mantenimiento no se verá afectado el trasvase Tajo-Segura ya que la toma se realiza lateralmente con un sistema de compuerta y reja (regulada) o ataguía y reja (fluyente).

Uno de los objetivos es reducir los movimientos de tierra en la medida de lo posible y acortar la conducción para no encarecer las obras por ello se plantean las soluciones en la margen derecha siendo este lado el más factible.

Los puntos de toma mantendrán la línea de cota del ATS, estos serán construidos a cielo abierto y de sección rectangular, que llegarán hasta la cámara de carga que se encontrará en el punto más próximo a la central donde se turbinará y aprovechará la máxima altimetría posible.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Cabe mencionar que debido a la existencia de caminos que cruzan el canal ATS y la cámara de carga que se dimensione, estos cruces deberán desviarse o demolerse y reponerlas elevando la cota de coronación del terreno respecto a las pendientes del canal ATS y el canal de derivación.

## 2.5.3 Punto de toma y sección de entrada

En todas las alternativas que se proponen, debe establecerse la manera de captar el caudal de agua a turbinar y derivarlo a la conducción del aprovechamiento, evitando la entrada de brozas y elementos que perturben la operatividad. Por ello las tomas incorporarán equipos mecánicos de seguridad y control

La ubicación de la toma de agua se sitúa en la parte externa de aquellos tramos del canal ATS en curva, ya que el flujo hidráulico es más regular, y no habría problemas de deposición de sedimentos los puntos de PK 90+640 y 92+250 son los más indicados.

Dado que debe captarse el mismo caudal de equipamiento independientemente del punto de toma, se realizará la misma sección propuesta. Los cálculos se encuentran los cálculos en el **ANEXO 2. Cálculos del estudio de soluciones**

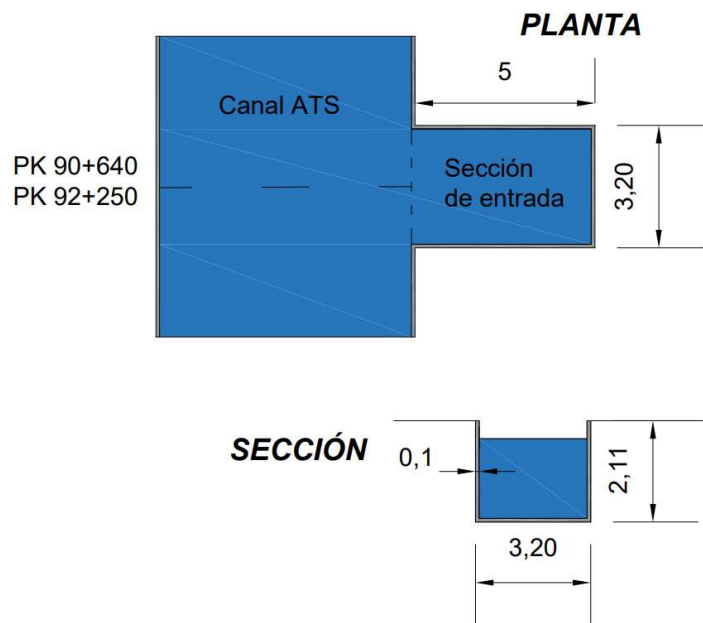


Ilustración 30. Sección de entrada a la cámara de carga y/o a la tubería forzada

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Se excavará en la orilla derecha una zanja que permita la construcción de una sección de ancho 3.20 m y 2.11 m de alto. Se deberá demoler el mismo ancho en el cajero derecho del canal ATS para permitir el paso del agua a este nuevo compartimento o depósito.

### **2.5.4 Régimen de explotación para la Alternativa 4**

Las posibles opciones que se estudian en cuanto al régimen de explotación son bien centrales de agua fluyente o reguladas.

Un aprovechamiento de agua fluyente no dispone de embalse regulador de grandes dimensiones ya que se encuentra siempre operando siempre que el caudal que circula por el canal sea superior al mínimo técnico de la turbina instalada, si no dejará de funcionar cuando descienda.

Por otro lado, en una central de regulación la existencia de un depósito que permita una dar una capacidad de regulación permite independizar la producción de energía con el caudal que se transporta por el canal. Esto se debe a que con una cámara de carga bien dimensionada se puede planear la generación de energía para garantizar que se cubra la demanda o para generar en aquellas horas en las que el precio de la energía es más elevado.

Por ejemplo, si la central es totalmente fluyente se producirá durante las 24 horas del día con el caudal que lleve el trasvase y vendiéndose la energía al precio del mercado horario. Si por el contrario se quisiera vender a un determinado precio, la producción debe de realizarse en dichas horas y la única manera de conseguir esto es mediante una cámara de carga de capacidad suficiente para la regulación necesaria.

Tras haber realizado una serie de comprobaciones **ANEXO 3. Aprovechamiento hidroeléctrico regulado**, se concluye que el aprovechamiento hidráulico que presenta más ventajas dentro de las posibles soluciones es la central regulada operando 8h al día, con una altura de la cámara de carga de 5.54 m para la Alternativa 3.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

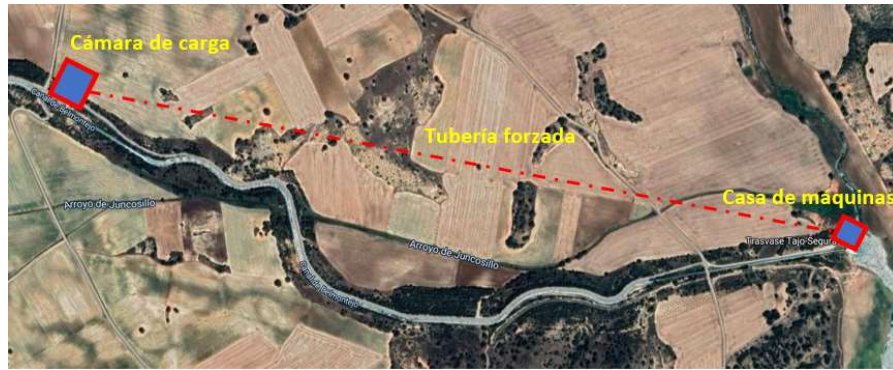


Ilustración 31. Esquema de la Alternativa 3 con central regulada para 8 h punta

En resumen, el beneficio económico obtenido al trabajar las 8h punta con un caudal de entrada de 10 m<sup>3</sup>/s y un caudal de equipamiento para las turbinas de 30 m<sup>3</sup>/s si puede compensar el incremento de la inversión debido a la instalación de una pequeña cerrada formada por materiales de la propia excavación que elevarían hasta la una altura de 5.54 m, con la ejecución de la apertura del canal trasvase para permitir el llenado de la cámara de carga y el desvío de los viales afectados.

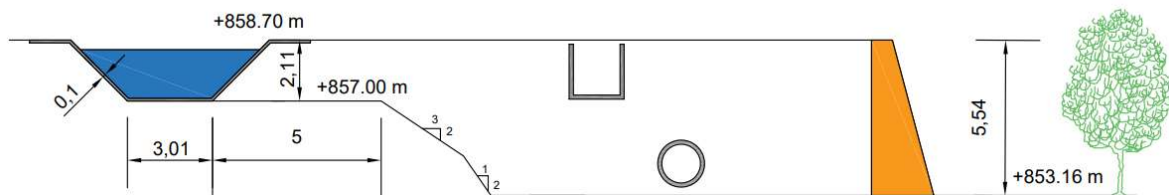


Ilustración 32. Sección de la cámara de carga para la Alternativa 4

El motivo de esta opción es la mejora en el precio de venta de la energía compensa y supera el sobrecoste de la obra. El escenario energético actual demanda centrales reguladas, que puedan mejorar la capacidad de regulación del sistema eléctrico para compensar el incremento esperado en la producción de energías eólica y solar (no reguladas).

## 2.5.5 Tubería forzada

Esta es la parte de la instalación que se utilizará para transportar el agua desde la cámara de carga al edificio de la central.

### 2.5.5.1 Emplazamiento y longitud de la tubería

La tubería permite la unión de la cámara de carga con la turbina y esta debe adaptarse a la orografía existente. Su ubicación depende en parte de las dimensiones de

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

la cámara de carga y el edificio de la central, las cuales deberán estar ubicadas de tal manera que se reduzca en la medida de lo posible la longitud de la tubería, maximizando la altura de salto. Ésta puede instalarse tanto por encima como por debajo del terreno. En este caso se propone que, en los casos de central fluyente el trazado vaya enterrado en trinchera, pero en los casos de central regulada sobre la superficie del terreno. Las tuberías de acero suelen ir por encima del terreno con pintura anticorrosiva.



*Ilustración 33. Planta del canal ATS identificando los PK de las rápidas*

**ALTERANTIVA 1. Central fluyente en la Primera Rápida:** La tubería irá enterrada en trinchera 1 m por debajo de la cota del terreno, aprovechando la rápida de Belmontejo de 260 m de longitud con una pendiente del 7.40 %, descendiendo desde la cota +858.70 hasta la 839.45 m. En este caso el trazado de la tubería será el mismo que el del vial existente en la margen derecha. El proceso constructivo de la toma de agua se efectuará retirando el cajero lateral del trasvase del canal ATS en el PK 90+640 y construyendo un pequeño depósito que acople la tubería.

**ALTERANTIVA 2. Central fluyente en la Segunda Rápida:** De la misma manera que la anterior alternativa, colocando la tubería en paralelo al trasvase, aprovechando el ancho del vial existente, el cual se deberá demoler, para colocar la tubería 1 m debajo de la cota del terreno, desde el punto de la toma, en el PK 92+250, donde inicia la rápida terminal del ATS, para llegar hasta los 450 m aguas abajo a una pendiente del 7.77 %.

**ALTERANTIVA 3. Central fluyente entre la Primera y Segunda Rápida:** En este planteamiento se pretende utilizar la longitud total de 2700 m desde el PK 90+640, a la

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

cota +858.70 m hasta llegar al punto de vertido con una cota de +813 m. En este caso se aprovechará el mismo punto de toma de agua que la Alternativa 1, y se llevará hasta la ubicación de la central en la Alternativa 2. La obra lineal es más grande que las anteriores soluciones descritas, sin embargo, presenta un salto bruto de 46.66 m. El trazado de la tubería será lineal desde la toma hasta el punto de vertido del canal y no será enterrada, ya que los costes de movimiento de tierras serían considerables.

**ALTERNATIVA 4. Central Regulada en cada alternativa anterior:** Se considera esta alternativa como un planteamiento diferente el cual se basa en la operatividad del aprovechamiento. Se trata de la instalación de una central regulada en cada una de las anteriores alternativas (1, 2 y 3) para turbinar durante 20 h, 10 h, 8 h, 6, h y 4 h el caudal de equipamiento correspondiente. El procedimiento constructivo para este caso es el mismo dado que el emplazamiento de la tubería es la misma, sin embargo, se instalará para la Alternativa 3 la conducción sobre la superficie del terreno.

De esta manera en el caso de adoptar como solución viable una central ya sea fluyente o regulada para aprovechar solo el salto que existe en cada una de las rápidas, la tubería es mejor que vaya enterrada, puesto que permitiría que el terreno pueda ser repuesto a su estado inicial, así se reduce el impacto ambiental sin provocar barreras algunas para el desplazamiento de la fauna. A su vez habría menos riesgo de variaciones de temperatura en la conducción ya que el suelo tiene efecto aislante y se reducirá la contracción y/o dilatación.

La longitud de la conducción en cada alternativa propuesta es de 260 m (alternativa 1), 450 m (alternativa 2) y 2700 m (alternativa 3).

## **2.5.5.2 Pérdida de carga y diámetro**

- **Pérdida de carga**

Si se lleva por la conducción un flujo (agua) se producen unos esfuerzos de corte en las cavidades del tubo, cuyo origen es la viscosidad del flujo por lo que existe un rozamiento que se traduce en pérdidas de energía continuas a lo largo de la tubería o localizadas, provocadas por estrechamientos, válvulas, codos etc

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Si las pérdidas totales son  $\Delta H$  son en la tubería forzada, se compone de:

$$\Delta H = h_{fricción} + h_{localizadas}$$

Todo el cálculo detallado de las pérdidas de carga producidas en la tubería se tiene en el **ANEXO 2. Cálculos para el estudio de soluciones**. Sin embargo, dado que las pérdidas dependen previamente del diámetro seleccionado, al final del siguiente apartado se adjuntan las pérdidas por fricción y las localizadas para el caudal de equipamiento.

- **Diámetro**

La selección del diámetro viene por comparativa entre el coste y las pérdidas de carga. Si se hace pasar un caudal a una tubería de pequeño diámetro se necesitará que el agua circule a mayor velocidad que otra tubería de mayor diámetro sin embargo las pérdidas serán mayores.

Es decir, con un diámetro menor se reduciría el coste, pero las pérdidas de energía aumentarán y viceversa. Como se trata de una tubería forzada para un aprovechamiento hidroeléctrico, el aumento de diámetro en la tubería implica que las pérdidas de carga disminuyan y por lo tanto aumenta la producción energética, es decir, los beneficios. Los costes dependerán de la longitud del tubo, el espesor, el tipo de material y del diámetro. Desde un punto de vista técnico, si se dimensiona para un caudal de equipamiento, el diámetro es variable. A priori, la siguiente curva proporciona mínimamente el diámetro, sin considerar las pérdidas de carga.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

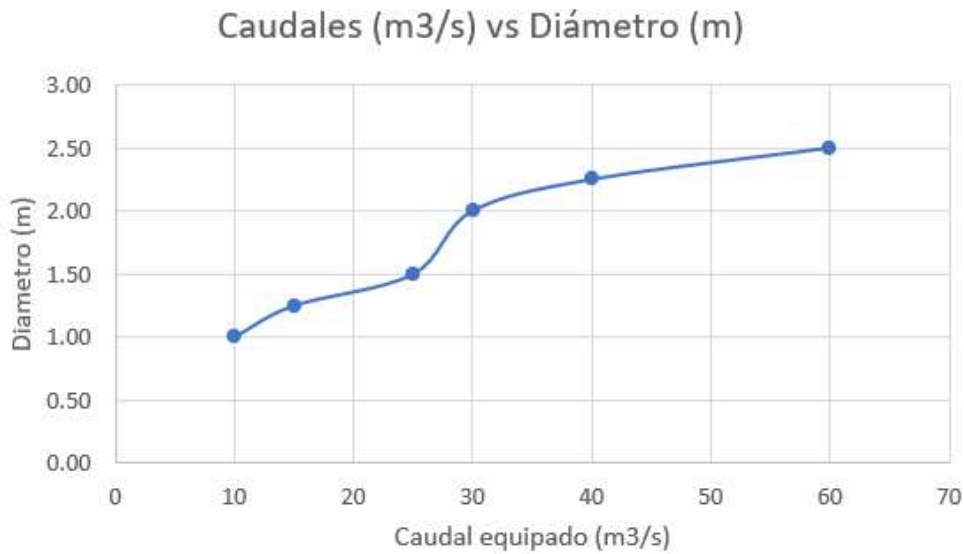


Ilustración 34. Curva de predimensionamiento de diámetros (m) con caudal equipado (m³/s)

Los procedimientos seguidos para la determinación del diámetro de la tubería se recogen en el **ANEXO 2. Cálculos para el estudio de soluciones**. Básicamente se han limitado las pérdidas de fricción a un determinado a un 5% del salto bruto.

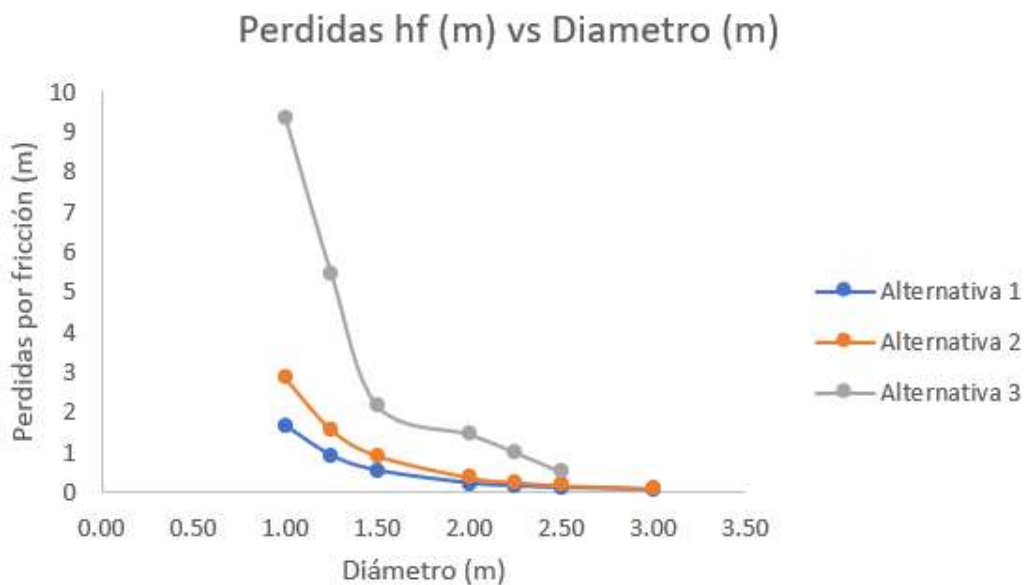


Ilustración 35. Curva de diámetros con pérdidas por fricción (m)

El material con el que se ha tomado la justificación del diámetro es acero, para poder respaldar el criterio de elección del diámetro.

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

		Q (m3/s)	Diam. (m)	v (m/s)	L (m)	Sb (m)	hf (m)	hloc (m)	ΔH (m)	%	Sn (m)
FLUYENTE	A1	15	2,25	3,773	260	19,24	0,89942	0,7109	1,61	4,67	17,63
	A2	15	2,5	3,056	450	24,97	0,90893	0,4664	1,38	3,64	23,59
	A3	15	3	2,122	2700	46,66	2,15863	0,2847	2,44	4,63	44,22
REGULADA	A1	30	3	4,244	260	19,24	0,80840	0,8997	1,71	4,20	17,53
	A2	30	3,25	3,616	450	24,97	0,93029	0,4664	1,40	3,73	23,57
	A3	30	4	2,387	2700	46,66	1,93984	0,2847	2,22	4,16	44,44
	A1	40	3,25	4,822	260	19,24	0,94664	1,1613	2,11	4,92	17,13
	A2	40	3,5	4,158	450	24,97	1,12176	0,8634	1,99	4,49	22,98
	A3	40	4,5	2,515	2700	46,66	1,87173	0,3159	2,19	4,01	44,47
	A1	60	4	4,775	260	19,24	0,72828	1,1387	1,87	3,79	17,37
	A2	60	4,25	4,229	450	24,97	0,92472	0,8935	1,82	3,70	23,15
	A3	60	5,25	2,772	2700	46,66	1,89118	0,3837	2,27	4,05	44,39

*Tabla 4. Resultados de cada posibilidad con diámetros, pérdidas totales y salto neto (m)*

### 2.5.5.3 Espesor de la tubería

El criterio para deducir el grosor de la tubería es aquel que resistirá la máxima presión hidráulica interna, esto significa el fenómeno llamado como golpe de ariete, el cual se produce cuando hay un cambio brusco de régimen en la tubería por el cierre de una válvula, la fuerza generada por el cambio de velocidad de la masa del agua puede producir un incremento de presión en el tubo. A esta onda de presión se le conoce como golpe de ariete y puede ocasionar tanto la rotura por sobrepresión como el aplastamiento por vacío.

El espesor irá en función de las variables de presión interna, carga de rotura, límite elástico del material y del diámetro. En una tubería de acero soldado se calcula con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{P_i}{2 * \sigma_f * K_f} + e_s$$

- $e_s$ : Es un sobreespesor de 1 mm (o 2 mm en los codos) para considerar aquellos efectos de corrosión.
- $P_i$ : Presión a la que está sometida la tubería.
- $K_f$ : Es un factor de eficiencia de la soldadura.  $K_f = 1$
- $\sigma_f$ : resistencia a la tracción.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

La presión máxima será de manera esquemática:

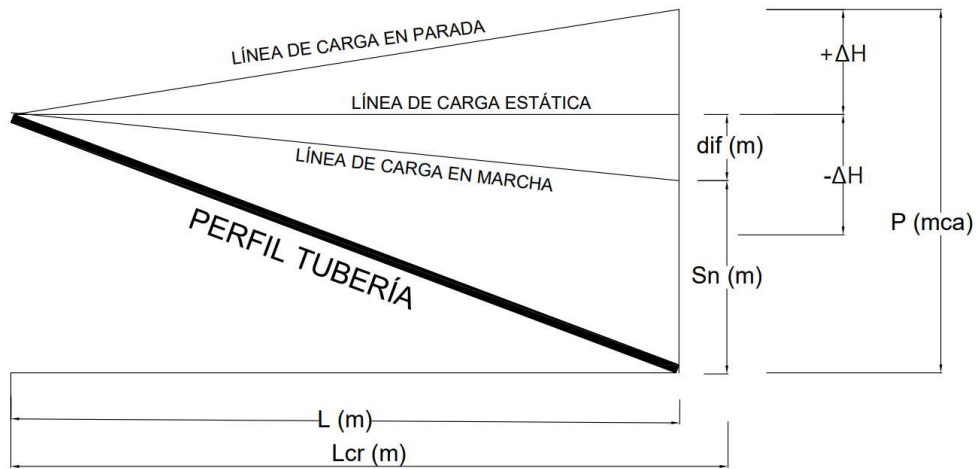


Ilustración 36. Esquema de la tubería forzada con la presión en mca

Por lo tanto, los resultados finales se recopilan en la siguiente tabla resumen:

	L (m)	D (m)	Qeq (m3s)	V (m/s)	Sn (m)	c (m/s)	tp (s)	tc (s)			$\Delta H$	P (mca)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	e (mm)
A1	260	2,25	15	3,773	17,63	664,91	12,34	0,78	tp>tc	Lento	16,20	33,83	3,45	3,24
A2	450	2,5	15	3,056	23,59	637,54	12,88	1,41	tp>tc	Lento	21,76	45,36	4,62	4,34
A3	2700	3	15	2,122	44,22	591,61	14,21	9,13	tp>tc	Lento	82,21	126,43	12,89	12,17
A1	260	3,00	30	4,244	17,53	591,61	13,83	0,88	tp>tc	Lento	16,26	33,80	3,45	3,99
A2	450	3,25	30	3,616	23,57	572,08	15,07	1,57	tp>tc	Lento	22,01	45,58	4,65	5,36
A3	2700	4,00	30	2,387	44,44	523,37	15,79	10,32	tp>tc	Lento	83,24	127,68	13,01	16,05
A1	260	3,25	40	4,822	17,13	572,08	15,92	0,91	tp>tc	Lento	16,06	33,19	3,38	4,18
A2	450	3,50	40	4,158	22,98	554,36	17,59	1,62	tp>tc	Lento	21,68	44,66	4,55	5,61
A3	2700	4,50	40	2,515	44,47	497,05	16,57	10,86	tp>tc	Lento	83,58	128,05	13,05	17,98
A1	260	4,00	60	4,775	17,37	523,37	15,57	0,99	tp>tc	Lento	16,26	33,63	3,43	4,96
A2	450	4,25	60	4,229	23,15	509,70	17,76	1,77	tp>tc	Lento	21,85	45,00	4,59	6,63
A3	2700	5,25	60	2,772	44,39	464,10	18,19	11,64	tp>tc	Lento	83,89	128,27	13,08	20,84

Tabla 5. Tabla con los resultados finales de la tubería forzada

Por lo tanto, la tubería será de acero soldado, con un espesor de pared mínimo de 6 mm y máximo de 12 mm.

## 2.5.6 Cámara de carga

### 2.5.6.1 Ubicación

Central fluyente:



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Se dispondrán en la Alternativa 1 a 5 m del PK 90+000 en la margen derecha del canal ATS, en la Alternativa 2 a 5 m del PK 92+100 y en la Alternativa 3 a 5 m del PK 90+000.

## Central Regulada:

Será muy importante el dimensionamiento y diseño de la cámara de carga necesaria para almacenar el agua.

La alternativa 1 y 3 se plantea con la misma ubicación de la cámara de carga, próximo a la rápida de Belmontejo, en la margen derecha del trasvase entre la rápida y el vial existente. En esta zona se encuentra una llanura bastante amplia manteniendo prácticamente la misma cota que la del canal, a unos +858.70 m, mientras que en la alternativa 2 se encuentra antes de la rápida terminal disponiendo de una superficie menor dado que cerca se encuentra el arroyo del Juncosillo el cual no se va a interferir la construcción en este cauce.

En esta zona la cota también se encuentra a la misma que el canal ATS, con +837.97 m. si se prolonga unos metros en perpendicular a la toma de agua, en la margen derecha se aprecian unas llanuras que permiten crear una cerrada no muy grande, pero con una pequeña elevación permitiría almacenar un volumen considerable de agua, formando como una balsa, funcionando de manera similar a una pequeña presa que permita captar y regular el agua entrante directamente del canal ATS en ese punto de toma, aprovechando los mismos materiales de la futura excavación para la colocación de la tubería y del sobrante del movimiento de tierras con el que se realizará el vaso de la cámara de carga, buscando un balance entre desmonte y relleno de valor nulo.

### **2.5.6.2 Volumen de almacenamiento**

Conectándose la cámara de carga directamente en el canal ATS, la capacidad de este deberá ser al menos el mínimo para que la tubería no sea perturbada con regímenes transitorios que podrían afectar a la turbina o la tubería. Por lo que si la solución se trata de una central fluyente, no se requiere de ninguna capacidad de regulación. No es necesario dimensionar una cámara de carga, solo sería posible un depósito con unas dimensiones pequeñas que permita tomar el agua del trasvase.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Solamente es importante proporcionar el volumen de agua que sería capaz de turbinar considerando que pasan 15 m<sup>3</sup>/s durante 24h:

$$\text{Volumen (24h)} = 15 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} * 24\text{h} = 1.296.000 \text{ m}^3$$

Por otro lado, si se trata de una central regulada, el planteamiento de esta estructura es totalmente diferente. En este caso la cámara de carga se dimensiona para una capacidad de regulación que es menester tener.

Central Regulada				
Qentrada (m <sup>3</sup> /s)	horas	Qdiseño (m <sup>3</sup> /s)	Volumen turbinado (m <sup>3</sup> )	Capacidad regulación (m <sup>3</sup> )
10	8	30	288.000	576.000
10	6	40	216.00	648.000
10	4	60	144.000	720.000
25	20	30	360.000	1.800.000
25	10	60	900.000	1.260.000

*Tabla 6. Casos para el análisis de la central regulada*

En respuesta a la necesidad de tener un depósito que permita acumular durante el tiempo de llenado estimado (entre 8, 6 y 4 h y entre 10 y 20 h) el caudal equipado, se considera conveniente aumentar la capacidad de la cámara de carga con la finalidad de modular la turbinación incrementada durante las puntas diarias de la demanda.

Sin embargo, considerar el caso de que entre desde el ATS 25 m<sup>3</sup>/s en 20 h y 10 h son un planteamiento que se descarta, no existe un balance adecuado entre la capacidad y el volumen de agua necesaria para turbinar.

### 2.5.6.3 Dimensionamiento

La central fluyente tendrá el siguiente depósito que permite un llenado en 1 h con 15 m<sup>3</sup>/s (54.000 m<sup>3</sup>).

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

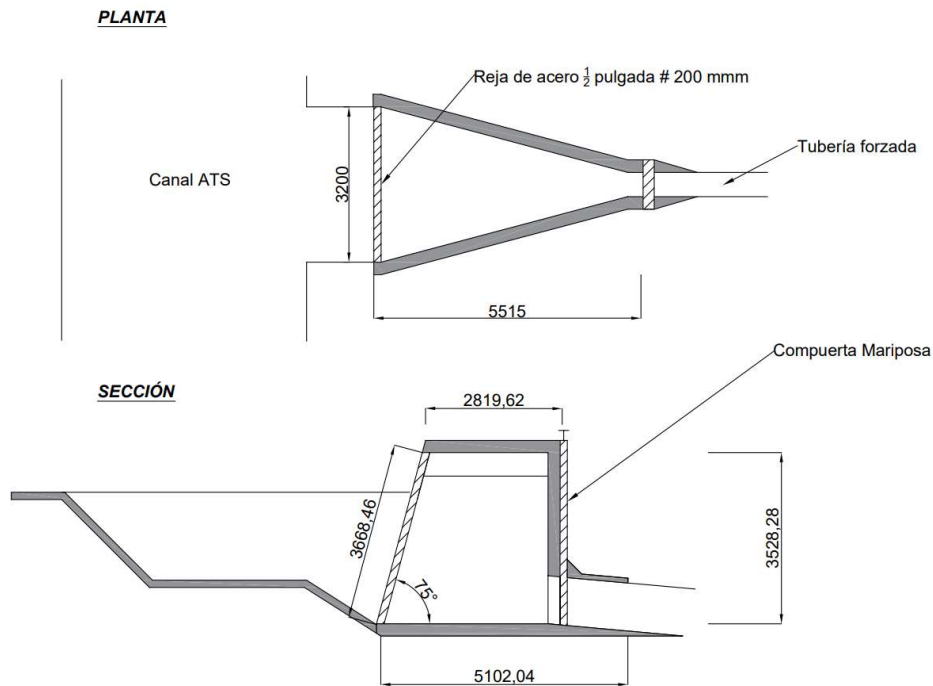


Ilustración 37. Sección en planta y alzado del depósito de capacidad mínima en el caso de central fluyente

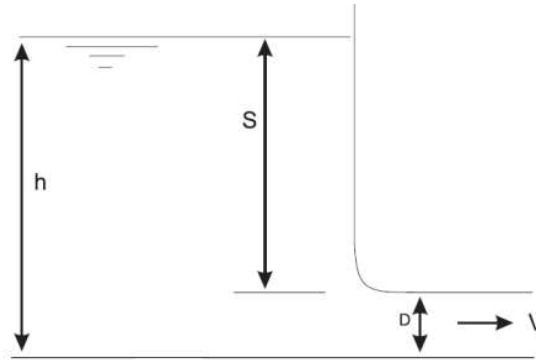
Por otro lado, se han tenido en cuenta los siguientes criterios para el dimensionamiento de la cámara de carga en la central regulada son los siguientes:

- volúmenes de almacenamiento necesarios calculados previamente
- En la cara inferior de la tubería se dejarán 30 cm hasta la losa inferior de la cámara de carga, para evitar la entrada de posibles sedimentos y que sirva de desarenador.
- Para evitar la formación de vórtices y cavitación la inmersión de la tubería será un valor por encima de 0.7 veces el diámetro.

Por lo tanto, la profundidad del agua en la cámara de carga será como mínimo:

$$h = 0.3 + (0.7 * D) + D$$

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

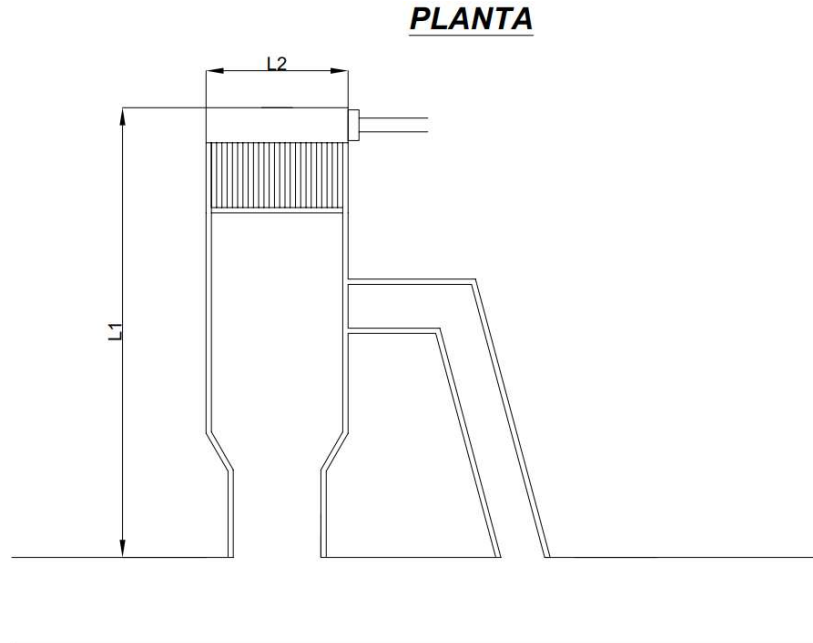


*Ilustración 38. Dimensiones mínimas de la cámara de carga*

Los resultados obtenidos en el **Anexo 2. Cálculos para el estudio de soluciones** y **Anexo 3. Aprovechamiento hidroeléctrico regulado** se recogen a continuación:

Q entrada (m <sup>3</sup> /s)	operatividad (h)	Q turbinar (m <sup>3</sup> /s)	Volumen para turbinar(m <sup>3</sup> )		Diámetro (m)	S (m)	h (m)	Capacidad regulación (m <sup>3</sup> )	V entr (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	L1 (m)	L2 (m)
15	24	15	1296000	A1	2,25	1,58	4,13	0,00	2,03			
				A2	2,50	1,75	4,55	0,00	2,03			
				A3	3,00	2,10	5,40	0,00	2,03			
10	8	30	288000	A1	3,00	2,10	5,40	576000	1,85	106667	384,0	277,8
				A2	3,25	2,28	5,83	576000	1,85	98884	384,0	257,5
				A3	4,00	2,80	7,10	576000	1,85	81127	384,0	211,3
25	20		1800000	A1	3,00	2,10	5,40	360000	2,24	66667	240,0	277,8
				A2	3,25	2,28	5,83	360000	2,24	61803	240,0	257,5
				A3	4,00	2,80	7,10	360000	2,24	50704	240,0	211,3
10	6	40	216000	A1	3,25	2,28	5,83	648000	1,85	111245	432,0	257,5
				A2	3,50	2,45	6,25	648000	1,85	103680	432,0	240,0
				A3	4,50	3,15	7,95	648000	1,85	81509	432,0	188,7
10	4	60	144000	A1	4,00	2,80	7,10	720000	2,24	101408	480,0	211,3
				A2	4,25	2,98	7,53	720000	2,24	95681	480,0	199,3
				A3	5,25	3,68	9,23	720000	2,24	78049	480,0	162,6
25	10		900000	A1	4,00	2,80	7,10	1260000	1,85	177465	840,0	211,3
				A2	4,25	2,98	7,53	1260000	1,85	167442	840,0	199,3
				A3	5,25	3,68	9,23	1260000	1,85	136585	840,0	162,6

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.



*Ilustración 39. Diseño en planta de la cámara de carga*

## **2.5.7 Aliviadero**

Se emplearán estos elementos de vertido de sobrante para poder devolver el exceso del caudal derivado y evitar que el nivel del agua en el depósito o cámara de carga no supere una cota máxima. Este elemento de seguridad sobre todo cuando la central sea regulada y estará ubicado desde la misma cámara de carga constituyendo un canal que devuelva el exceso de agua hasta el canal ATS. El punto más cercano al trasvase desde la cámara de carga dista como mínimo de 150 m.

De esta manera se aprovechará el sobrante y se convierta así en un elemento de seguridad de la central hidroeléctrica frente a inundaciones por rebose.

## **2.5.8 Edificio de la central**

### **2.5.8.1 Ubicación**

El edificio de la central será allí donde se permita conseguir la mayor altura de salto reduciendo, en la medida de lo posible, la longitud de la tubería en presión. Además, en estas instalaciones se ubican las máquinas de gran volumen y peso, por lo que hay que garantizar que no se produzcan asientos importantes. Por ello las características geológicas del terreno deberán ser las idóneas.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

En las Alternativa 2 y 3 la central se encontrará en las inmediaciones del embalse en el PK 92+700, por lo que se propone acondicionar el terreno con “Jet grouting” o inyección de lechada formada por cemento y el propio suelo existente. La parcela tendrá 20.50 m de longitud por 16 m de anchura, situándose abajo del actual desagüe del canal del trasvase en el propio embalse de Alarcón. Se situará en la cota 813 msnm, fuera del nivel de inundación del embalse.

Si se quisiera conseguir una mayor altura de salto habría que alejarse una gran distancia canal abajo para tan sólo conseguir 1 metro más de altura de salto, lo cual requeriría una inversión demasiado elevada frente al incremento de beneficio que conllevaría.

La central de la Alternativa 1 se ubicará en la orilla derecha del canal en el PK 90+900, en este punto el suelo presenta unas características adecuadas, sin necesidad de acondicionar el terreno. La parcela tendrá unas dimensiones de 20 m de longitud por 13 m de anchura.

## **2.5.8.2 Estructura**

Con la ubicación del edificio escogida sobre terreno, sin ninguna estructura existente. Aprovechar el espacio actual requiere una revisión estructural cuidadosa.

Como solución propuesta se confeccionará estas estructuras mediante estructuras portantes (pilares, forjados y cubierta), así como fachadas y elementos exteriores como barandillas y rampa de acceso.

Esta solución queda sujeta a un estudio de edificación que asegure la estabilidad y el diseño.

## **2.5.9 Salto neto**

Llegados a este punto, lo más razonable para construir y satisfacer las necesidades de aprovechamiento serán por un lado una central fluyente o bien una central regulada funcionando 8 h al día.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Por tanto, el rango de caudales con el que estará trabajando la turbina es  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  la mayor parte de las horas de año o bien la central regulada con  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  en 8 h al día.

A continuación, se adjuntan los resultados finales:

		Q (m <sup>3</sup> /s)	Diam. (m)	v (m/s)	L (m)	Sb (m)	hf (m)	hloc (m)	ΔH (m)	Sn (n)
FLUYENTE	A1	15	2,25	3,773	260	19,24	0,89942	0,7109	1,61	17,63
	A2	15	2,5	3,056	450	24,97	0,90893	0,4664	1,38	23,59
	A3	15	3	2,122	2700	46,66	2,15863	0,2847	2,44	44,22
REGULADA	A1	30	3	4,244	260	19,24	0,80840	0,8997	1,71	17,53
	A2	30	3,25	3,616	450	24,97	0,93029	0,4664	1,40	23,57
	A3	30	4	2,387	2700	46,66	1,93984	0,2847	2,22	44,44

*Tabla 7. Resultados de salto neto en los casos más relevantes en el estudio de soluciones*

## 2.5.10 Capacidad de potencia

En este apartado se analizará la potencia que pueden llegar a tener las centrales bajo las condiciones de central fluyente o central regulada de 8 h. La altura de los saltos que se van a suponer los netos y con un factor de eficiencia de central teórica ( $\eta$ ) entorno al 80%.

Este factor de eficiencia es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción de energía. En función del tipo de equipo y fabricante, el rendimiento de la maquinaria varía, por lo que se adopta 0,80 este factor a efectos de una primera aproximación para estos cálculos.

La potencia de la que puede disponer una central hidroeléctrica es variable con el caudal de agua disponible para ser turbinado y del salto que existe en cada instante. A esta potencia que es capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo se le denomina potencia activa, necesaria para determinar la demanda eléctrica que requiere consumir los equipos electromecánicos.

La expresión que proporciona dicha la potencia es:

$$P = 9.81 * Q * H_n * \eta$$

Donde cada una de las variables que intervienen en dicha expresión son:

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

- P: Potencia máxima en kW
- $\gamma$ : Peso específico del agua, cuyo valor adoptado es de 9,81 kN/m<sup>3</sup>
- Q: Caudal suministrado expresado en m<sup>3</sup>/s
- $H_n$ : Salto neto disponible en cada alternativa en metros.
- $\eta$ : Factor de eficiencia teórica, que es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción de la energía

$$\eta = R_t * R_g * R_s$$

- $R_t$ : Rendimiento de la turbina
- $R_g$ : Rendimiento del generador
- $R_s$ : Rendimiento del transformador de salida

Según el tipo de equipo y el fabricante, el rendimiento de la maquinaria varía, pero a efectos de una primera aproximación, se puede tomar como factor de eficiencia para una minicentral hidroeléctrica moderna el valor de 0,85.

La potencia disponible varía en función del caudal, por lo que es importante conocer y definir que caudal es con el que se va a trabajar para diseñar la central.

A continuación, se calcula por medio de esta expresión la potencia:

$$\text{Alternativa 1} \rightarrow P = 9,81 * 15 * 17,63 * 0,85 = 2205,12 \text{ kW}$$

$$\text{Alternativa 2} \rightarrow P = 9,81 * 15 * 23,59 * 0,85 = 2950,58 \text{ kW}$$

$$\text{Alternativa 3} \rightarrow P = 9,81 * 15 * 44,22 * 0,85 = 5530,93 \text{ kW}$$

Para la solución regulada hay que tener en cuenta que ya no se trabaja con un caudal de diseño y salto fijado, puesto que trabaja durante un periodo de tiempo concreto (8 h en puntas) y esto supone turbinar magnitudes de caudal mayores a los 15 m<sup>3</sup>/s ya que el volumen (Caudal por tiempo de operatividad) es mayor que en las anteriores alternativas.

La potencia, por tanto, tendrá el siguiente valor:

$$P_{8h_i} = 9.81 * Q_{8h} * H_{n_i} * \eta$$

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

$$P_{8h_1} = 9.81 * 30 * 17.53 * 0.85 = 4385.22 \text{ kW}$$

$$P_{8h_2} = 9.81 * 30 * 23.57 * 0.85 = 5896.15 \text{ kW}$$

$$P_{8h_3} = 9.81 * 30 * 44.44 * 0.85 = 11116.89 \text{ kW}$$

Como se puede comprobar, la solución de central regulada generará mucha más energía que una central fluyente, sin embargo, esta supone un coste de construcción muy elevado, sin embargo, habría que ver si es o no rentable establecer este tipo de aprovechamiento hidroeléctrico.

Por otro lado, se observa que entre las alternativas 1, 2 y 3 la que más beneficios proporciona es la Alternativa 3, puesto que la potencia de la central es proporcional a la altura del salto y al caudal turbinado. Se aprovecha al máximo los recursos y permitirá instalar turbinas de mayores prestaciones, con una potencia nominal de una turbina de alrededor de 5530 kW o de 11 MW.

Hay que tener en cuenta además que la red de alimentación de una central no solo ha de satisfacer la energía consumida por los equipos sino también se debe tener en cuenta con aquella energía con la que se va a almacenar en bobinas y condensadores. Es por ello por lo que a continuación se hace una estimación de la potencia aparente, medida en voltiamperios (VA).

Adoptando un factor de potencia (fdp) del generador elegido igual a 0,97 se puede calcular la potencia aparente o las potencias máximas para cada solución y cumpliendo la relación siguiente serán para central fluyente:

$$P_i(MVA) = \frac{P_i(kW)}{0.97} * \frac{1}{1000}$$

$$P_1(MVA) = \frac{2205.12}{0.97} * \frac{1}{1000} = 2.27 \text{ MVA}$$

$$P_2(MVA) = \frac{2950.58}{0.97} * \frac{1}{1000} = 3.04 \text{ MVA}$$

$$P_3(MVA) = \frac{5530.93}{0.97} * \frac{1}{1000} = 5.70 \text{ MVA}$$

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Haciendo lo mismo para la alternativa 4 y resumidamente se dan los siguientes resultados:

		Pot instalada (kW)	Pot. Aparente (MVA)	
<b>Alternativa 1</b>		2205	2.27	
<b>Alternativa 2</b>		2951	3.04	
<b>Alternativa 3</b>		5531	5.70	
<b>Alternativa 4</b>	8 h	Alt 1	4385	4.52
		Alt 2	5896	6.08
		Alt 3	11116	11.46

*Tabla 8. Resumen de la potencia instalada en cada solución planteada*

Las soluciones planteadas tanto en central fluyente como en central regulada a 8 h no superan o se encuentran aproximadamente en los 10.000 kW de potencia, por los que estas centrales pueden clasificarse como pequeñas.

## 2.5.11 Producción energética

Al conocer la potencia de las centrales es posible conocer la producción media hidroeléctrica al multiplicar la potencia por el tiempo en horas de operatividad o funcionamiento.

En este apartado, se argumentarán las soluciones que se han planteado por separado siguiendo los cálculos realizados y por comparación de resultados.

Tras haber conocido la potencia a instalar en los equipos de turbinación, se puede calcular la producción media que estas generarían, como producto de la potencia en cada momento por las horas de funcionamiento. De forma precisa, la producción podría calcularse con la siguiente expresión:

$$E(kWh) = \theta * \eta * V * H_n$$

Donde:

- T: Número de horas de funcionamiento bajo una altura  $H_n$  y Q fijos

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

- $\eta$ : Coeficiente de imponderables que refleja las pérdidas de energía debidas al mantenimiento y reparación de la central (En este caso se considera 0.85).
- V: Es el volumen de flujo en  $Hm^3/año$  que es capaz de trabajar con el caudal de equipamiento

Este coeficiente  $\theta$ , se obtiene de la siguiente relación aproximada:

$$1 Hm^3 = 1 \frac{m^2}{s} * 10^6 s = 277.78 h$$

$$E = P * t = (9.81 * Q * H) * t = (9.81 * 1 * 1) * 277.78 = 2.722 \frac{MWh}{m * Hm^3}$$

$$\rightarrow 2722 kWh$$

La simulación del cálculo de la producción energética se considerará por un lado cuando se trate de la explotación fluyente que el tiempo en el que el caudal pasa es constante.

$$E_1 = 2.722 * \eta * V * H_n = 2.722 * 0.85 * 247.86 * 17.63 = 10110.34 MWh/año$$

$$E_2 = 2.722 * \eta * V * H_n = 2.722 * 0.85 * 247.86 * 23.59 = 13528.24 MWh/año$$

$$E_3 = 2.722 * \eta * V * H_n = 2.722 * 0.85 * 247.86 * 44.22 = 25359.00 MWh/año$$

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el caudal es variable en función del tiempo. Para la solución de central regulada se definen como línea de funcionamiento bajo una condición de operatividad de la central concentrada en 8 horas, siendo del mismo modo que antes el resto de las horas del día, es decir 16 horas donde no se producirá caudal de salida por la central, permitiéndose el llenado de la cámara de carga.

### Central con un funcionamiento de 8 horas:

- $E_1 = 2.722 * \eta * V * H_n = 2.722 * 0.85 * 287.73 * 17.53 = 11670.09 MWh/año$

- $E_2 = 2.722 * \eta * V * H_n = 2.722 * 0.85 * 287.73 * 23.57 = 15691.04 MWh/año$

- $E_3 = 2.722 * \eta * V * H_n = 2.722 * 0.85 * 287.73 * 44.44 = 29584.64 MWh/año$



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## 2.5.12 Selección de la turbina

Es frecuente emplear diagramas que permitan elegir el tipo de turbina de modo aproximado, conociendo las variables más importantes, las características del salto neto y del caudal de diseño pueden dar una idea del tipo de turbinas más adecuadas al caso de estudio.

Por otro lado, cabe mencionar que debe estimarse el tamaño de la turbina para poder completar los diseños previos de obra civil y evaluar su coste ya que estos elementos son los que generan la producción y se encuentran en el edificio de la central.

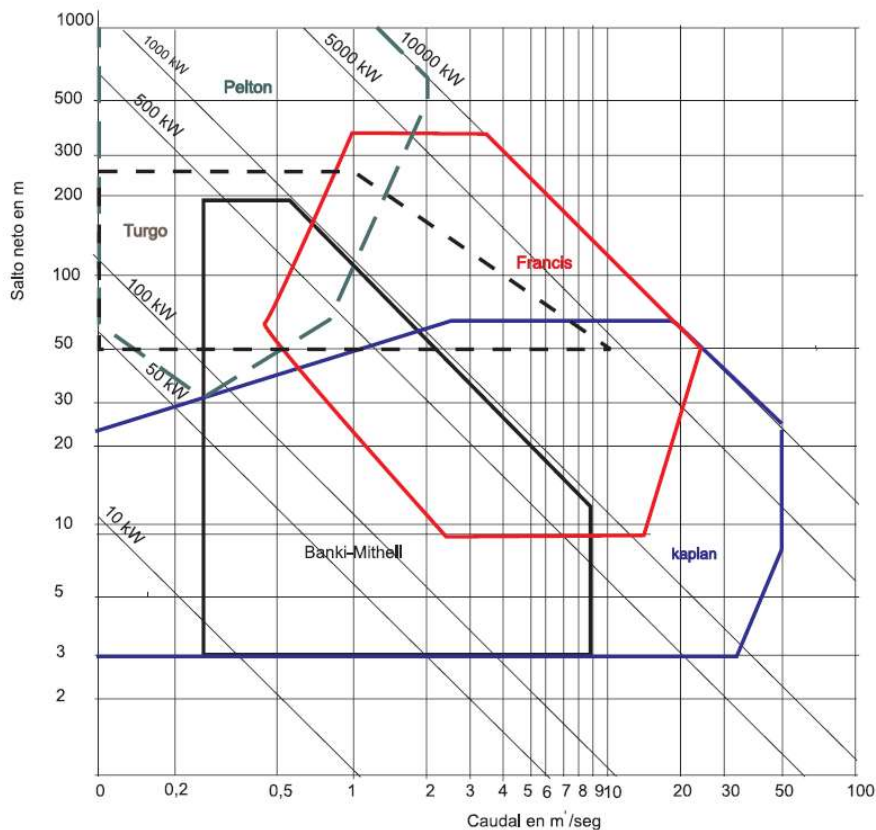


Ilustración 40. Gráfica para la preselección del tipo de turbina a partir del salto neto (m) y del caudal equipado (m<sup>3</sup>/s)

Se ha utilizado el libro de aprovechamientos hidroeléctricos de Luis Cuesta y Eugenio Vallarino para el cálculo y dimensionamiento de la turbina hidráulica, dando las características del salto hidroeléctrico, con el que permite realizar un estudio preliminar de los tipos habituales de turbinas para seleccionar el diseño más adecuado y tener un predimensionamiento de las máquinas. Los modelos no tienen por qué ser

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

aquellos que se encontrarán en el mercado, no obstante, serán similares. Con estos cálculos para el diseño de turbinas tipo Kaplan y Francis se dará el primer paso de seleccionar el tipo de turbina más conveniente.

Los datos de partida para el cálculo han sido los siguientes:

		Q (m <sup>3</sup> /s)	Diam. (m)	v (m/s)	L (m)	$\Delta H$ (m)	Sn (m)	P (kW)	P (MW)
FLUYENTE	A1	15	2,25	3,772	260	1,610	17,63	2205,08	2,21
	A2	15	2,5	3,056	450	1,375	23,59	2951,16	2,95
	A3	15	3	2,122	2700	2,443	44,22	5530,51	5,53
REGULADA	A1	30	3	4,244	260	1,708	17,53	4385,69	4,39
	A2	30	3,25	3,616	450	1,397	23,57	5896,98	5,90
	A3	30	4	2,387	2700	2,225	44,44	11115,76	11,12

*Tabla 9. Resumen de las características de cada aprovechamiento*

Al realizar el estudio de una central es necesario estimar el tamaño de los grupos turbogeneradores para completar el prediseño de la obra civil y evaluar su coste. A continuación, se presentan unos criterios básicos para determinar el tipo de equipamiento más conveniente en cada caso del estudio de soluciones que se plantea, logrando estimar sus dimensiones principales.

Según el salto nominal disponible, las turbinas asociadas son:

- KAPLAN Si <50 m de salto nominal
- FRANCIS Si 30-500 m de salto nominal
- PELTON >400 m de salto nominal

En este estudio, los saltos se encuentran entre 20 y 50 m, por lo que instalar una turbina tipo PELTON no tiene sentido.

Se instalarán con el eje horizontal, puesto que es más simple y proporciona mayores facilidades de montaje y mantenimiento. Sin embargo, esta disposición requiere de una superficie mayor, por lo que, al aumentar la capacidad de los grupos turbogeneradores, se hace necesario disponerse con el eje vertical, para reducir las dimensiones y el coste de la obra civil.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Por ello las turbinas FRANCIS se disponen en este sentido, con el eje vertical ya que la potencia nominal ronda entre los 4 y 20 MW.

Las turbinas KAPLAN convencionales son por lo general máquinas voluminosas. Estas se instalan usualmente con el eje vertical.

EL proceso para determinar las dimensiones de las turbinas y estructuras hidráulicas anejas, son a partir de los datos de partida y se puede resumir como sigue:

1. Se calcula la potencia nominal:

$$P = 9.81 * \eta * Q * H \text{ (kW)}$$

2. Se estima el valor de Ns de la velocidad específica mediante una expresión empírica adecuada, que más adelante se propone.
3. Se calcula la velocidad de giro aproximada y se selecciona la velocidad síncrona correspondiente que a falta de condicionamientos puede ser la velocidad síncrona más próxima a la velocidad de giro.
4. Se estima el coeficiente de cavitación mediante una expresión empírica apropiada y se calcula la altura de aspiración y la cota de implantación del plano medio de la cámara espiral, si la cota resultante es incompatible con las condiciones del aprovechamiento se modifica la velocidad síncrona seleccionada para llegar a una cota de implantación adecuada.
5. Se determina el coeficiente de velocidad periférica mediante una fórmula empírica adecuada. Teniendo en cuenta que este coeficiente es la relación entre la velocidad periférica del rodete y la velocidad absoluta del agua, permitiendo pues el cálculo del diámetro del rodete.
6. Se estiman las dimensiones aproximadas del rodete, cámara espiral y tubo de aspiración en función del diámetro del rodete y de la velocidad específica.

Después de los cálculos efectuados en el **ANEXO 2. Cálculos para el estudio de soluciones**, se optará por elegir en las Alternativa 1 y 2 una turbina KAPLAN normal y para la Alternativa 3 una turbina FRANCIS.

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Qeq (m <sup>3</sup> /s)		N (rpm)	Drodete (m)	Sn (m)	tipo	Pot. útil (kW)
15	A1	460	1,50	17,60	KAPLAN	2201.36
15	A2			23,60	KAPLAN	2951.83
15	A3	480	1,30	44,2	FANCIS	5528.43
30	A1	325	1,84	17,5	KAPLAN	4377.72
30	A2			23,6	KAPLAN	5903.66
30	A3	340	1,85	44,45	FRANCIS	11119.40

Tabla 11. Tipo de turbina y sus características en cada solución planteada

Los aprovechamientos entre 30 y 75 m se pueden equipar con KAPLAN o FRANCIS, las ventajas de segundas sobre las primeras son:

- coeficiente de cavitación favorable lo cual permite una instalación a una cota más elevada con el consiguiente ahorro de obra civil.
- Rendimiento óptimo del equipo más elevado, especialmente para alturas mayores de 50 m
- Velocidad de embalamiento más reducida, asimismo el caudal para esta velocidad es más pequeño.

Las ventajas de la KAPLAN sobre las FRANCIS son:

- Campo de utilización más amplio, con mejores rendimientos a cargas parciales, las KAPLAN pueden operar con cargas de hasta el 20% de la potencia nominal, mientras que las FRANCIS difícilmente operan con una eficiencia aceptable por debajo del 40 o 50 %.
- Están algo mejor adaptadas que las FRANCIS para operar eficientemente con saltos que tengan una fuerte oscilación.
- Tienen una velocidad síncrona más elevada.

**Turbina para la Alternativa 1- Central fluyente en la Primera Rápida:** A la vista de los resultados generados, esta turbina KAPLAN posee un diámetro de 1.50 m y su eficiencia máxima es del 89.4% para un caudal de 15 m<sup>3</sup>/s presentando una velocidad de 460 rpm. La estimación del precio de esta turbina es de 145.000 €.

**Turbina para la Alternativa 2- Central fluyente en la Segunda Rápida:** La turbina idónea es una KAPLAN conde el diámetro calculado en este caso es de 1.50 m y una

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

eficiencia de 89.6 % para el caudal nominal, la velocidad que puede alcanzar es de 460 rpm y la estimación de su precio es de 145.000€.

**Turbina para la Alternativa 3- Central fluyente entre la Primera y Segunda Rápida:** En esta alternativa la turbina FRANCIS posee un diámetro calculado de 1.30 m alcanzando los 480 rpm sin embargo presenta una eficiencia del 90.9% para el caudal nominal, la mayor eficiencia en comparación a las anteriores turbinas. Se estima un valor unitario de esta turbina de 195.000€.

**Turbina para la Alternativa 4 – Central Regulada para 8 h punta:** En este caso debería plantearse la instalación de turbina FRANCIS con un diámetro en el rodete de 1,85 m, alcanzando los 340 rpm, con una eficiencia del 94.12% para el caudal nominal de 30m<sup>3</sup>/s, presentando la mayor eficiencia en comparación con las anteriores turbinas mencionadas. Este diseño tiene un coste unitario de 245.000€

Los fabricantes de turbinas no suministran ninguna información sobre el costo ya que cada instalación es diferente y compleja.

## **2.5.13 Equipos electromecánicos**

Estos equipos hacen referencia a la turbina en sí. Incluye la cámara espiral, las tapas, los álabes de distribución, el rodete, los ejes, el cojinete guía, la junta de estanqueidad del eje, el tubo de aspiración y los equipos de regulación.

La elección de la turbina es muy importante, ya que es esencial para la conversión de la energía cinética del agua en energía mecánica. En general, hay tres tipos principales de turbinas: la turbina Pelton, Kaplan y Francis. El tipo de turbina depende del salto neto y el caudal de equipamiento. La turbina más recomendada es la Kaplan o Francis.

La turbina Kaplan es una turbina de hélice de reacción de flujo axial y generalmente se usa para grandes caudales de equipamiento y saltos pequeños entre 2 y 40 metros. El caudal entra de manera axial y también sale del corredor en dirección axial. Hay turbinas Kaplan reguladas dobles y simples. La turbina de doble regulación

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

tiene paletas de guía ajustables y paletas de guía ajustables, mientras que la turbina regulada solo tiene paletas de guía ajustables. La turbina Francis es una turbina de reacción con paletas de guía ajustables y álabes de guía fijos utilizados para cabezales y caudales medios. El caudal entra de manera radial en el corredor y luego gira en ángulo recto para que salga de la turbina de manera axial. El eje se puede colocar de forma vertical u horizontal.

La eficiencia de una turbina Francis es mayor que la de una turbina Kaplan cuando se trabaja con una descarga cercana a la máxima descarga posible. Por lo tanto, es más interesante trabajar con una turbina Francis.

**Equipo eléctrico principal:** El generador transforma la energía mecánica de las rotaciones de la turbina en energía eléctrica mediante inducción electromagnética. Un corredor dirige los movimientos de la turbina a un generador. Usando un rotor, este generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica. En la parte superior del generador, se encuentra el excitador. Este equipo recibe una pequeña fuente de alimentación de CC del AVR (regulador de voltaje automático). El AVR da los primeros pulsos de corriente eléctrica a los electroimanes en el rotor para darle al rotor la misma frecuencia de pulso que los pulsos de la red. el estator está ubicado en la parte exterior y está hecho de devanados, que son tres bobinas de alambre de cobre. Los polos magnéticos en la parte superior del rotor crean un campo magnético para cada imán. Estos imanes se colocan alternando por polos para que cada imán tenga un vecino con un polo diferente. Debido a que el rotor está ubicado dentro del estator, los campos magnéticos crean una reacción en los devanados del estator. Estas reacciones generan pulsos de energía de CA y luego se transmite a la red mediante conductores conectados al estator. El estator tiene tres tipos diferentes de conductores, por lo que el generador puede producir una corriente alterna trifásica.

Un generador puede ser síncrono o asíncrono. El generador síncrono la conversión de energía se produce a una velocidad constante. El generador asíncrono funciona a velocidades superiores a su velocidad síncrona y se utiliza en la mayoría de las centrales hidroeléctricas pequeñas.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

**Control, protección y regulación:** Para poder controlar, regular y proteger el buen funcionamiento de la central eléctrica, se necesita la instalación de varios elementos adicionales. Estos componentes también actúan y corrigen cuando ocurre cualquier fallo en la maquinaria.

Todas las partes de la central eléctrica están conectadas a través de un sistema de control y protección. Este sistema asegura que todos los elementos sigan funcionando de la manera óptima y que no se sobrecarguen. La carga en el generador, la velocidad del rotor, la velocidad de la turbina, la posición de las compuertas, el caudal, etc. Estos parámetros pueden variarse cuando sea necesario.

Los elementos de control más importantes para el control de la turbina son el regulador de velocidad en instalaciones con grupos sincrónicos, los reguladores de nivel para plantas con grupos asíncronos conectados a la red, el regulador de potencia generado para las centrales eléctricas en red aislada y el regulador de flujo de la turbina.

Otro equipo de protección importante son los cojinetes. Las funciones principales de este elemento son mantener el eje en el lugar correcto y minimizar las fricciones que pueden ser perjudiciales para el equipo electromecánico. Uno de los cojinetes más importantes es el cojinete guía, que resiste las fuerzas del agua y el desequilibrio mecánico y mantiene la turbina en su posición centrada. La mayoría de estos elementos están lubricados con agua o con aceite.

Para regular la velocidad del eje de la turbina, puede emplearse un aumentador de velocidad. La mayoría de los generadores funcionan con una velocidad de 750-1000 rpm, mientras que la turbina utilizada en este caso solo tiene 340 rpm. Por lo tanto, se necesita un aumentador de velocidad para alcanzar la velocidad del generador. Hay tres tipos de incrementadores de velocidad; eje paralelo, engranajes cónicos y aumentadores de velocidad de la correa.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

## **2.5.14 Solución adoptada**

Por tanto, se trata de un aprovechamiento hidroeléctrico que contendrá las siguientes características:

- El emplazamiento estudiado para ubicar una central hidroeléctrica es adecuado para los 44.45 m de salto total en el tramo del canal ATS comprendido a lo largo de 2700 m, con lo que a priori no habría dificultades geotécnicas para la obra civil lo que facilitaría las labores de construcción.
- En cuanto a cuál es la solución más eficiente desde el punto de vista de la producción, es difícil de conocer con solo los datos obtenidos en este trabajo, se debería realizar un estudio más amplio y conocer los costes repercutibles en cada uno de los tres casos bajo las características de central fluyente y bajo las características de la central regulada.
- Aprovechamiento hidráulico de tipo regulado, el beneficio que se obtendrá al trabajar 8 h en puntas compensará el incremento de la inversión necesaria por la necesidad de construir una cámara de carga con unas dimensiones considerables.
- Si se aumenta el caudal nominal, el aumento de la producción es cada vez menor. Por lo que a partir de 15 m<sup>3</sup>/s ese pequeño aumento de la producción anual no compensa la inversión con una turbina de mayor capacidad.
- La lámina de agua en la toma se encuentra a la misma cota que la del canal debiendo hacer para eso una excavación lateral hasta la cota 858.70 m. Aprovechando una altura en la entrada de 2.11 m y un ancho de 3.20 m.
- No se requerirá de compuertas para regular el caudal, Solo una Atagüía deslizante y rejas para evitar la entrada de material sólido y sedimentos.
- La ubicación de al cámara de carga está condicionada por el trazado del canal ATS, el edificio de la central y del suelo.

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

- Se instalará un aliviadero en la cámara de carga que permita devolver al canal ATS el exceso de agua entrante.
- La turbina se ha escogido teniendo en cuenta las producciones anuales de energía y del espacio disponible, así como la potencia que más se ajusta a las necesidades.

La construcción de la minicentral de toda la obra civil necesaria se realizará en base a todas las premisas descritas en el **ANEXO 4. Descripción de las obras y mediciones.**

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## **2.6 ESTUDIO ECONÓMICO**

En esta sección se medirá la valoración económica del aprovechamiento. En base a los ingresos y costes podrá tomarse una decisión sobre si el proyecto es rentable o no.

### **2.6.1 Facturación de energía**

Se ha tenido en cuenta la producción energética mensual de la central (considerando los datos históricos) y los precios medios mensuales obtenidos de la página de OMIE<sup>1</sup> para calcular la facturación anual que podría darse en la solución final.

A la hora de calcular la producción energética no es tan relevante tener en cuenta el caudal real que llevará el trasvase Tajo-Segura, puesto que se trata de una central regulada y su sistema de explotación es constante en el tiempo (horas punta). Lo más importante es la eficiencia de la turbina que varía en función del caudal. Observando en el apartado 2.5.11, es conocida la producción energética anual. Por otro lado, se ha estimado un precio máximo teniendo en cuenta los informes anuales del 2017 y 2018 publicados por OMIE. A continuación, se muestra la facturación anual del aprovechamiento hidroeléctrico.

Mes	Precio medio mensual (€/KWh)	Producción mensual (kWh/mes)	Facturación mensual (€)
Enero	60.735	8270966	502337.13
Febrero	53.31	7470550	398255.02
Marzo	41.685	8270966	344775.22
Abril	43.18	8004161	345619.66
Mayo	51.015	8270966	421943.34
Junio	54.34	8004161	434946.10
Julio	55.255	8270966	457012.24
Agosto	55.895	8270966	462305.65
Septiembre	60.21	8004161	481930.52
Octubre	60.925	8270966	503908.61
Noviembre	60.58	8004161	484892.06
Diciembre	59.875	8270966	495224.10

*Tabla 12. Producción y facturación mensual*

<sup>1</sup> Operador del Mervado Ibérico de Energía

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

En resumen:

**PRODUCCIÓN ANUAL = 29584.64 MWh/año**

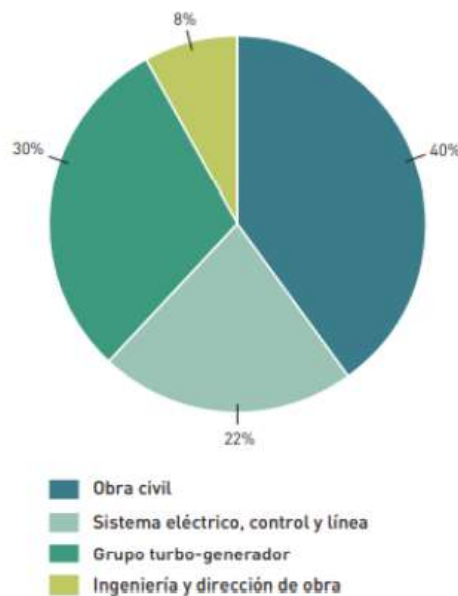
**FACTURACIÓN ANUAL = 205.758,47 €**

## 2.6.2 Coste de la obra

Existen diversos factores que inciden en el coste de inversión en un aprovechamiento hidroeléctrico. Por una parte, están los costes debidos a la obra civil y los equipos electromecánicos, incluyendo en este grupo de costes los debidos a sistemas de control... y por otro lado se tienen los costes de la ingeniería y la dirección facultativa de la obra.

Por otra parte, al terminar la obra, comienza la fase de explotación, lo que implica costes de operatividad, mantenimiento y reparación.

Para dar una idea general de la distribución de los costes en los aprovechamientos hidroeléctricos existen gráficos como los siguientes:



*Ilustración 41. Porcentajes de cada coste desglosado para un aprovechamiento hidroeléctrico estándar*

En este gráfico se aprecia que el 32 % del coste de la inversión corresponde con los equipos electromecánicos, el 40% a la obra civil y el 8% a la ingeniería y dirección de obra. Sin embargo, estos porcentajes fluctúan según el tipo de actuación,

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

En este caso, cabe esperar que, se trata de un proyecto de obra civil, por lo que tendrá un volumen mayor de costes de los equipos electromecánicos puesto que toda la obra es nueva, y por tanto la obra civil será más costosa. En el caso de estudios, la distribución de los costes de la inversión es: 60% Obra civil, 35% Equipos electromecánicos y 5% Ingeniería y dirección de obra.

Para la elaboración del presupuesto se han utilizado las bases de precios del CYPE. En cuanto a la determinación de precios más específicos como las máquinas (turbinas) se han consultado algunas páginas de proveedores como Voith, Indar y Alston además de consultar precios estándar en presupuestos de otros proyectos.

En resumen, el cálculo estimado de la justificación económica puede visualizarse en el **ANEXO 5. Justificación del coste de la inversión**. A continuación, se muestra el desglose de los resultados:

<b>Obra Civil</b>	688,060.41 €
<b>Equipo electromecánico y sistemas auxiliares</b>	374,886.00 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	<b>1,062,946.41 €</b>
<b>Presupuesto de Ejecución Material</b>	1,062,946.41 €
<b>Gastos generales (13%)</b>	138,183.03 €
<b>Beneficio Industrial (7%)</b>	74,406.25 €
<b>PRESUPUESTO POR CONTRATA</b>	<b>1,275,535.69 €</b>
<b>Presupuesto por contrata</b>	1,275,535.69 €
<b>Ingeniería y dirección de obra</b>	25,045.00 €
<b>IVA (21%)</b>	267,862.50 €
<b><u>PRESUPUESTO TOTAL</u></b>	<b><u>1,568,443.19 €</u></b>

Tabla 13. Síntesis de la valoración económica de la solución adoptada

### 2.6.3 Análisis de rentabilidad

Este punto se evalúan los resultados económicos del proyecto para tener el respaldo económico a la hora de tomar la decisión. Un adecuado análisis de rentabilidad permitirá establecer en diferentes escenarios teóricos la sensibilidad en la que se encuentran los parámetros intervinientes ante cualquier cambio producido. Los ingresos del proyecto se relacionarán con el precio de venta de la energía y los costes



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

de producción. Estos precios varían en el tiempo y pueden condicionar en gran medida la rentabilidad. IDAE<sup>2</sup> recomienda que las inversiones de minicentrales hidroeléctricas deben valorarse en una primera estimación con los siguientes índices:

Índice de energía es:

$$I.E. = \frac{1568443,19}{29584640} = 0,05 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Y el índice de potencia es:

$$I.P. = \frac{1568443,19}{11116,89} = 1407,63 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

No obstante, estos parámetros son recomendaciones, por lo que es necesario realizar un análisis en mayor profundidad para justificar la rentabilidad de la central. El análisis consiste en efectuar un balance económico-financiero. Valorando la inversión mediante el VAN<sup>3</sup>, valor actualizado de los cobros y pagos generados por una inversión:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Donde:

- $V_T$  Flujo de caja de cada periodo  $t$
- $I_0$  Valor del desembolso inicial de la inversión
- $r$  es la tasa de descuento, se utiliza para descontar los flujos de efectivo futuros obteniendo así su valor actual.

Otro medidor de la inversión es el TIR<sup>4</sup> o tasa de descuento que hace que el VAN sea nulo. Este parámetro representa el valor de la tasa de descuento con el cual se recupera la inversión en el último año de vida (se considera una vida útil de 25 años).

---

<sup>2</sup> Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía

<sup>3</sup> Valor Actual Neto

<sup>4</sup> Tasa Interna de Retorno

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

- El coste de la inversión es de 1.568.443,19 €
- Pagos relacionados con seguros, impuestos, Cánones etc. Estos se aproximarán con la siguiente expresión:

$$Gastos = 600 * \sqrt{Potencia\ instalada} = 600 * \sqrt{11116,89} = 63262,00 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

- Vida útil de 25 años

Los escenarios que se plantean se consideran como práctico, positivo y desfavorable según se tome el precio de venta de la energía. En el primer escenario equivale a decir que los precios energéticos son constantes adoptando valores de referencia de los últimos años, por ejemplo, la media de los precios máximos mensuales de los años 2016-2017-2018 publicados por OMIE: 60,93 €/KWh. Suponiendo una tasa de descuento del 5% y un IPC<sup>5</sup> (media estadística que indica la evolución del conjunto de precios de los bienes y servicios se utilizará para actualizar los precios) del 2,5%, se han obtenido los siguientes resultados (Análisis efectuado en **ANEXO 5. Valoración económica**):

**Escenario 1: VAN (25 años) = 1.010.886 € y TIR = 10 %**



*Ilustración 42. Gráfico del escenario 1 del análisis de rentabilidad*

<sup>5</sup> Índice de Precios al Consumidor

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

A la vista del gráfico anterior el retorno de la inversión puede considerarse adecuado, pero no es la mejor. Es deseable que la inversión se recuperara en un periodo de tiempo inferior a 12 años, por lo tanto, en este caso se produce a los 14 años, es interesante observar que ocurre con un cambio de escenario positivo, por ejemplo, que bajaran los costes de producción y aumentara el precio de compra de la energía como por ejemplo mediante incentivos en los proyectos de energías renovables que podrían influir positivamente en la rentabilidad del proyecto. A continuación, se plantea un escenario en el que los precios de la energía se incrementan un 15%, si el precio más alto estándar en los últimos años es de 60,93 €/MWh entonces en este escenario es de 70,06 €/MWh y se conseguiría recuperar la inversión en un periodo aproximado de 11 años:

### Escenario 2: VAN (25 años) =92.595,48 € y TIR = 12.5 %

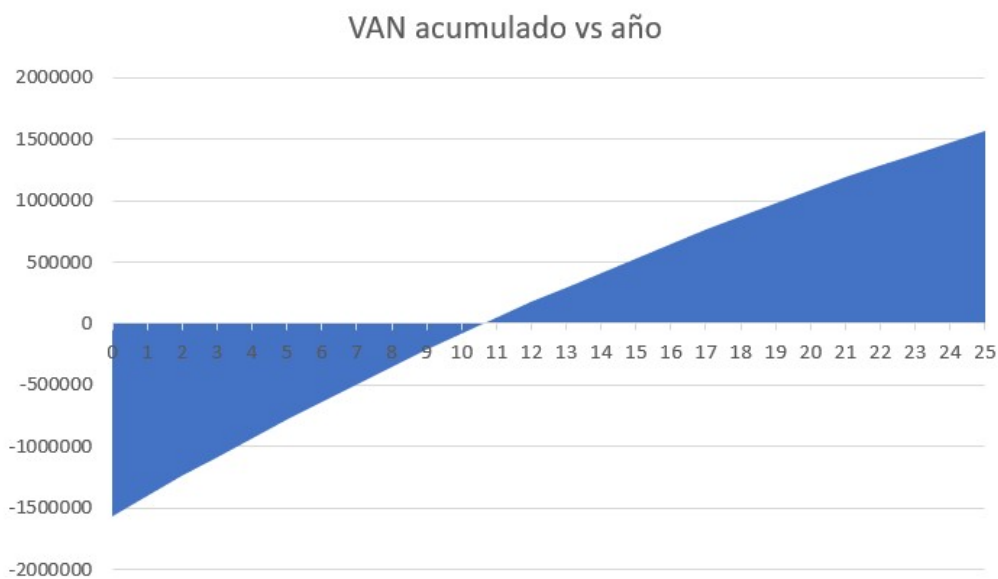
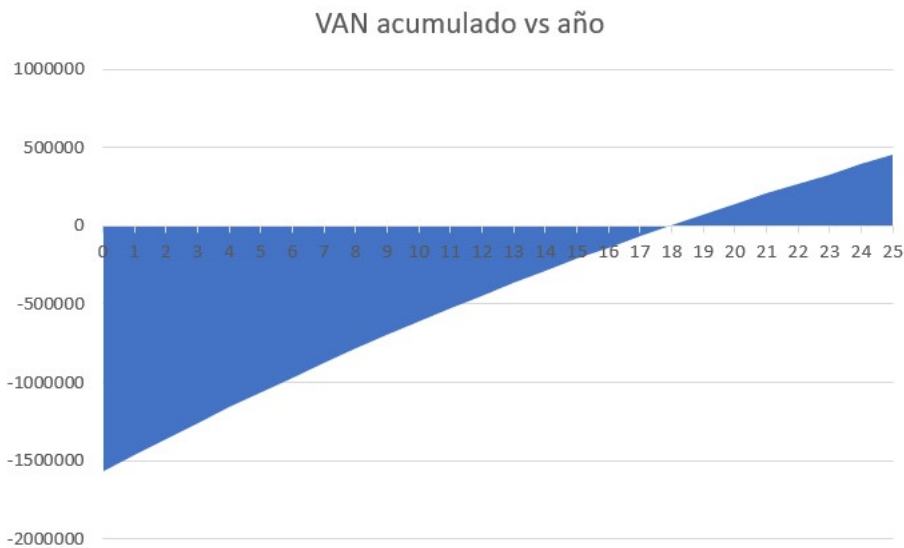


Ilustración 43. Gráfico del escenario 2 del análisis de rentabilidad

Es importante considerar escenarios desfavorables para estimar el riesgo de la inversión, si por ejemplo se supone que en el futuro los precios de venta de la energía disminuirán un 15% entonces en vez de 60,93 €/MWh el precio de venta será 51,79 €/MWh y el periodo de recuperación de la inversión en torno a 8 años.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

**Escenario 3: VAN (25 años) =59.625,46 € y TIR = 7,4 %**



*Ilustración 44. Gráfico del escenario 3 del análisis de rentabilidad*

Para establecer que la inversión se recupere en menos de 12 años, el precio de compra de la energía debería encontrarse próximo al precio incrementado un 15%, esto es bastante improbable en base a los precios de los últimos años donde ha ido aumentando progresivamente. Otra manera sería hacer que la inversión se recupere en con unos incentivos iniciales.

Viendo los anteriores gráficos, parece ser rentable un proyecto de estas características ya que al final del tiempo de vida de cada uno de los tres escenarios se ha recuperado la inversión inicial, presentando unos valores de recuperación elevados considerando el tiempo empleado y comparada con la inversión que se ha tenido que hacer para obtenerla.

## **2.7 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

Pese a que desde el impacto global la generación de energía eléctrica en pequeñas centrales hidráulicas presenta ventajas positivas, al ubicarse en general, en zonas con alta sensibilidad ambiental, estas generan impactos de carácter local no menos despreciables. La ventaja que tiene a la pequeña hidráulica en el campo de los impactos

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

globales no debe ser obstáculo para que, a nivel de proyecto, se identifiquen los impactos y se introduzcan las medias correctoras necesarias.

## **2.7.1 Legislación vigente**

- Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo del Consejo, 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

La cual especifica los proyectos que deben realizar una Evaluación de Impacto Ambiental. Citado en el Anexo II de la Industria Energética: Instalaciones para la producción de energía hidroeléctrica.

- Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 27 de junio de 2001, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.

Además de las bases legales europeas, se encuentran la regulación estatal:

- Ley 21/2013 de 9 de diciembre, de evaluación ambiental

Esta ley establece las bases que deben regir la evaluación ambiental de los planes, programas y proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente, garantizando en todo el territorio del Estado un elevado nivel de protección ambiental, con el fin de promover un desarrollo sostenible.

Finalmente se encuentra la legislación autonómica de Castilla La-Mancha:

- Ley 2/2020 de 7 de febrero, de evaluación ambiental de Castilla-La Mancha

Esta ley adapta el ámbito regional de la legislación básica estatal establecida y deroga la ley 4/2007 de 8 de marzo, de Evaluación Ambiental de Castilla-La Mancha y el decreto 178/2002 de 17 diciembre por el que se aprueba el Reglamento General de Desarrollo de Evaluación de Impacto ambiental en esta comunidad.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

## 2.7.2 Identificación de impactos

Para poder estudiar y obtener los posibles factores del medio que se verán afectados por la realización de las acciones relacionadas con el proyecto, se va a realizar una matriz de identificación de impactos. En esta matriz de tienen dos entradas, por un lado, las acciones de la actividad que se dividirán en fase de construcción y fase de explotación, y por otra, los factores del medio que se podrán ver afectados. Antes de ello, se realizará un breve inventario ambiental donde se define y describe el entorno del proyecto. El inventario servirá para tener una referencia con la que determinar las posibles afecciones que causaría la ejecución del proyecto sobre el medio.

La zona de estudio pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Júcar, destacando su inmediata proximidad a una de las colas del embalse de Alarcón, y la incorporación al mismo de las aguas del trasvase Tajo –Segura, desembocando este último a la altura de la confluencia del río Belvís con el río Júcar.

Los elementos ambientales significativos y considerados en el entorno del proyecto son:

### 2.7.2.1 Medio físico

**Suelo:** se justificará el destino de todo material sobrante procedente de la remoción del terreno y la posibilidad de utilizar las tierras sobrantes para la restauración de espacios degradados. Los estériles se eliminarán mediante depósitos en vertederos autorizados, según expone el informe de la Dirección General de Calidad Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

La construcción de la minicentral y sobre todo del canal de desagüe de la central, así como en mucha menor medida la cimentación e instalación de los apoyos de la línea eléctrica, producirán un importante movimiento de tierras, que conllevará una modificación de la actual geomorfología de los terrenos, la acentuación de los procesos erosivos, y la generación de un volumen importante de sobrantes de excavación a trasladar con camión a vertedero, de ubicación no definida.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Tras las obras, en las zonas con pendientes es previsible la generación de procesos erosivos, especialmente en el entorno de la central en el Cerro de la Cabeza. La presencia, operación y mantenimiento de la maquinaria empleada durante la ejecución del proyecto supone el riesgo de contaminación del suelo por vertidos y/o derrames accidentales de aceites, fuel, etc.

**Monte y vías pecuarias:** el trazado de la línea eléctrica propuesta discurrirá sobre el monte y sobre otros encinares y pinares. Se solicita un desvío del trazado para evitar el paso por zonas arboladas; asimismo, el tendido atraviesa dos vías pecuarias, debiendo darse cumplimiento a lo que señala la Ley 9/2003, de 20 de marzo, de Vías Pecuarias de Castilla La Mancha, según señala la Dirección General de Calidad Ambiental de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Asimismo, el tendido atraviesa dos ramales de la Cañada Real de los Chorros, ocupando el vuelo.

**Hidrología superficial:** estos factores aparecen con la calidad del agua y estudios hidrogeológicos. Las alteraciones que conllevan las acciones del proyecto provocan en el medio hidrológico modificaciones en los flujos de agua superficial, escorrentías, efectos barrera e impermeabilización en las áreas donde se ubican las obras.

**Calidad del Aire:** el principal efecto sobre la calidad del aire será el derivado de las emisiones de polvo por el transporte de tierras sobrantes a vertedero durante la fase de construcción de la obra, sin embargo, el ruido será el mayor impacto.

## **2.7.2.2 Medio biótico**

**Vegetación:** la vegetación natural escasea en la zona, dominada por cultivos agrícolas, apareciendo dispersas manchas aisladas de pino carrasco (*Pinus halepensis*), pino piñonero (*Pinus pinea*), encina (*Quercus ilex ssp. rotundifolia*), coscoja (*Quercus*

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

coccifera), aulaga (*Genista scorpius*), tomillo (*Thymus vulgaris*), y romero (*Rosmarinus officinalis*), con cierto valor paisajístico y biológico.



Ilustración 45. De arriba a abajo: Pino carrasco (*pinus halepensis*), encina (*quercus ilex*), Coscoja (*quercus coccifera*) y aulaga (*Genista scorpius*)

Se utilizará para el acceder a la central el camino asfaltado de servicio del canal que discurre por la margen izquierda para evitar así la construcción de un nuevo camino que afectaría a la vegetación arbórea existente en la zona. Asimismo, todos los terrenos afectados por las obras serán restaurados, procediéndose a la revegetación de la zona de actuación empleando especies propias del entorno, según expone el informe de la Dirección General de Calidad Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

La construcción de la central hidroeléctrica y los demás elementos auxiliares y complementarios producirá la destrucción de la cubierta vegetal de la zona ocupada, afectando puntualmente la superficie de encinar, de pinar de pino piñonero (*Pinus pinea*) o pino carrasco (*Pinus halepensis*), y de matorral. La construcción del camino de acceso entre la central y la cámara de carga por la margen derecha del canal producirá la ocupación y destrucción de parte de la forestación que conforma la banda de protección paisajística del A.T.S.

En la construcción de la línea eléctrica, la creación de pasillos para la cimentación de los apoyos y el izado de los conductores producirá la destrucción de la cubierta vegetal afectado. Así mismo, en la franja de seguridad a lo largo de la línea se

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

limitará la implantación y el desarrollo de la vegetación arbórea mediante desbroces y corta periódicas. El encinar se verá afectado por los tramos del tendido eléctrico. El estudio de impacto ambiental valora en 16.800 m<sup>2</sup> la superficie con vegetación de encinar o pinar de repoblación directamente afectada por la construcción de esta central y de los viales asociados. Respecto a la línea eléctrica, se producirá destrucción de la vegetación arbórea en la fase de construcción del tendido eléctrico (ocupación de apoyos y superficies auxiliares, calles para tendido de cables, apertura de nuevos caminos de acceso), y en la fase de explotación por corta periódica del arbolado.

En la fase de construcción, existe riesgo de incendio forestal en las superficies boscosas atravesadas por la línea.

**Fauna:** entre la fauna del entorno susceptible de verse afectada por el proyecto, son destacables diversas aves acuáticas que frecuentan el río Júcar y el entorno del Embalse de Alarcón, especialmente en época de invernada, entre las que puede destacarse por su abundancia el cormorán común (*Phalacrocorax carbo*), el ánade real (*Anas platyrhynchos*) y diversas aves acuáticas migradoras, muchas de las cuales efectúan desplazamientos nocturnos. El entorno del embalse de Alarcón es utilizado por la grulla común (*Grus grus*) en migración e invernada. En la mayor parte del territorio por donde va a discurrir el tendido eléctrico la avifauna es típica de cultivos cerealistas de secano, sin que conste presencia apreciable de las especies típicamente esteparias consideradas amenazadas. Existen también vertebrados terrestres de mediano y pequeño tamaño, algunos con interés cinegético (conejo, liebre, zorro) y otros como el erizo común, lirón careto y diversos anfibios y reptiles incluidos en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas. Los grandes mamíferos (corzo, jabalí) son escasos y sólo tienen presencia estable en las manchas de vegetación natural más extensas, generalmente asociadas a las estribaciones de la Sierra de Zafra, si bien efectúan sus movimientos por todo el territorio.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---



*Ilustración 46. De arriba a abajo: Cormorán común (Phalacrocorax carbo), ánade real (Anas), grulla común (Grus grus), liebre, corzo)*

El actual ATS. supone una barrera para sus movimientos y conlleva un riesgo de caída accidental al canal de la fauna terrestre.

Se deberá dar especial interés en proteger a la avifauna existente en la zona de electrocución en el nuevo tendido eléctrico ya que estas y demás elementos en tensión del proyecto pueden afectar a la avifauna, provocando muertes o lesiones tanto por electrocución en los apoyos como por colisión con los conductores del tendido, y especialmente con el cable de tierra. La construcción de canales puede suponer un riesgo de caída accidental en los mismos para la fauna terrestre. La fauna que eventualmente caiga al A.T.S. aguas arriba de las rápidas pasará desde la cámara de carga a la conducción forzada y a las turbinas, sin posibilidad alguna de sobrevivir. Así mismo, los canales producen un efecto barrero al movimiento de la fauna terrestre, que en este caso se agrava por sinergia con el efecto barrera generado por el propio A.T.S.

### **2.7.2.3 Medio perceptual: Paisaje**

**Calidad paisajística:** La construcción de la cámara de carga y el edificio de la central deberá armonizarse en el entorno inmediato, con las características propias de la arquitectura tradicional de la zona según expone la Dirección General de Calidad Ambiental de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

**Visibilidad:** El movimiento de tierras y la presencia de la central hidroeléctrica y la línea eléctrica producirán una alteración relativa en la calidad del paisaje local.

## 2.7.2.4 Medio socioeconómico y cultural

**Cultural:** en lo relativo al patrimonio cultural, a unos 500 m de la línea eléctrica se encuentra el yacimiento arqueológico de Torre del Monje. Existen también algunos bienes de Bienes de Interés Cultural, en el casco urbano de Villares del Saz, próximos a la línea eléctrica: Parroquia de Santa Eulalia de Mérida, Ermita de Jesús de Nazareno y Posada de Ángel Bello.

**Actividades económicas:** Estos factores pueden observarse en el sector económico local y la generación de nuevos puestos de trabajo que conlleva las instalaciones del aprovechamiento tanto en fase de construcción como de explotación de la central.

## 2.7.3 Valoración de los impactos

Los impactos se valorarán por medio de una matriz causa-efecto. En esta matriz se analizan las posibles interacciones entre acciones del proyecto y factores del medio, identificados anteriormente. En cada cuadrícula donde existe un impacto detectado se representará la magnitud del impacto valorándose desde el 1 al 10 con signo positivo o negativo según sea el impacto.

Factores del medio	Acciones
--------------------	----------

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

	Fase de ejecución						Fase de explotación				Fase desmantelamiento		
	Terreno ocupado	Carga y transporte	Emisiones contaminantes	Toma y Cámara de carga	Colocación tubería	Casa de maquinas	Canal de descarga	Punto de toma	Casa de maquinas	Tendido eléctrico	Emisiones contaminantes	Canal de descarga	Cese de la actividad
Suelo	-6	-5	-5	-4	-5	-5	-5						-6
Monte y vías pecuarias	-7	-5	-6						-1	-3	-2		
Hidrología superficial					-5		-3	-4				3	4
Calidad del aire		-7	-7		-2	-5	-2				-5		
Vegetación	-4	-3	-3	-2	-2	-3	-4	-4		-3	-2		-6
Fauna	-5	-3	-4	-2			-3	-4		-7	-3	-2	
Calidad paisajística	-8		-6						-5		-5		-5
Visibilidad	-6	-2		-3	-2	-4	-2	-2	-6	-3		-2	-7
Cultural	-3					3	5		7	-2			-6
Actividades económicas	2	4		2	4	3	3		3	8			-5

*Tabla 14. Matriz de factores ambientales y acciones, para estimar el impacto*

### 2.7.4 Medidas y acciones correctoras

Se incluyen en este apartado las principales medidas protectoras y correctoras señaladas junto con las condiciones adicionales necesarias que se han deducido de la evaluación para eliminar, reducir o compensar los efectos ambientales negativos más significativos, así como las posibles alternativas existentes.

**Calidad del aire:** riego matinal diario de los caminos de firme natural empleados para el transporte de tierras sobrantes a vertedero, al menos en la época de primavera y verano, salvo en los días en que por la humedad del suelo no se produzca polvo.

**Suelo:** No se incluye el detalle de la localización y características del vertedero de tierras sobrantes necesario, por lo que la presente declaración de impacto no se conoce a priori. En cualquier caso, la ubicación que se adopte para dicho vertedero no deberá afectar a ninguno de los siguientes elementos con valor ambiental: Dominio



## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

público hidráulico, riberas y zona de policía de cauces (100 m). Superficies con vegetación natural arbórea o arbustiva o con forestaciones. Hábitat de protección especial. Dolinas u otros elementos geomorfológicos de protección especial. Lugares de la Red Regional de Áreas Protegidas. Yacimientos arqueológicos y bienes de interés cultural. Vías pecuarias, montes públicos y montes en régimen de consorcio o convenio. Suelo rústico no urbanizable protegido por la normativa municipal. Superficies que constituyan hábitat para especies amenazadas. Lugares muy visibles desde vías de comunicación o núcleos urbanos.

Para minimizar la ocupación de suelo por las obras y elementos auxiliares, se emplearán como zona de acopio y de parque de maquinaria las explanadas de las cámaras de carga y edificios de las centrales, así como para el tendido eléctrico los puntos de inicio y de final. En el parque de maquinaria o zonas de acopios se establecerá una zona habilitada para efectuar las operaciones de mantenimiento susceptibles de generar algún tipo de residuo peligroso, que serán gestionados de acuerdo con la normativa específica aplicable y a través de gestores autorizados.

Los residuos procedentes de demoliciones de obra civil se aprovecharán como relleno. Se habilitará igualmente una zona específica para el almacenamiento temporal de los residuos inertes generados en la obra en condiciones ambientalmente seguras, antes de darles destino definitivo.

Al inicio del movimiento de tierras sobre las zonas que van a ser ocupadas, se retirará y acopiará por separado la tierra vegetal, en caballones de hasta 1,5 m de altura y por periodos de no más de tres meses. Si el tiempo de acopio tuviese que ser superior, se sembrarían los acopios con especies tapizantes y enriquecedoras para mantener las propiedades del suelo. Tras las obras, se procederá a su extendido sobre las zonas a restaurar. Estos acopios se mantendrán excluidos del paso de maquinaria. Tras las obras, todos los suelos temporalmente ocupados se restaurarán, incluido el suelo del vertedero de tierras sobrantes, salvo que el órgano competente para su autorización disponga lo contrario. Para la restauración, se retirarán todos los restos de obra existentes, y se regularizará y naturalizará su perfil topográfico.

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

En las zonas con pendientes apreciables se dispondrán sucesiones de pequeños banales para prevenir la erosión. Posteriormente, todo el suelo acondicionado se cubrirá con la tierra vegetal previamente reservada y se estabilizará mediante implantación de vegetación por siembra o plantación, siguiendo los criterios señalados por el apartado siguiente. Si del seguimiento ambiental se dedujese la existencia de fenómenos de erosión grave en alguna zona, incluidos los vertederos de tierras sobrantes, se elaborará y ejecutará un proyecto específico de corrección de dicho fenómeno. Los residuos producidos, y en particular los restos de lubricantes de engranajes de las turbinas se gestionarán por gestor autorizado y conforme a la normativa vigente.

**Vegetación:** Balizar todas las actuaciones que se lleven a cabo sobre terrenos ocupados por vegetación natural, para excluirlas de cualquier actuación en la fase de construcción y evitar daños innecesarios. No se construirá un nuevo camino entre el punto de toma y la central por la margen derecha del A.T.S., debiendo emplear para el acceso entre ambas partes el vial ya existente a lo largo de la margen izquierda del A.T.S., acondicionándolo si fuera preciso, por donde se colocará la tubería forzada.

El camino proyectado entre la cámara de carga de la rápida Terminal y la central se desplazará, preferiblemente aproximándolo hacia el A.T.S., para evitar su afección sobre unos grandes ejemplares de encina existentes en su traza. El trazado elegido para el tendido eléctrico y denominado se trazará de manera que evite o reduzca su afección sobre las siguientes áreas con vegetación natural valiosa.

**Fauna:** Los transformadores se proyectarán preferentemente en el interior de una instalación no accesible a las aves. Los elementos del transformador en tensión que se encuentren a la intemperie y que sean susceptibles de ser empleados por las aves como zona de posada deberán ser convenientemente aislados.

El proyecto de línea eléctrica se diseñará de acuerdo con las prescripciones y distancias de seguridad establecidas para evitar riesgos de electrocución sobre la avifauna establecidas por la normativa vigente. Estas distancias de seguridad entre

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

conductores u otros elementos en tensión y posibles zonas de posada se conseguirán exclusivamente mediante el empleo de materiales aislantes.

No se utilizarán pletinas metálicas conductoras para conseguir estas distancias. Para evitar colisiones, se instalarán dispositivos salvapájaros sobre los conductores y el cable de tierra, dispuestos al tresbolillo y a una distancia entre sí.

Con el objeto de evitar efectos negativos sobre las aves constatados a partir del seguimiento ambiental se dispondrá, entre la toma y la cámara de carga de la central de un dispositivo que permita la recuperación y el escape de la fauna terrestre que eventualmente haya caído al A.T.S. procedente de aguas arriba, y que pueda evitar su entrada en la conducción forzada y las turbinas.

Se materializará un cierre efectivo en el punto de toma y derivación del agua a reptiles, anfibios y mamíferos terrestres mediante sobreelevación del borde del canal desde el nivel del suelo hasta 50 cm., de altura, y disposición de malla enrejada de simple torsión desde esa altura hasta los 2 m.

Se dispondrá un paso específico para fauna terrestre que la facilite el cruce conjunto sobre el proyecto y sobre el A.T.S., en el tramo en que esta infraestructura linda con el encinar del denominado Cerro de la Cabeza, en las inmediaciones de la Central. La localización y diseño de este paso se realizarán de conformidad con las especificaciones del órgano autonómico competente en conservación de la naturaleza. El entorno de este paso, a un lado y a otro de las infraestructuras a franquear, debe naturalizarse mediante plantación de especies autóctonas que faciliten la necesaria cobertura a la fauna, configurando un corredor apropiado para el cruce.

**Vías pecuarias:** Para la ocupación temporal en obras y el sobrevuelo por la línea de las vías pecuarias, se obtendrán las autorizaciones requeridas por la Ley 9/2003, de 20 de marzo, de Vías Pecuarias de Castilla-La Mancha.

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

**Calidad paisajística:** Además de las medidas señaladas para la restauración de los terrenos afectados por el proyecto, el proyecto de la central incorporará un diseño arquitectónico adaptado a la tipología constructiva rural tradicional en la zona.

**Cese de actividad:** Tras el cese de actividad de las centrales, se procederá a la mayor brevedad a su desmantelamiento, así como al desmantelamiento del tendido eléctrico de evacuación. A tal fin, se requerirá la elaboración de un plan de desmantelamiento de las instalaciones, descontaminación, eliminación de residuos, y de restauración y revegetación de toda la zona afectada.

Tomando todas estas medidas protectoras, correctoras o compensatorias, la matriz de causa-efecto quedaría de la manera siguiente:

Factores del medio	Acciones												
	Fase de ejecución						Fase de explotación					Fase desmantelamiento	
	Terreno ocupado	Carga y transporte	Emisiones contaminantes	Toma y Cámara de carga	Colocación tubería	Casa de maquinas	Canal de descarga	Punto de toma	Casa de maquinas	Tendido eléctrico	Emisiones contaminantes	Canal de descarga	Cese de la actividad
Suelo	-4	-5	-5	-4	-5	-5	-5						-5
Monte y vías pecuarias	-5	-5	-4						-1	-3	-2		
Hidrología superficial					-5		-3	-4				3	4
Calidad del aire		-5	-5		-2	-4	-2				-5		
Vegetación	-4	-3	-3	-1	-2	-3	-4	-1		-3	-2		-4
Fauna	-3	-3	-4	-2			-3	-4		-5	-3	-2	
Calidad paisajística	-4		-5						-4		-5		-4
Visibilidad	-3	-2		-3	-1	-4	-2	-2	-3	-3		-2	-5
Cultural	-2					4	6		7	-2			-5
Actividades económicas	2	4		2	4	3	3		4	8			-5

*Ilustración 14. Matriz de factores ambientales y acciones para estimar el impacto tras la toma de medidas ambientales*

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

Se puede observar en esta nueva tabla que las medidas han conseguido reducir la agresividad de la mayoría de los impactos. No habrá ningún impacto crítico y podría decirse que desde el punto de vista medioambiental el proyecto es compatible.

En consecuencia, se puede observar en esta nueva tabla que las medidas han conseguido reducir la agresividad de la mayoría de los impactos. No habrá ningún impacto crítico y podría decirse que desde el punto de vista medioambiental el proyecto es compatible. La declaración de impacto ambiental es favorable a la realización del proyecto concluyendo que siempre y cuando que se cumplan las condiciones anteriormente señaladas, que se han deducido del proceso de evaluación, quedará adecuadamente protegido el medio ambiente y los recursos naturales.

## **2.7.5 Seguimiento ambiental.**

El estudio de impacto ambiental debe contener un Programa de Vigilancia Ambiental para el seguimiento y control de los impactos y de la eficacia de las medidas protectoras y correctoras establecidas. Asimismo, se propone la realización de informes ante cualquier situación que pueda suponer riesgo de deterioro de cualquier factor ambiental, caracterización de impactos no identificados inicialmente y adopción de las medidas correctoras no previstas.

El programa de vigilancia ambiental se completará con las actividades de seguimiento del cumplimiento y efectos de las nuevas medidas incluidas en la presente declaración de impacto. En particular, se completará con:

- 1- El seguimiento durante la vida útil de la instalación de la mortalidad de aves en el tendido eléctrico por electrocución y por colisión, asegurando la prospección durante el periodo de migración e invernada de las aves acuáticas, y de la grulla común. Dicho seguimiento se basará en la búsqueda de posibles cadáveres u otros restos de aves en una franja de al menos 50 m de anchura a cada lado.
- 2- El seguimiento de posibles fenómenos erosivos en las zonas con pendientes pronunciadas afectados por el proyecto.

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

- 3- Seguimiento de la efectividad de los dispositivos de paso, de interdicción de paso y de salvamento de la fauna terrestre adoptados.

### **PARTE III. CONCLUSIONES Y REFERENCIAS**

Actualmente existen dos temas que condicionan en gran medida el desarrollo de proyectos de este tipo: los precios de compra de la electricidad por parte de los distribuidores y la necesidad de una energía reversible con más turbinas flexibles y menos grandes obras.

Por otro lado, el tema que más influencia tiene sobre la rentabilidad del proyecto es el precio pagado por la energía producida, este precio está regulado por el gobierno. No obstante, en España, si se conceden las autorizaciones administrativas y se cumple con la normativa, las compañías eléctricas están obligadas por ley a comprar la electricidad generada por los productores.

La realización de este estudio ha considerado las principales variables intervinientes en el desarrollo del proyecto: las características del terreno, los accesos y el espacio disponible, la topografía, el emplazamiento, el aprovechamiento de infraestructuras existentes, los recursos hidrológicos disponibles, el tipo de explotación, los distintos trazados, la ubicación el dimensionamiento y el diseño de las conducciones y estructuras necesarias, los sistemas de seguridad y control, la selección de equipos, la conexión a la red, el proceso constructivo y, en general, las distintas soluciones, evaluándolas desde un punto de vista técnico, económico y respetuoso con el medio ambiente.

En base a esto se puede concluir que aun siendo factible la ejecución del proyecto desde un punto de vista técnico, tendría que crearse un marco de procedimientos flexibles de autorización o concesión del derecho al uso del agua y un aumento de los precios de compra de la electricidad por parte de las empresas distribuidoras para que el proyecto se pudiera considerar viable.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

## Referencias

LUIS CUESTA DIEGO. –EUGENIO VALLARINO., Aprovechamientos hidroeléctricos, Tomo 1 y 2, Madrid 2015.

CELSO PENCHE., Manual de pequeña hidráulica, 1998.

VEN TE CHOW., Hidráulica de canales abiertos, 1959

NICO VAN DER WIJST., Finance, a quantitative introduction, Cambridge University Press, 2013.

A. R Inversin., Micro Hdropower SourceBook, NRCA,1986.

CÁSTOR JAVIER GARCÍA ALARCÓN., Saltos hidroeléctricos, conceptos básicos y aplicaciones, USA 2011.

[www.igme.es](http://www.igme.es).

[www.cedex.es](http://www.cedex.es).

[www.chj.es](http://www.chj.es).

[www.boe.es](http://www.boe.es)

[www.ign.es](http://www.ign.es).

[www.ine.es](http://www.ine.es)

[www.omie.es](http://www.omie.es)

[www.idae.es](http://www.idae.es)

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

[www.cype.es](http://www.cype.es)

[www.five.es](http://www.five.es).

[www.chminosil.es](http://www.chminosil.es)

[www.ribloc.es](http://www.ribloc.es)

[www.hawsedc.com](http://www.hawsedc.com)

[www.victoryepes.blogs.upv.es](http://www.victoryepes.blogs.upv.es)

[www.carreteros.org](http://www.carreteros.org)

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

### Máster Universitario en Caminos, Canales y Puertos



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



---

## TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

# ANEXOS AL TRABAJO FIN DE MÁSTER

***Autor:*** Soler Llopis, Andreu

***Tutor:*** Solera Solera, Abel

*curso 2020-2021*

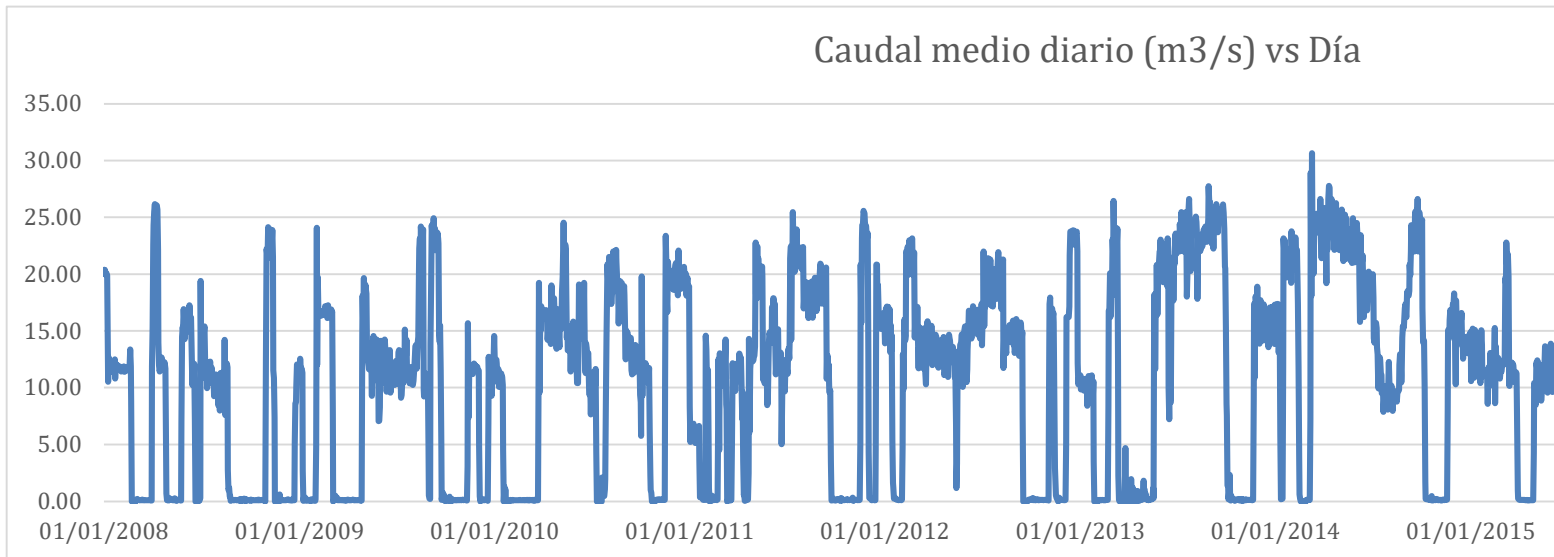
*Valencia, septiembre de 2021*

## Índice

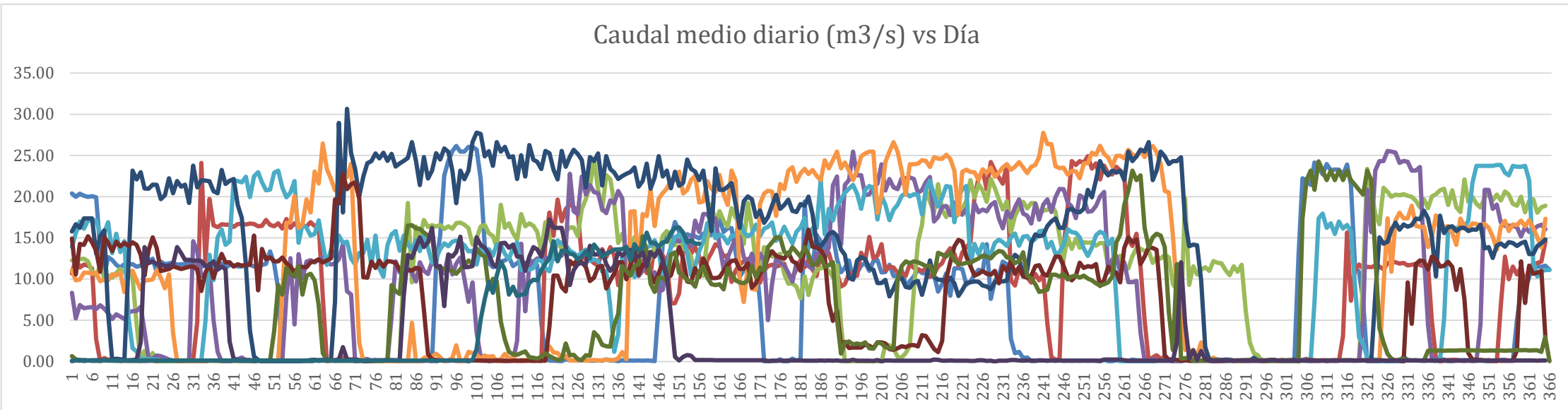
<b>ANEXO 1. Gráficos del Estudio Hidrológico en el ATS .....</b>	<b>3</b>
2.1 Caudales medios diarios (m <sup>3</sup> /s) al día durante los 10 años (2008-2018) .....	3
2.2 Caudales medio diarios (m <sup>3</sup> /s) al día desglosado por años (2008-2018) .....	4
2.3 Curva de caudales clasificados.....	5
2.4 Curva de caudales clasificados con los volúmenes útiles.....	6
2.5 Tabla de aumento de la producción (Hm <sup>3</sup> /año) con el volumen útil para tubinar .....	7
<b>ANEXO 2. Cálculos para el estudio de soluciones .....</b>	<b>9</b>
2.1 Sección de entrada (toma de agua) .....	9
2.2 Tubería forzada.....	10
2.2.1 Metodología de cálculo para estimar las pérdidas de carga.....	12
2.2.2 Espesor de la tubería .....	19
2.3 Cámara de carga.....	26
2.3.1 Volumen de almacenamiento.....	26
2.3.2 Dimensionamiento .....	31
2.4 Selección del tipo de turbina .....	34
2.4.1 Dimensionamiento .....	37
<b>ANEXO 3. Aprovechamiento Hidroeléctrico Regulado .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO 4. Descripción de las obras y mediciones .....</b>	<b>60</b>
2.1 Toma de agua .....	61
2.2 Sección de toma.....	61
- Movimiento de tierras.....	61
- Volumen de hormigón y armados .....	61
2.3 Cámara de carga.....	62
- Movimiento de tierras y superficie de impermeabilización.....	62
2.4 Canal del aliviadero .....	63
2.5 Tubería Forzada.....	63
- Movimiento de tierras.....	63
2.6 Reposición del vial .....	64
2.7 Edificio de la central .....	65
- Acondicionamiento del terreno.....	65
- Cimentaciones y estructura.....	65
- Elementos de protección.....	66
<b>ANEXO 5. Valoración económica.....</b>	<b>66</b>
2.1 Tabla de precios de la obra civil.....	66
2.2 Flujo de Caja.....	76
<b>ANEXO 6. RELACIÓN DEL TFM CON LOS ODS .....</b>	<b>81</b>
6.1 Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). 81	
6.2 Descripción de la alineación del TFM con los ODS con un grado de relación más alto. ....	82

## ANEXO 1. Gráficos del Estudio Hidrológico en el ATS

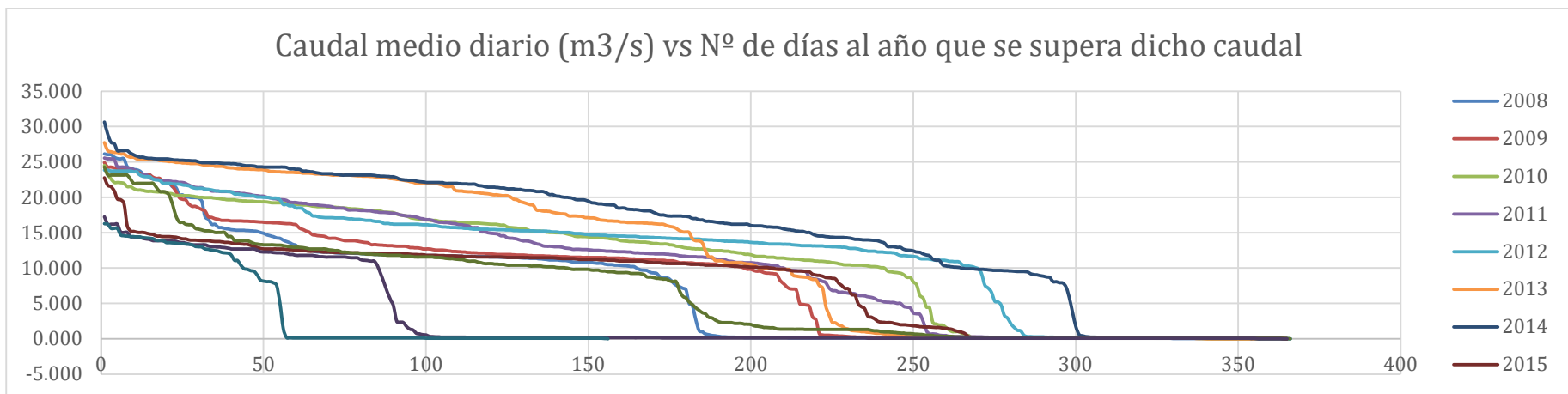
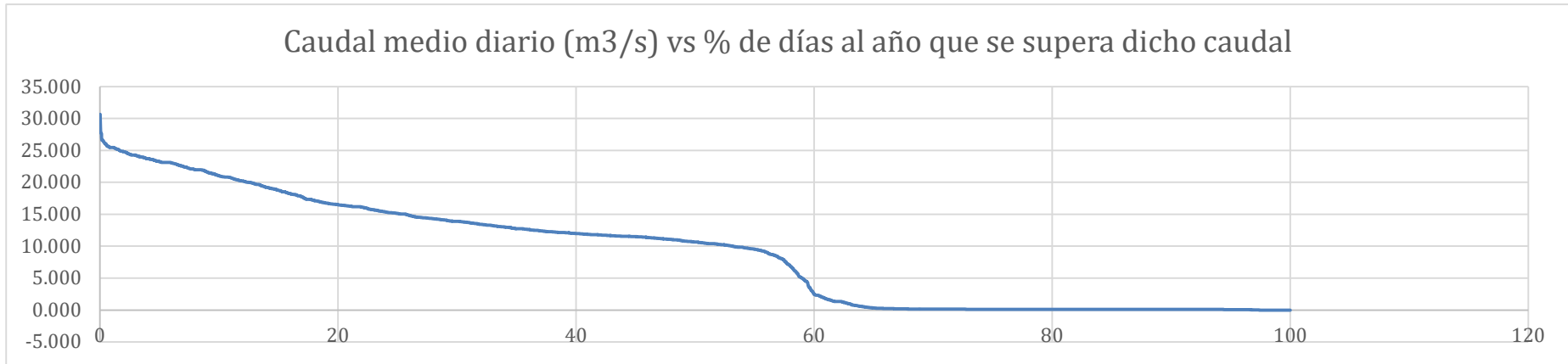
### 2.1 Caudales medios diarios (m<sup>3</sup>/s) al día durante los 10 años (2008-2015)



**2.2 Caudales medio diarios (m<sup>3</sup>/s) al día desglosado por años (2008-2018)**

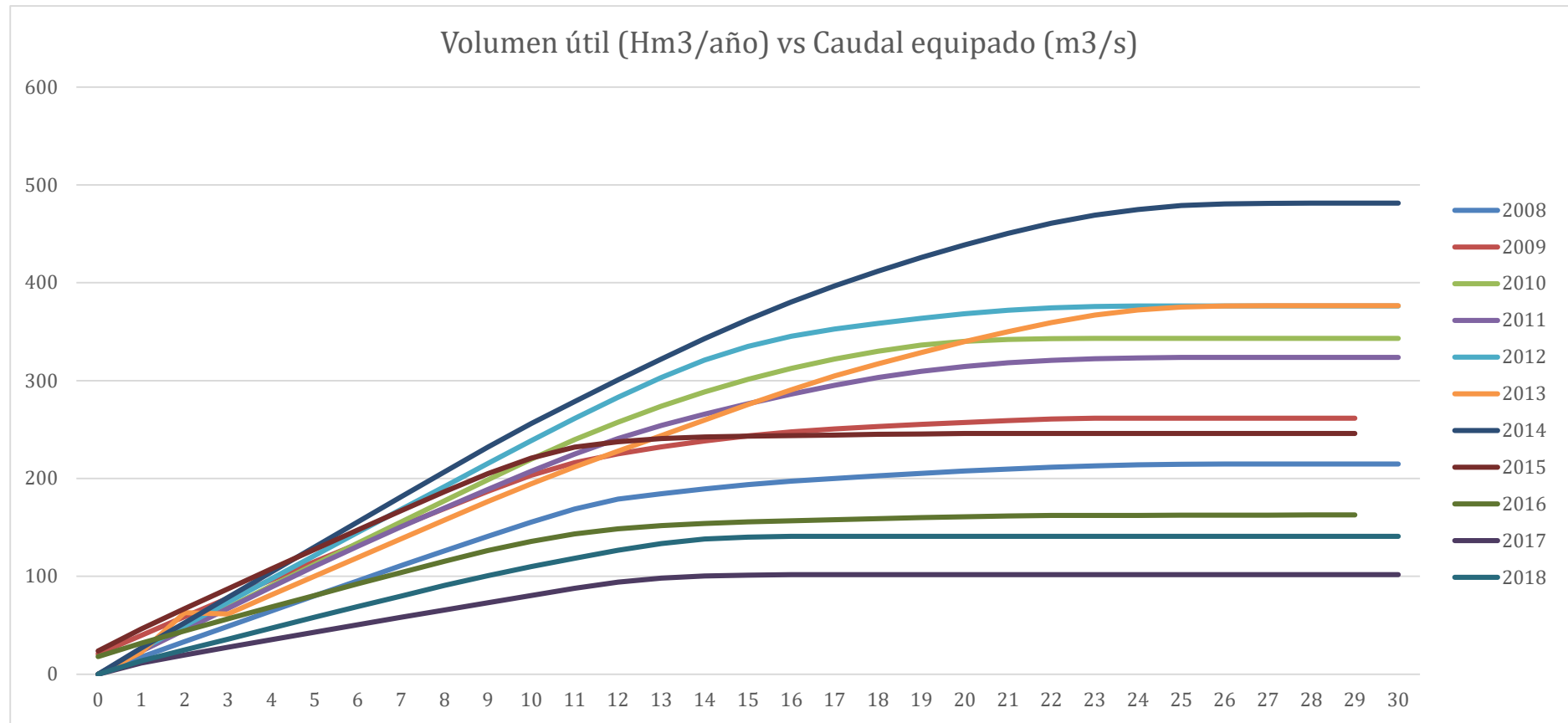


### 2.3 Curva de caudales clasificados





### 2.4 Curva de caudales clasificados con los volúmenes útiles



Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

**2.5 Tabla de aumento de la producción (Hm<sup>3</sup>/año) con el volumen útil para tubinar**

Caudal Equipado (m <sup>3</sup> /s)	Volumen útil 2008-2018 (Hm <sup>3</sup> /año)	Aumento de la producción (Hm <sup>3</sup> /año)
0	0	
1	21.477	21.477
2	40.922	19.444
3	59.882	18.961
4	78.684	18.801
5	97.382	18.699
6	115.886	18.504
7	134.238	18.352
8	152.412	18.174
9	170.294	17.882
10	187.607	17.313
11	203.646	16.039
12	217.681	14.035
13	229.251	11.569
14	239.272	10.021
15	247.861	8.59
16	255.337	7.476
17	261.702	6.364

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

18	267.176	
		5.475
19	272.067	
		4.89
20	276.337	
		4.271
21	279.916	
		3.579
22	282.835	
		2.918
23	285.046	
		2.212
24	286.494	
		1.448
25	287.277	
		0.783
26	287.592	
		0.315
27	287.676	
		0.084
28	287.71	
		0.034
29	287.726	
		0.016
30	287.734	

## **ANEXO 2. Cálculos para el estudio de soluciones**

En este documento se va a calcular todos los elementos necesarios para el aprovechamiento hidroeléctrico del estudio de soluciones. Desde la toma de agua, tubería forzada, cámara de carga hasta el diseño de la turbina. considerando los métodos de cálculo y diseño de cada elemento en cada alternativa propuesta en la Memoria.

El objetivo es justificar los resultados y seleccionar la solución que más se ajuste a las necesidades.

### **2.1 Sección de entrada (toma de agua)**

Utilizando la fórmula de Manning para una sección rectangular se puede expresar en función de la altura de este y el ancho de la solera:

$$Q = A * \frac{1}{n} * (R_h)^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

- Q (m<sup>3</sup>/s): La capacidad de la canal media para contemplar todas las posibles soluciones será de 15 m<sup>3</sup>/s.
- n (adimensional), Puesto que el material del canal será hormigón se tomará un valor de 0.015
- I (adimensional) se le dará una pendiente de 0.001 m/m
- B (m): Ancho de la solera de 3.20 m
- h (m); Altura de la lámina de agua

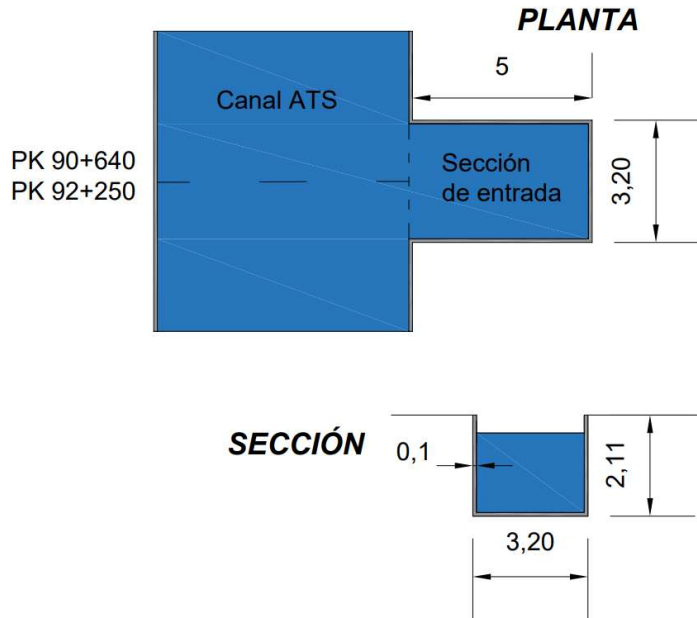
Sustituyendo:

$$15 = (B * h) * \frac{1}{0.015} * \left( \frac{(B * h)}{B + 2h} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}}$$

Para transportar el agua de manera segura, sin desbordamientos y bajo las condiciones descritas anteriormente y cumplimiento con un resguardo de 10 cm como mínimo, se selecciona la siguiente sección como geometría óptima para tener la capacidad suficiente, garantizando que no haya desbordamientos:

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Ancho de la base (m)	Altura del canal (m)
3.20	2.11



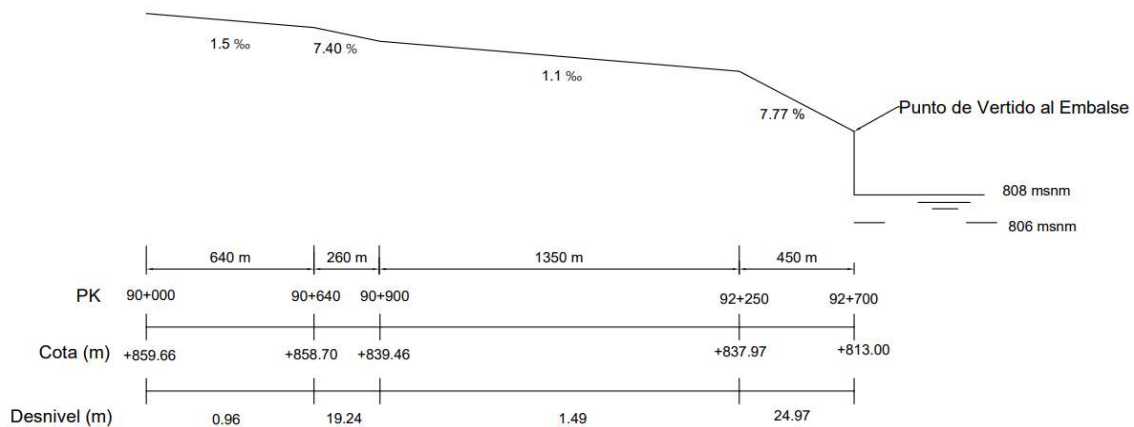
Puesto que el caudal de diseño será el mismo, se ha decidido hacer idéntico el canal a cielo abierto propuesto en el apartado anterior para todas las Alternativas propuestas en el Estudio de Soluciones. Pueden encontrarse los cálculos en este anejo.

## **2.2 Tubería forzada**

La topografía y el perfil longitudinal sobre el que se trabaja es el siguiente, observándose en planta la posición y en sección el perfil del canal y de las inmediaciones:



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.



**ALTERANTIVA 1. Central fluyente en la Primera Rápida:** La tubería irá enterrada en trinchera 1 m por debajo de la cota del terreno, aprovechando la rápida de Belmontejo de 260 m de longitud con una pendiente del 7.40 %, descendiendo desde la cota +858.70 hasta la 839.45 m. En este caso el trazado de la tubería será el mismo que el del vial existente en la margen derecha. Este vial será desplazado a la margen izquierda para efectuar las obras. Las labores de movimiento de tierras servirán para reutilizar los m<sup>3</sup> excavados en la ejecución de una sección de toma de agua, incorporando esta una reja para evitar el paso de cuerpos flotantes a la instalación hidroeléctrica. El proceso constructivo de la toma de agua se efectuará retirando el cajero lateral del trasvase del canal ATS en el PK 90+640 y en la creación de una explanada aguas abajo para la construcción del edificio de la central (casa de máquinas) a la cota 839.5 m, ya que la tubería se acoplará a la turbina, pasando por la parte inferior de la pared del edificio de la central.

**ALTERANTIVA 2. Central fluyente en la Segunda Rápida:** Esta solución se plantea también como la anterior, colocando la tubería en paralelo al trasvase, aprovechando el ancho del vial existente, el cual se deberá de demoler, para colocar la tubería 1 m debajo de la cota del terreno, desde el punto de la toma, en el PK 92+250, donde inicia la rápida terminal del ATS, para llegar hasta los 450 m aguas abajo a una pendiente del 7.77 %. Al llegar a la cota +813.00 se creará una explanada aprovechando como rellenos de material de tierras propias de la propia excavación que se efectúe para construir la tubería y retirar el vial.

**ALTERANTIVA 3. Central fluyente entre la Primera y Segunda Rápida:** En este planteamiento se pretende utilizar la longitud total de 2700 m desde el PK 90+640, a la

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

cota +858.70 m hasta llegar al punto de vertido con una cota de +813 m. En este caso se aprovechará el mismo punto de toma de agua que la Alternativa 1, y se llevará hasta la turbina como en la Alternativa 2. La obra lineal es más grande que las anteriores soluciones descritas, sin embargo, presenta un salto bruto de 46.66 m por lo que hace interesante considerar esta solución. El trazado de la tubería será lineal desde la toma hasta el punto de vertido del canal y no será enterrada, ya que los costes de movimiento de tierras serían considerables.

**ALTERNATIVA 4. Central Regulada en cada alternativa anterior:** Se considera esta alternativa como un planteamiento diferente el cual se basa en la operatividad del aprovechamiento. Se trata de la instalación de una central regulada en cada una de las anteriores alternativas (1, 2 y 3) para turbinar durante 20 h, 10 h, 8 h, 6, h y 4 h el caudal de equipamiento correspondiente. El procedimiento constructivo para este caso es el mismo dado que el emplazamiento de la tubería es la misma.

## **2.2.1 Metodología de cálculo para estimar las pérdidas de carga**

En primer lugar, se introducirá brevemente la formulación utilizada para la determinación de las pérdidas de carga, las cuales serán consideradas a la hora de establecer el diámetro de la tubería.

Al transportar fluidos por tuberías se generan esfuerzos de corte debido a la viscosidad de dicho fluido por lo que existe un roce con la tubería que se puede traducir en pérdidas de energía. Estas pérdidas de energía pueden ser continuas a lo largo de la tubería o localizadas provocadas por estrechamientos, válvulas, codos etc.<sup>1</sup>

Si  $\Delta H$  son las pérdidas totales en la tubería forzada, entonces se tiene que:

$$\Delta H = h_{\text{fricción}} + h_{\text{localizadas}}$$

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción se puede utilizar la fórmula de Darcy y Weisbach:

$$h_{\text{fricción}} = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * 9.81}$$

Las pérdidas localizadas vienen dadas por esta otra expresión, donde K es un coeficiente adimensional que depende del número de Reynolds y las características del elemento que se analice:

---

<sup>1</sup> Laboratorio N°4. Determinación de la Pérdida de Carga. Víctor Alfaro, Nedzad Junuzovic, Eduardo Luna.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

$$h_{localizadas} = \sum K * \frac{V^2}{2 * g}$$

Sumando las fórmulas y reagrupando términos se obtiene:

$$\Delta H = h_{friccion} + h_v + h_{entrada} + h_L = \left( f * \frac{L}{D} + \sum K \right) * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

- f (adimensional): Factor de fricción
- L (m) Longitud de la tubería
- D (m) Diámetro de la tubería
- V (m/s): Velocidad media
- g (9.81 m/s<sup>2</sup>): Constante de la gravedad

Según el manual de pequeña hidráulica<sup>2</sup>: Osborne Reynolds observó que, si la velocidad del agua en una tubería es suficientemente baja, el flujo tendrá un comportamiento laminar, la velocidad máxima se da en el centro del tubo, la distribución de la velocidad toma la forma de un paraboloides de revolución cuya velocidad media es el 50% del valor máximo en el eje del tubo. Si se aumenta la velocidad llega un momento en el que las partículas cercanas a la pared frenan a las que circulan a mayor velocidad por el interior, el flujo pasa a ser turbulento, y la distribución de velocidad es más plana. El punto de transición viene determinado por un número adimensional conocido como número de Reynolds, el cual relaciona las fuerzas inerciales con las fuerzas viscosas:

$$Re = \frac{D * V}{\nu}$$

Donde:

- D (m). Diámetro de la tubería
- V (m/s). Velocidad media
- $\nu$  (m<sup>2</sup>/s). Viscosidad cinemática

*Si  $Re < 2300$  Flujo Laminar*

*Si  $2300 < Re < 4000$  Transición*

---

<sup>2</sup> Celso Penche, Manual de Pequeña Hidráulica (1998), 25. (Versión actualizada de "Layman's Handbook on how to develop a Small Hydro Syte" publicado en 1993 por la Dirección General de Energía de la Comisión de las comunidades europeas).

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

*Si  $R_e > 4000$  Flujo Turbulento*

La pérdida de carga en régimen turbulento es siempre mayor que en régimen laminar. En un caso genérico se suele utilizar la fórmula de Colebrook-White para la obtención de  $f$ , el factor de fricción:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left( \frac{\frac{\text{Rugosidad absoluta}}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{R_e * \sqrt{f}} \right)$$

Para valores muy altos del número de Reynolds, el factor de fricción puede suponerse que depende exclusivamente de la rugosidad relativa (cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro), de tal manera que desaparece el segundo término de la ecuación anterior y puede utilizarse la siguiente fórmula deducida por Von Karman Nikuradse:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 * \log \left( \frac{\text{Rugosidad absoluta}}{D} \right)$$

Para tuberías completamente lisas, en las que la rugosidad absoluta es prácticamente 0, desaparece el primer término de la ecuación de Colebrook-White y puede utilizarse la siguiente fórmula deducida por Prandtl-Nikuradse:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left( \frac{2.51}{R_e * \sqrt{f}} \right)$$

En base a esta formulación se han obtenido las pérdidas para el rango del caudal de diseño y para cada diámetro de tubería considerado (Más adelante podrá verse como se aplican dichas fórmulas):

		Q (m3/s)	Diam. (m)	v (m/s)	L (m)	Sb (m)	hf (m)	hloc (m)	$\Delta H$ (m)	%	Sn (n)
FLUYENTE	A1	15	2,25	3,773	260	19,24	0,89942	0,7109	1,61	4,67	17,63
	A2	15	2,5	3,056	450	24,97	0,90893	0,4664	1,38	3,64	23,59
	A3	15	3	2,122	2700	46,66	2,15863	0,2847	2,44	4,63	44,22
REGULADA	A1	30	3	4,244	260	19,24	0,80840	0,8997	1,71	4,20	17,53
	A2	30	3,25	3,616	450	24,97	0,93029	0,4664	1,40	3,73	23,57
	A3	30	4	2,387	2700	46,66	1,93984	0,2847	2,22	4,16	44,44
	A1	40	3,25	4,822	260	19,24	0,94664	1,1613	2,11	4,92	17,13
	A2	40	3,5	4,158	450	24,97	1,12176	0,8634	1,99	4,49	22,98
	A3	40	4,5	2,515	2700	46,66	1,87173	0,3159	2,19	4,01	44,47
	A1	60	4	4,775	260	19,24	0,72828	1,1387	1,87	3,79	17,37
	A2	60	4,25	4,229	450	24,97	0,92472	0,8935	1,82	3,70	23,15

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

A3	60	5,25	2,772	2700	46,66	1,89118	0,3837	2,27	4,05	44,39
----	----	------	-------	------	-------	---------	--------	------	------	-------

A continuación, se muestran los cálculos y el razonamiento seguido para la determinación del diámetro de la tubería a partir del método empleado tanto para el caso de ser central fluyente como central regulada. Sin embargo, como el procedimiento es idéntico, se van a explicar los razonamientos para la central fluyente, dando a entender que se realizaría la misma operación para el caso de central regulada, solo que varía el caudal equipado ya que trabajará por puntas y por tanto turbinaría solo en un rango de horas al día.

### **Determinación del diámetro de la tubería limitando las pérdidas de fricción a un determinado porcentaje de la potencia bruta.**

Una manera de determinar el diámetro de la tubería es limitar las pérdidas de carga por fricción producidas a un determinado porcentaje potencia bruta. Se considera razonable un valor por debajo del 5%. A partir de la ecuación de Manning se tiene:

$$\frac{h_f}{L} = 10,3 * \frac{n^2 * Q}{D^{5.333}}$$

Siendo  $h_f$  las pérdidas por fricción, L la longitud de la tubería forzada, Q el caudal de diseño y D el diámetro de la tubería.

El procedimiento consiste en seleccionar valores diferentes de diámetro para estimar las pérdidas fricción asociadas que se producen, conociendo las condiciones de contorno de caudal, salto bruto, longitud de tubería necesaria y coeficiente de rugosidad.

Para el caso de central fluyente los datos son los siguientes:

- $h_f$  = Pérdidas de fricción (no superior al 5% del salto bruto)
- L {L1= 260 m; L2 = 450 m; L3 = 2700 m}
- $n = 0.012$  (coeficiente de rugosidad para acero soldado)
- $Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$

Despejando y teniendo en cuenta que las pérdidas de carga se limitarán a un valor por debajo del 5% del salto bruto, y que el salto bruto para las soluciones propuestas son  $A1 = 19.24 \text{ m}$ ,  $A2 = 24.97 \text{ m}$ ,  $A3 = 46.66 \text{ m}$ ; se tiene que los valores limitantes son:

$$19.24 \text{ m} * 5\% = 0.962 \text{ m}$$

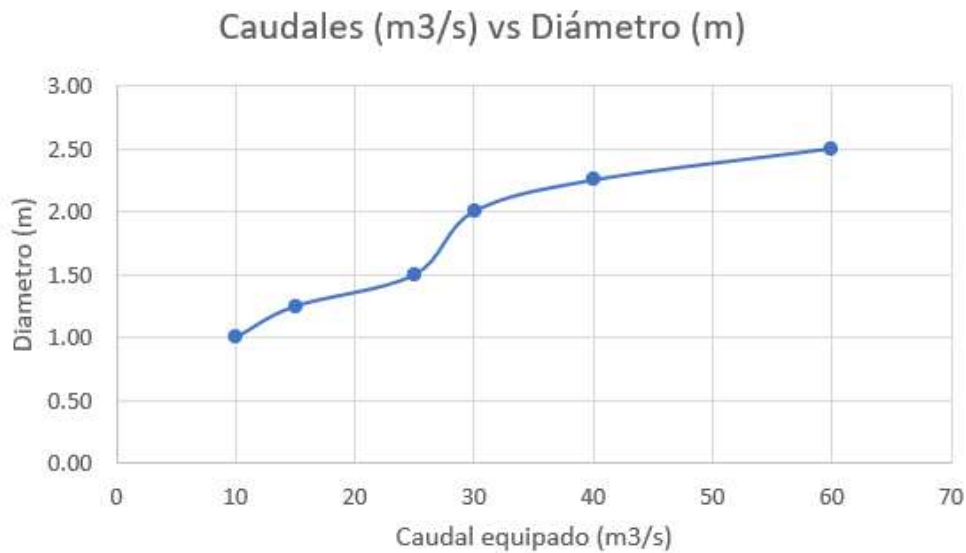
$$24.97 \text{ m} * 5\% = 1.25 \text{ m}$$

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

$$46.66 \text{ m} * 5\% = 2.333 \text{ m}$$

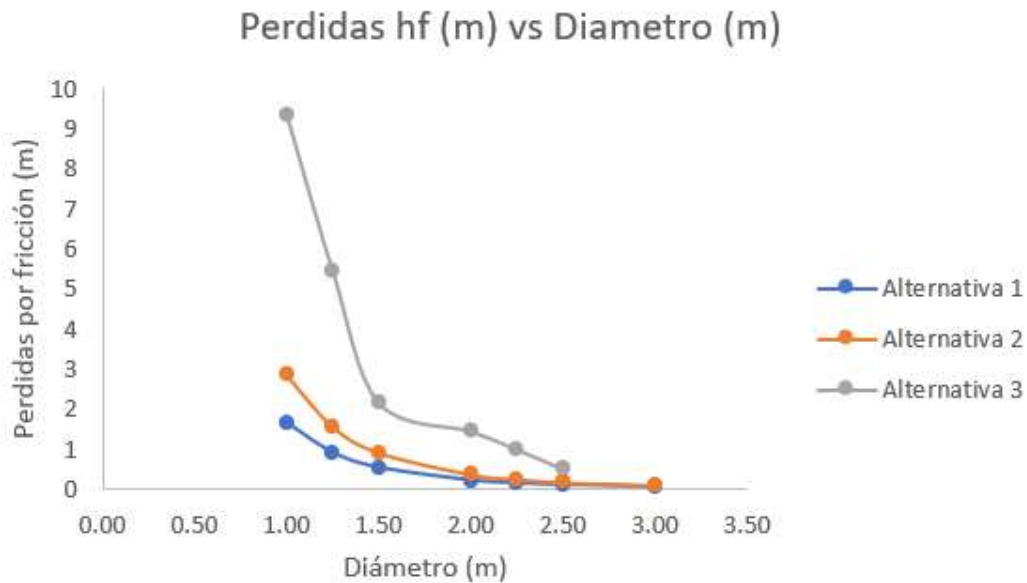
Si se observa la tabla anterior correspondiente a las pérdidas producidas en el caso de central fluyente, con un caudal de diseño de 15 m<sup>3</sup>/s, los resultados óptimos son aquellos que generan un diámetro de tubería para **Alternativa 1 de 2.25 m; Alternativa 2 con 2,50 m y Alternativa 3 con un diámetro de 3,00 m**. Elevar este diámetro no sería aconsejable ya que aumentarían los costes y además las alternativas 1 y 2 ofrecen longitudes de tubo relativamente pequeñas frente a la alternativa 3.

En el gráfico siguiente se tiene una primera versión sin considerar las pérdidas del diámetro de tubería que debería tener en función del caudal de diseño.



Si añadimos las pérdidas por fricción en la conducción, en el siguiente gráfico puede observarse cómo evolucionan las pérdidas de fricción con respecto al diámetro de la tubería.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.



A continuación, se calculan las pérdidas en la tubería forzada. Se tomará una viscosidad cinemática de  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  y una rugosidad absoluta de la tubería de 0,1 mm (correspondiente al acero), se tendrá en cuenta que el diámetro de la tubería calculadas para cada una de las soluciones y se supondrá que el caudal que fluye es de  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ . No hay que olvidarse que al tratarse de una central fluyente el valor de este caudal no será constante y oscilará entre 10 y  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ , con el objetivo de mostrar el procedimiento de cálculo se ha tomado un valor fijo.

Como el diámetro seleccionado en los 3 casos analizados es el mismo. Entonces:

$$Q = A * V$$

$$Q = \pi * r^2 * V$$

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{15}{\pi * \frac{2.25^2}{4}} = 3.772 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{15}{\pi * \frac{2.50^2}{4}} = 3.056 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_3 = \frac{Q}{A} = \frac{15}{\pi * \frac{3.00^2}{4}} = 2.122 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$R_{e1} = \frac{D * V}{\nu} = \frac{2.25 * 3.772}{1 * 10^{-6}} = 8488263.632 \gg 4000$$

$$R_{e2} = \frac{D * V}{\nu} = \frac{2.50 * 3.056}{1 * 10^{-6}} = 7639437.268 \gg 4000$$

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

$$R_{e3} = \frac{D * V}{\nu} = \frac{3.00 * 2.122}{1 * 10^{-6}} = 6366197.724 \gg 4000$$

Por lo tanto, se trata de flujo turbulento en todas las soluciones. Sustituyendo en la ecuación de Colebrook-White se tiene:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left( \frac{\left( \frac{0.1}{(D \text{ en } mm)} \right)}{3.7} + \frac{2.51}{R_e * \sqrt{f}} \right)$$

Iterando se obtiene el valor del factor de fricción f:

$$f_1 = 0.01073$$

$$f_2 = 0.01061$$

$$f_3 = 0.01045$$

Sustituyendo en la fórmula de Darcy y Weisbach se obtienen las pérdidas por fricción:

$$h_{f_1} = 0.01073 * \frac{260}{15} * \frac{3.772^2}{2 * 9.81} = 0.89942 \text{ m} < 0.962 \text{ m}$$

$$h_{f_2} = 0.01061 * \frac{450}{15} * \frac{3.056^2}{2 * 9.81} = 0.90893 \text{ m} < 1.250 \text{ m}$$

$$h_{f_3} = 0.01045 * \frac{2700}{15} * \frac{2.122^2}{2 * 9.81} = 2.15863 \text{ m} < 2.333 \text{ m}$$

Si el salto bruto para la alternativa 1 es de 19.24 m, las pérdidas por fricción tienen un valor del 4.67%, en la alternativa 2 el salto bruto es de 24.97 m y supone el 3.64 %; en la alternativa 3 el salto es de 46.66 m y las pérdidas por fricción no superan el 4.63 %, lo cual sería aceptable según el criterio establecido.

Para el cálculo de las pérdidas localizadas se tendrá en cuenta:

- 1) Se colocará una reja en la entrada a la cámara de carga, esta se ubicará en la pared del canal ATS, realizando una apertura lateral en cada Alternativa estudiada. La apertura tendrá unas dimensiones que permitan el paso del caudal de entrada de 15 m<sup>3</sup>/s, 10 m<sup>3</sup>/s y 25 m<sup>3</sup>/s.

Justo antes de que circule el agua a la tubería forzada, para el cálculo de las pérdidas debido a la rejilla dado que el agua al atravesar la rejilla se genera turbulencia y esta genera pérdidas de carga adicionales. Para considerarse se puede utilizar la fórmula de Kirchner:

$$h_L = K_t * \left( \frac{t}{b} \right)^{\frac{4}{3}} * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right) * \text{seno } \Phi$$

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Donde 't' es el espesor de la barra, 'b' es la separación entre barras. Las dimensiones de esta reja serán 0.5 pulgadas (0.0125 m) separadas 20 mm (0.02 m); 'V' es la velocidad de la corriente, 'g' es la constante de la aceleración y 'Φ' es el ángulo de la rejilla (45°). A efectos prácticos se supondrán un coeficiente K = 0.18 para el cálculo de las pérdidas en la entrada de la tubería a la salida de la cámara de carga, pasando por la rejilla.

- 2) Pérdida a través de las válvulas que se generan al paso del agua por una válvula tipo mariposa completamente abierta donde el coeficiente K es de 0.6. Sin embargo, la velocidad está relacionada con el diámetro seleccionado.

$$h_v = K * \frac{V^2}{2 * g}$$

- 3) Pérdida de carga a la entrada del tubo desde la cámara de carga es debida a una contracción del flujo. Dado que la sección transversal del depósito es muy grande en comparación con la del tubo, se puede considerar que el factor K sea de 0.2.

Por tanto:

$$h_{localizada_1} = \sum (0.18 + 0.2 + 0.6) * \frac{3.772^2}{2 * g} = 0.7109 \text{ m}$$

$$h_{localizada_2} = \sum (0.18 + 0.2 + 0.6) * \frac{3.056^2}{2 * g} = 0.4664 \text{ m}$$

$$h_{localizada_3} = \sum (0.18 + 0.2 + 0.6) * \frac{2.122^2}{2 * g} = 0.2249 \text{ m}$$

Resumiendo:

$$\Delta H_1 = h_{fricción} + h_{localizadas} = 0.89942 + 0.7109 = 1.61 \text{ m}$$

$$\Delta H_2 = h_{fricción} + h_{localizadas} = 0.90893 + 0.4664 = 1.38 \text{ m}$$

$$\Delta H_3 = h_{fricción} + h_{localizadas} = 2.15863 + 0.2249 = 2.44 \text{ m}$$

### 2.2.2 Espesor de la tubería

El espesor de pared se calcula para resistir la máxima presión hidráulica interna incluido:

- El golpe de ariete: Cuando se produce un cambio brusco de régimen en la tubería debido por ejemplo al cierre de una válvula, la fuerza generada por el cambio de



## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

velocidad de la masa del agua puede producir un incremento de presión en el tubo. A esta onda de presión se le conoce como golpe de ariete y puede ocasionar el colapso por sobrepresión o aplastamiento por vacío.

- En tuberías metálicas hay que tener en cuenta los esfuerzos inherentes. Esto es porque en general las tuberías forzadas en acero se conciben como una serie de tramos rectos apoyados en unos pilares y anclados sólidamente. En tuberías de plástico puesto que no se elevan sobre el terreno no hace falta considerar dichos esfuerzos.

El espesor de una tubería es función de la presión interna, la carga de rotura, el límite elástico del material escogido y del diámetro. En una tubería de acero soldado como la que se pretende instalar, el espesor de la pared se calcula con arreglo de la siguiente ecuación:

$$e = \frac{P_i}{2 * \sigma_f * K_f} + e_s$$

- $e_s$ : Es un sobreepesor de 1 mm (o 2 mm en los codos) para compensar los efectos de la corrosión.
- $P_i$ : Presión a la que está sometida la tubería
- $K_f$ : Es un factor de eficiencia de la soldadura, en la actualidad se tiende a utilizar un factor de eficiencia  $K_f = 1$ , ya que, en cualquier caso, las soldaduras de las tuberías en presión deben estar debidamente realizadas y controladas.
- $\sigma_f$ : resistencia a la tracción

También habrá que tener en cuenta que se necesita un espesor mínimo para poder manipular los tubos en obra sin que se deformen. En centrales con gran altura puede resultar económico utilizar, en función de la carga hidráulica, tuberías del mismo diámetro interno, pero con diferentes espesores, en el caso de estudio, se utilizará un mismo espesor para toda la tubería pues el salto no es de gran altura.

A continuación, se calcula la sobrepresión generada por el golpe de ariete. El cálculo correcto de la sobrepresión en tuberías es fundamental a la hora de dimensionar ya que puede evitar accidentes como la rotura o el aplastamiento de la tubería y ahorrar costes evitando sobredimensionamientos. Estos son los datos de partida:

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Solución	Longitud (m)	Diámetro (m)	Qequip (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	Salto bruto (m)
Alternativa 1	260.00	2.25	15	3.772	19.24
Alternativa 2	450.00	2.50	15	3.056	24.97
Alternativa 3	2700	3.00	15	2.122	46.66

A continuación, se calcula la sobrepresión debida al golpe de ariete: Lo primero será suponer un espesor de la pared de 6 mm para el cálculo de la velocidad de la onda y más adelante se comprobará si es suficiente, de no ser así se repetirán los cálculos:

$$c = \sqrt{\frac{10^{-3} * K}{1 + \frac{K * D}{E * t}}}$$

Dónde:

-t (Espesor de pared) = 6 mm.

-K (Módulo de elasticidad del agua) =  $2,1 \times 10^9 \text{ N/m}^2 = 2100 \text{ N/mm}^2$

-D (Diámetro interno de la tubería) = {2250; 2500; 3000} mm

-E (Módulo de elasticidad para el acero) =  $2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2 = 210000 \text{ N/mm}^2$

Sustituyendo para cada solución dan los siguientes resultados:

$$c = \sqrt{\frac{2.1 * 10^9 * 10^{-3}}{1 + \frac{2.1 * 10^9 * D}{2.1 * 10^{11} * 6}}} \rightarrow c = \{664,91; 637,54; 594,61\} \text{ m/s}$$

El valor del tiempo de parada influye en el golpe de ariete de modo que, a menor tiempo, mayor golpe. Se debe no sólo al cierre de las válvulas, sino también al paro del motor que acciona a la bomba de la conducción y por consiguiente siempre tendremos la obligación de su cálculo. El valor del tiempo de parada viene expresado por una fórmula empírica, que expresa el tiempo en segundos. Se utilizará la fórmula de Mendiluce:

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

$$t_p = C_1 + C_2 * \frac{L * v}{g * H_m}$$

$C_1$  y  $C_2$  son constantes empíricas y se estimarán utilizando las tablas de los apuntes de la asignatura de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Politécnica de Valencia "Tema 6, Transitorios hidráulicos en presión".  $C_1$  depende de  $H_m/L$  en porcentaje, y su valor varía entre 1 y 0. Dónde, " $H_m$ " es la altura manométrica y " $L$ " la longitud de la tubería, por lo tanto:

$$\frac{H_m}{L} * 100 = \frac{17.63}{260} * 100 = 6.78 < 10$$

$$\frac{H_m}{L} * 100 = \frac{23.59}{450} * 100 = 5.24 < 10$$

$$\frac{H_m}{L} * 100 = \frac{44.22}{2700} * 100 = 1.63 < 10$$

$H_m/L$ (%)	10	20	25	30	35	40
$C_1$	1	1	0.8	0.5	0.4	0

Se tomará en todos los casos un valor de  $C_1 = 1$ .

Para el cálculo de  $C_2$  se usará la siguiente tabla

$L$ (m)	<500	500	500 - 1500	1500	>1500
$C_2$	2	1.75	1.50	1.25	1

$C_2$  depende únicamente de la longitud  $L$ , y varía entre 2 y 1. Puesto que la longitud de la tubería es para la Alternativa 1 <500 m, el valor correspondiente según las tablas empíricas proporcionadas en los apuntes nos indica que  $C_2=2$ . La Alternativa 2 es inferior a 500 m, por lo que  $C_2 = 2$  y en la Alternativa 3 la longitud es superior a 1500 m, correspondiendo una  $C_2 = 1$ . La velocidad en el interior de la tubería es:

$$V_{0_1} = \frac{Q}{A} = \frac{15}{\pi * \frac{2.25^2}{4}} = 3.773 \frac{m}{s}$$

$$V_{0_2} = \frac{Q}{A} = \frac{15}{\pi * \frac{2.50^2}{4}} = 3.056 \frac{m}{s}$$

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

$$V_{03} = \frac{Q}{A} = \frac{15}{\pi * \frac{2.25^2}{4}} = 2.122 \frac{m}{s}$$

Sustituyendo en la fórmula de Mendiluce:

$$t_{p1} = 1 + 2 * \frac{260 * 3.773}{g * 17.63} = 12.34 \text{ segundos}$$

$$t_{p2} = 1 + 2 * \frac{450 * 3.056}{g * 23.59} = 12.88 \text{ segundos}$$

$$t_{p3} = 1 + 1 * \frac{2700 * 2.122}{g * 44.22} = 14.21 \text{ segundos}$$

Ahora se comprueba el tipo de cierre:

- Si  $t_c \geq \frac{2*L}{a}$  se trata de un cierre lento y utilizaremos la fórmula de Michaud para el golpe de ariete.
- Si  $t_c < \frac{2*L}{a}$  se trata de un cierre rápido y emplearemos la fórmula de Allievi.

Puesto que:

$$\frac{2 * 260}{637.54} = 0.72 \text{ segundos} \rightarrow 12.34 \gg 0.72$$

$$\frac{2 * 450}{664.91} = 1.41 \text{ segundos} \rightarrow 12.88 \gg 1.41$$

$$\frac{2 * 2700}{664.91} = 9.13 \text{ segundos} \rightarrow 14.21 \gg 9.13$$

En todas las alternativas se trata de un cierre lento. Ahora se realiza la comprobación con la longitud crítica, esta es la distancia a partir de la cual el golpe de ariete no crece con la longitud del conducto.

$$L_{cr1} = \frac{a * t_p}{2} = \frac{637.54 * 9.42}{2} = 3002.81 \text{ m} \rightarrow L = 260 \text{ m}$$

$$L_{cr2} = \frac{a * t_p}{2} = \frac{664.91 * 14.86}{2} = 4940.28 \text{ m} \rightarrow L = 450 \text{ m}$$

$$L_{cr3} = \frac{a * t_p}{2} = \frac{664.91 * 23.26}{2} = 7732.90 \text{ m} \rightarrow L = 2700 \text{ m}$$

En todos los casos  $L < L_{cr}$

Luego se tiene una conducción corta. Por lo tanto, puesto que se trata de un cierre lento, se utiliza la fórmula de Michaud para la obtención del golpe de ariete:

$$\Delta h = \pm \frac{2 * L}{g} * \frac{v}{t_c}$$

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

$$\Delta h_1 = \pm \frac{2 * 260}{9.81} * \frac{3.773}{12.34} = 16.20 \text{ m}$$

$$\Delta h_2 = \pm \frac{2 * 450}{9.81} * \frac{3.056}{12.88} = 21.76 \text{ m}$$

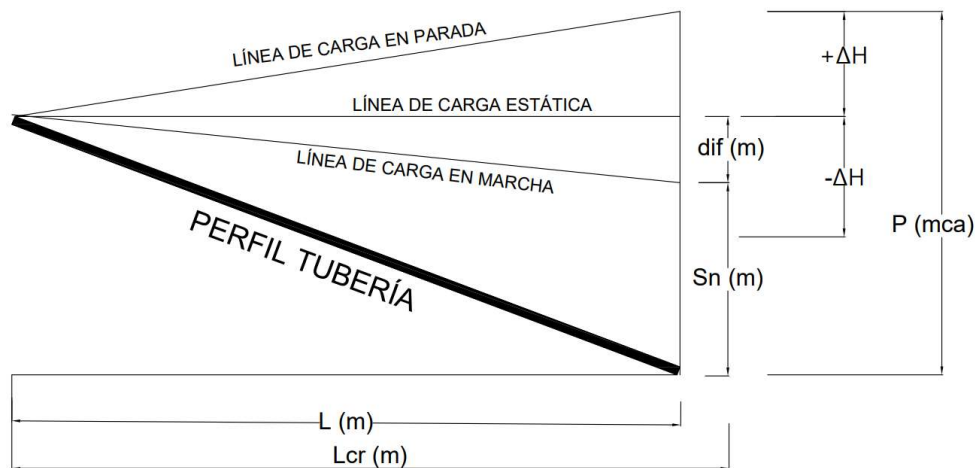
$$\Delta h_3 = \pm \frac{2 * 2700}{9.81} * \frac{2.122}{14.21} = 82.21 \text{ m}$$

La presión máxima soportada por la tubería es la suma de la presión estática más el golpe de ariete:

$$P_{\max\_1} = P_{estatica} + P_{golpe\ ariete} = 19.24 + 33.83 = 33.83 \text{ mca} = 3.45 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\max\_2} = P_{estatica} + P_{golpe\ ariete} = 24.97 + 21.76 = 45.36 \text{ mca} = 4.62 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_{\max\_3} = P_{estatica} + P_{golpe\ ariete} = 46.66 + 82.21 = 126.43 \text{ mca} = 12.89 \text{ Kg/cm}^2$$



El espesor de una tubería es función de la presión interna, la carga de rotura, el límite elástico del material escogido y del diámetro. En una tubería de acero soldado como la que se pretende instalar, el espesor de la pared se calcula con arreglo de la siguiente ecuación:

$$e = \frac{P_i * D}{2 * \sigma_f * K_f} + e_s$$

- $e_s$ : Es un sobreespesor de 1 mm (o 2 mm en los codos) para compensar los efectos de la corrosión.
- $P_i$ : Presión a la que está sometida la tubería
- $K_f$ : Es un factor de eficiencia de la soldadura, en la actualidad se tiende a utilizar un factor de eficiencia  $K_f = 1$ , ya que, en cualquier caso, las soldaduras de las tuberías en presión deben estar debidamente realizadas y controladas.
- $\sigma_f$ : resistencia a la tracción

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

También habrá que tener en cuenta que se necesita un espesor mínimo para poder manipular los tubos en obra sin que se deformen. En centrales con gran altura puede resultar económico utilizar, en función de la carga hidráulica, tuberías del mismo diámetro interno, pero con diferentes espesores, en el caso de estudio se utilizará un mismo espesor para toda a tubería pues el salto no es de gran altura. Tomando un valor de referencia de  $\sigma = 1730 \text{ kg/cm}^2$  para el acero, entonces:

$$e_1 = \frac{P \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * D \text{ (mm)}}{2 * \sigma \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * 1} + 1 = \frac{3.45 * 2250}{2 * 1730 * 1} + 1 = 3.24 \text{ mm}$$

$$e_2 = \frac{P \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * D \text{ (mm)}}{2 * \sigma \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * 1} + 1 = \frac{4.62 * 2500}{2 * 1730 * 1} + 1 = 4.34 \text{ mm}$$

$$e_3 = \frac{P \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * D \text{ (mm)}}{2 * \sigma \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * 1} + 1 = \frac{12.89 * 3000}{2 * 1730 * 1} + 1 = 12.17 \text{ mm}$$

Luego para unas tuberías de acero con unos espesores de 6 mm y de 12 mm, por ejemplo, es suficiente como para resistir la sobrepresión.

Por lo tanto, los resultados finales se recopilan en la siguiente tabla resumen:

	L	D	Qeq	V	Sn (m)	c (m/s)	tp (s)	tc (s)			Lcr	$\Delta H$	P (mca)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	e (mm)
A1	260	2,25	15	3,773	17,63	664,91	12,34	0,78	tp>tc	Cierre lento	4103,47	16,20	33,83	3,45	3,24
A2	450	2,5	15	3,056	23,59	637,54	12,88	1,41	tp>tc	Cierre lento	4106,29	21,76	45,36	4,62	4,34
A3	2700	3	15	2,122	44,22	591,61	14,21	9,13	tp>tc	Cierre lento	4203,06	82,21	126,43	12,89	12,17
A1	260	3,00	30	4,244	17,53	591,61	13,83	0,88	tp>tc	Cierre lento	4091,56	16,26	33,80	3,45	3,99
A2	450	3,25	30	3,616	23,57	572,08	15,07	1,57	tp>tc	Cierre lento	4311,75	22,01	45,58	4,65	5,36
A3	2700	4,00	30	2,387	44,44	523,37	15,79	10,32	tp>tc	Cierre lento	4131,16	83,24	127,68	13,01	16,05
A1	260	3,25	40	4,822	17,13	572,08	15,92	0,91	tp>tc	Cierre lento	4553,33	16,06	33,19	3,38	4,18

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

A2	450	3,50	40	4,158	22,98	554,36	17,59	1,62	tp>tc	Cierre lento	4876,87	21,68	44,66	4,55	5,61
A3	2700	4,50	40	2,515	44,47	497,05	16,57	10,86	tp>tc	Cierre lento	4116,83	83,58	128,05	13,05	17,98
A1	260	4,00	60	4,775	17,37	523,37	15,57	0,99	tp>tc	Cierre lento	4073,89	16,26	33,63	3,43	4,96
A2	450	4,25	60	4,229	23,15	509,70	17,76	1,77	tp>tc	Cierre lento	4526,12	21,85	45,00	4,59	6,63
A3	2700	5,25	60	2,772	44,39	464,10	18,19	11,64	tp>tc	Cierre lento	4220,25	83,89	128,27	13,08	20,84

### **2.3 Cámara de carga**

#### **2.3.1 Volumen de almacenamiento**

Si se conecta la cámara de carga directamente en el lateral del canal ATS, se deberá plantear la toma como una apertura en el canal que permita introducir el agua directamente hasta llenarse.

La cámara de carga se diseñará de modo que su volumen sea suficiente como para almacenar el caudal que sigue entrando en el canal, entre la parada de las turbinas y el cierre total de la toma, y el volumen de agua existente en el canal por encima de la elevación máxima normal de la cámara de carga (nivel elástico).

Como se pretende dar continuidad inmediata, no será necesario estimar cuánto tiempo tarda una partícula de agua en llegar desde la toma hasta la cámara de carga, sin embargo, si se calculará para el caso de central regulada, el volumen necesario para almacenar la cantidad de agua que circula durante el tiempo de llenado, mientras la central no trabaja.

Para cada alternativa se comenzará calculando la altura normal asociada al canal existente ya que se deberá de realizar una apertura de entrada en el punto de toma a la que llamaremos sección de toma, se empleará para ello la ecuación de Manning. En segundo lugar, se calculará la velocidad normal correspondiente a dicha altura.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1}{n} * (R_h)^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

Puesto que el rango del caudal de diseño es 10-25 m<sup>3</sup> /s, se diseñará la cámara de carga para un caudal de 15 m<sup>3</sup>/s en el caso de central fluyente y para central regulada se analizarán caudales de 10 y 25 m<sup>3</sup>/s para un rango de operatividad de 8, 6

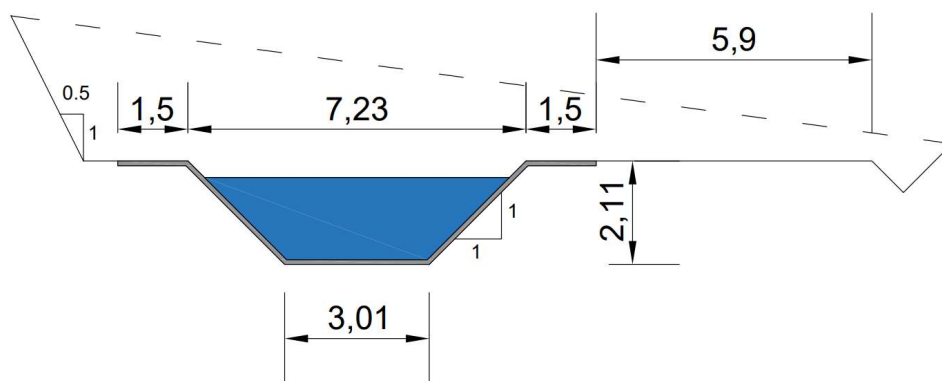


# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

y 4 h cuando es de 10 m<sup>3</sup>/s y cuando es de 25 m<sup>3</sup>/s entre 10 y 20 h, por lo que el caudal a turbinar serían 30, 40 y 60 m<sup>3</sup>/s.

Finalmente se escogerá el diseño que implique un mayor volumen de almacenaje. Resulta difícil predecir cuál de los caudales de equipamiento implica un mayor volumen de almacenaje, puesto que por un lado cuanto más agua circule, menos tiempo tardará dicha agua en llegar a la cámara de carga, y siguiendo el criterio de diseño descrito al inicio, cuanto menos tarde el agua en llegar a la cámara, menos agua tendrá que almacenar. Por otro lado, cuanto más agua circule, dicha cámara de carga se llenará más rápidamente.

De manera preliminar se debe conocer la geometría que tiene el canal ATS. Todo el canal se encuentra en sección abierta, se trata de un canal de hormigón de sección trapezoidal cuyas variables geométricas son el ancho de la base (b) de 3.01 m, la pendiente del talud lateral del canal (z) de valor 1 y 2.11 m de altura. La pendiente es variable en sentido longitudinal y esta sección se encuentra en los tramos de PK 90+000 a PK 90+640 y PK 90+900 a PK 92+250.



Al conocerse la altura de 2.11 m, esta es la medida que va a condicionar la apertura del canal para permitir el paso del agua y conducir las partículas hasta la cámara de carga.

Se comenzarán los cálculos suponiendo un caudal constante de entrada de 15 m<sup>3</sup>/s. En función de la altura normal asociada al canal  $hn$ , la expresión anterior queda de la siguiente manera, a partir de la fórmula de Manning para una sección rectangular y expresando en función de la altura del canal y ancho de la solera:

$$Q = A * \frac{1}{n} * (R_h)^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

- $Q(\text{m}^3/\text{s}) = 15 \text{ m}^3/\text{s}$
- $n$  (adimensional) Puesto que el material del canal será de hormigón, se tomará un valor de 0.015
- $I$ (adimensional) = 0.001 m/m
- $z$  (talud pared vertical) =  $1H/1V=1$
- $B$  (ancho solera) = 3.20 m
- $h$  (m) Altura de la lámina de agua

Sabiendo que el área y el radio hidráulico son:

$$A = B * h$$
$$R_h = \frac{B * h}{B + 2h}$$

Sustituyendo a la anterior ecuación con los caudales de entrada posibles:

$$15 = (3.20 * h) * \frac{1}{0.015} * \left( \frac{3.20 * h}{3.20 + 2 * h} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} \rightarrow h = 2.31 \text{ m}$$

$$10 = (3.20 * h) * \frac{1}{0.015} * \left( \frac{3.20 * h}{3.20 + 2 * h} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} \rightarrow h = 1.69 \text{ m}$$

$$25 = (3.20 * h) * \frac{1}{0.015} * \left( \frac{3.20 * h}{3.20 + 2 * h} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.001^{\frac{1}{2}} \rightarrow h = 3.48 \text{ m}$$

La velocidad del agua que entra en por la cámara de carga en cada caso de entrada de caudal es de:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{15}{(3.2 * 2.31)} = 2.03 \text{ m/s}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{10}{(3.2 * 1.69)} = 1.85 \text{ m/s}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{25}{(3.2 * 3.48)} = 2.24 \text{ m/s}$$

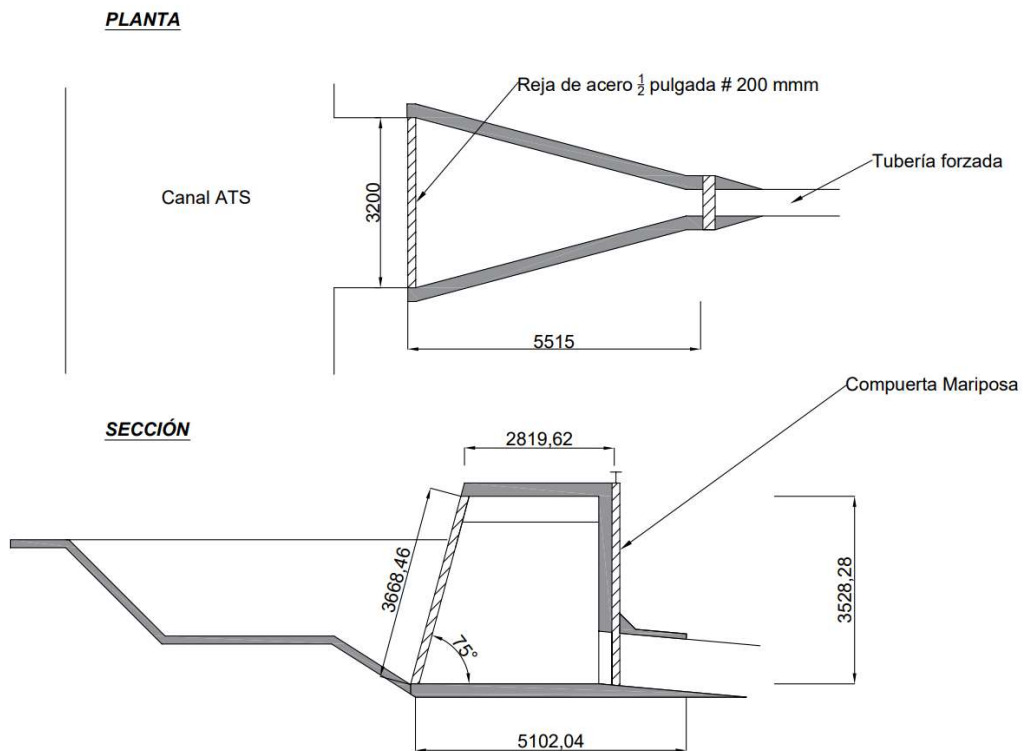
El volumen de agua que sería capaz de pasar considerando que pasan 15 m<sup>3</sup>/s durante 24h es de:

$$\text{Volumen (24h)} = 15 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} * 24\text{h} = 1.296.000 \text{ m}^3$$

En esta solución correspondiente a la central fluyente no se requiere de ninguna capacidad de regulación ya que trabaja de manera constante durante las 24 h del día al año. No hay necesidad de construir una cámara de carga ya que, además, se va a

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

conectar directamente la tubería al canal ATS, en el punto de toma correspondiente en cada Alternativa planteada.



Suponiendo una central regulada con una entrada de caudal de 10 y 25 m<sup>3</sup>/s proporciona diferentes volúmenes según la operatividad de la central, la cámara de carga deberá ser capaz de almacenar los valores correspondientes a este caudal de equipamiento.

Central Regulada				
Qentrada	horas	Qequipado		Volumen (m <sup>3</sup> )
10	8	30	m <sup>3</sup> /s	288.000
10	6	40	m <sup>3</sup> /s	216.000
10	4	60	m <sup>3</sup> /s	144.000
25	20	30	m <sup>3</sup> /s	1.800.000
25	10	60	m <sup>3</sup> /s	900.000

Sin embargo, en respuesta a la necesidad de tener un depósito que permita acumular durante el tiempo de llenado estimado (entre 8, 6 y 4 h y entre 10 y 20 h) el caudal equipado, se considera conveniente aumentar la capacidad de la cámara de carga con la finalidad de modular la turbinación incrementada durante las puntas diarias de la demanda.

$$Capacidad\ Camara\ carga = 10 \frac{m^3}{s} * (24h - 8h) * 3600 s = 576.000 m^3$$

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

$$Q_{equipado} = 10 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * 24 h = 864.000 m^3 \rightarrow \frac{864.000}{3600 * 8 h} = 30 \frac{m^3}{s}$$

$$Volumen a turbinar (8h) = 10 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * 8h = 288.000 m^3$$

$$Capacidad Camara carga = 10 \frac{m^3}{s} * (24h - 6h) * 3600 s = 648.000 m^3$$

$$Q_{equipado} = 10 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * 24 h = 864.000 m^3 \rightarrow \frac{864.000}{3600 * 6 h} = 40 \frac{m^3}{s}$$

$$Volumen a turbinar (6h) = 10 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * 6h = 216.000 m^3$$

$$Capacidad Camara carga = 10 \frac{m^3}{s} * (24h - 4h) * 3600 s = 720.000 m^3$$

$$Q_{equipado} = 10 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * 24 h = 864.000 m^3 \rightarrow \frac{864.000}{3600 * 4 h} = 60 \frac{m^3}{s}$$

$$Volumen a turbinar (4h) = 10 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * 4h = 144.000 m^3$$

$$Capacidad Camara carga = 25 \frac{m^3}{s} * (24h - 10h) * 3600 s = 1.260.000 m^3$$

$$Q_{equipado} = 25 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * 24 h = 2.160.000 m^3 \rightarrow \frac{2160000}{3600 * 10 h} = 60 \frac{m^3}{s}$$

$$Volumen(10h) = 25 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * 10h = 900.000 m^3$$

$$Capacidad Camara carga = 25 \frac{m^3}{s} * (24h - 20h) * 3600 s = 360.000 m^3$$

$$Q_{equipado} = 25 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * 24 h = 2.160.000 m^3 \rightarrow \frac{2160000}{3600 * 20 h} = 30 \frac{m^3}{s}$$

$$Volumen(20h) = 25 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{1h} * 20h = 1.800.000 m^3$$

Como puede observarse, para cada caudal a turbinar según el procedimiento de operación de la central, se turbinará un volumen de agua diferente. Analizando en el caso de entrar a la cámara de carga un caudal de 25 m<sup>3</sup>/s para turbinar 30 m<sup>3</sup>/s en 20 h, es un planteamiento en el que se indica que no se puede tener una capacidad de regulación inferior a la capacidad necesaria, por lo que se va a rechazar ya que el balance de volúmenes entre la capacidad y el volumen de agua necesaria para turbinar es dispar.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## 2.3.2 Dimensionamiento

Según el manual de pequeña hidráulica<sup>3</sup>, el cambio de una sección prismática en la rejilla a otra circular en la tubería forzada puede producir vórtices que afecten al funcionamiento de las turbinas. Los criterios para evitar dicha vorticidad no están bien definidos; su formación suele asociarse a la orientación y la profundidad de la toma bajo el agua; mientras más profunda esté la entrada a la tubería y cuanto mayor sea la simetría del flujo en la toma, habrá menos posibilidad de que se formen.

Según Gulliver, Rindels y Lindblom<sup>4</sup> no es previsible que se formen vórtices cuando:

$$S > 0.7 * D$$
$$N_F = \frac{V}{\sqrt{g * D}} < 0.5$$

Siendo S la profundidad a la que se encuentra la tubería sobre el nivel del agua en la cámara de carga y NF el número de Froude.

Tal y como se aconseja en el manual mencionado anteriormente, si al poner en marcha la planta se observa la formación de vórtices cuando ya no se puede variar la inmersión de la tubería ni aumentar el diámetro, la situación se puede mejorar colocando una plataforma semi-flotante de madera por encima de la entrada.

Los criterios seguidos para el diseño de la cámara de carga son los siguientes:

- Se ha tenido en cuenta los volúmenes de almacenaje necesarios calculados en el anterior apartado.
- La parte inferior de la tubería se colocará 30 cm por encima de la losa inferior de la cámara de carga, para evitar la entrada de posibles sedimentos.
- Para evitar la formación de vórtices y cavitación la inmersión de la tubería será un valor por encima de 0.7 veces el diámetro.

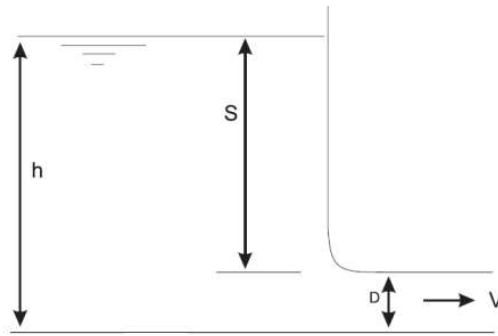
Por lo tanto, la profundidad del agua en la cámara de carga será lo mínimo:

$$h = 0.3 + (0.7 * D) + D$$

<sup>3</sup> Celso Penche, Manual de Pequeña Hidráulica (1998), 122. (Versión actualizada de "Layman's Handbook on how to develop a Small Hydro Syte", publicado en 1993 por la Dirección General de Energía de la Comisión de las comunidades Europeas).

<sup>4</sup> En los trabajos de 1986 llevados a cabo en los laboratorios de St Anthony Falls.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.



Además, se colocarán 40 cm de resguardo; este resguardo será la diferencia entre el máximo nivel del agua de la balsa y la coronación. Tal y como se explica en el apartado 2.5.1, se ha escogido colocar el mismo cerca del PK 90+640 del canal, puesto que es el punto más cercano al canal ATS donde se pretende verter el exceso de caudal derivado, de tal manera que se aproveche el sobrante, convirtiéndola así en un elemento de seguridad de la central hidroeléctrica.

Puesto que el espacio libre para poder diseñar una cámara de carga es limitado, se propone hacer una cerrada mediante un muro de materiales sueltos con lámina impermeable que rodee la toma de agua. Se excavará el terreno en función del ángulo de rozamiento de este hasta conseguir el volumen de almacenaje deseado.

Se colocarán 15 cm de hormigón y el resto se cubrirá con una capa de impermeabilización. construyendo una estructura de hormigón resistente, las cargas transmitidas al terreno no serán importantes. Además, puesto que la densidad del agua es menor a la del terreno natural que se excavará, cuando la cámara de carga se llene de agua, el peso resultante será inferior a la inicial, por lo que no son esperables problemas de hundimiento. Tal y como se vio en el apartado 2.2.3, el terreno que se va a encontrar durante la excavación de toda la obra es una mezcla de calizas y arcillas. A partir de las tablas de factores de fricción de diferentes materiales publicados por “Fine, Software para Ingeniería Geotécnica”, para el caso de estudio se considera apropiado tomar un ángulo de rozamiento interno de  $30^\circ$ , por lo tanto, ésta será la inclinación máxima de los taludes.

Puesto que la cerrada tendrá una sección rectangular y su volumen de almacenaje es conocido sin contar con el resguardo, se pueden estimar sus dimensiones por tanteo con Excel y escoger las más adecuadas en función del espacio disponible:

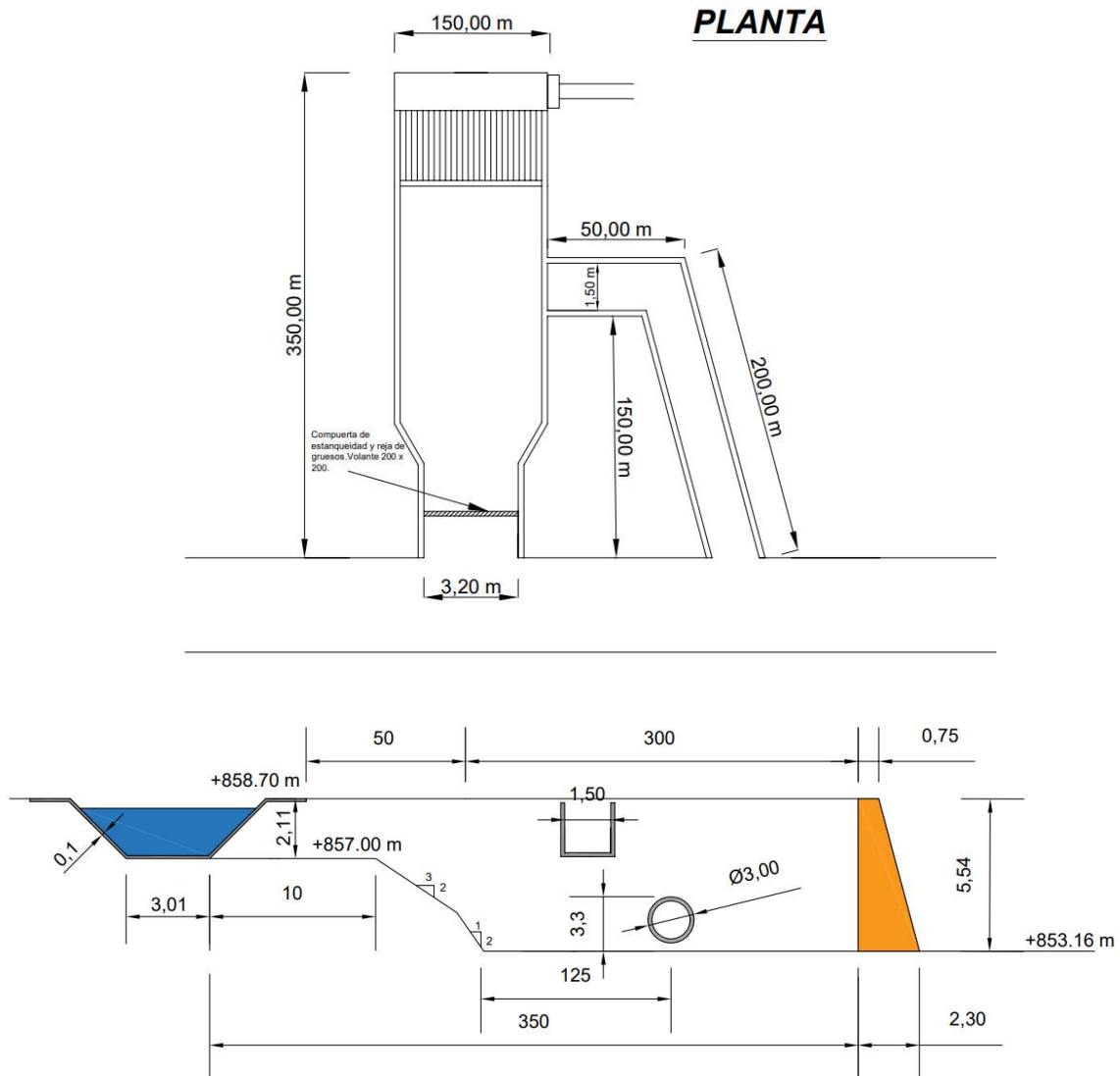
## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Q entrada (m3/s)	operatividad (h)	Q turbinar (m3/s)	Volumen para turbinar(m3)		Diámetro (m)	S (m)	h (m)	Capacidad regulación (m3)	V entr (m/s)	Area (m2)	L1 (m)	L2 (m)
15	24	15	1296000	A1	2,25	1,58	4,13	0,00	2,03			
				A2	2,50	1,75	4,55	0,00	2,03			
				A3	3,00	2,10	5,40	0,00	2,03			
10	8	30	288000	A1	3,00	2,10	5,40	576000	1,85	106667	384,0	277,8
				A2	3,25	2,28	5,83	576000	1,85	98884	384,0	257,5
				A3	4,00	2,80	7,10	576000	1,85	81127	384,0	211,3
25	20		1800000	A1	3,00	2,10	5,40	360000	2,24	66667	240,0	277,8
				A2	3,25	2,28	5,83	360000	2,24	61803	240,0	257,5
				A3	4,00	2,80	7,10	360000	2,24	50704	240,0	211,3
10	6	40	216000	A1	3,25	2,28	5,83	648000	1,85	111245	432,0	257,5
				A2	3,50	2,45	6,25	648000	1,85	103680	432,0	240,0
				A3	4,50	3,15	7,95	648000	1,85	81509	432,0	188,7
10	4	60	144000	A1	4,00	2,80	7,10	720000	2,24	101408	480,0	211,3
				A2	4,25	2,98	7,53	720000	2,24	95681	480,0	199,3
				A3	5,25	3,68	9,23	720000	2,24	78049	480,0	162,6
25	10		900000	A1	4,00	2,80	7,10	1260000	1,85	177465	840,0	211,3
				A2	4,25	2,98	7,53	1260000	1,85	167442	840,0	199,3
				A3	5,25	3,68	9,23	1260000	1,85	136585	840,0	162,6

Con estos datos se concluye que estas cámaras de carga presentan una profundidad muy elevada, dado que se limita la superficie, principalmente para no intervenir en excesivos viales ni propiedades colindantes a la zona de estudio.



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.



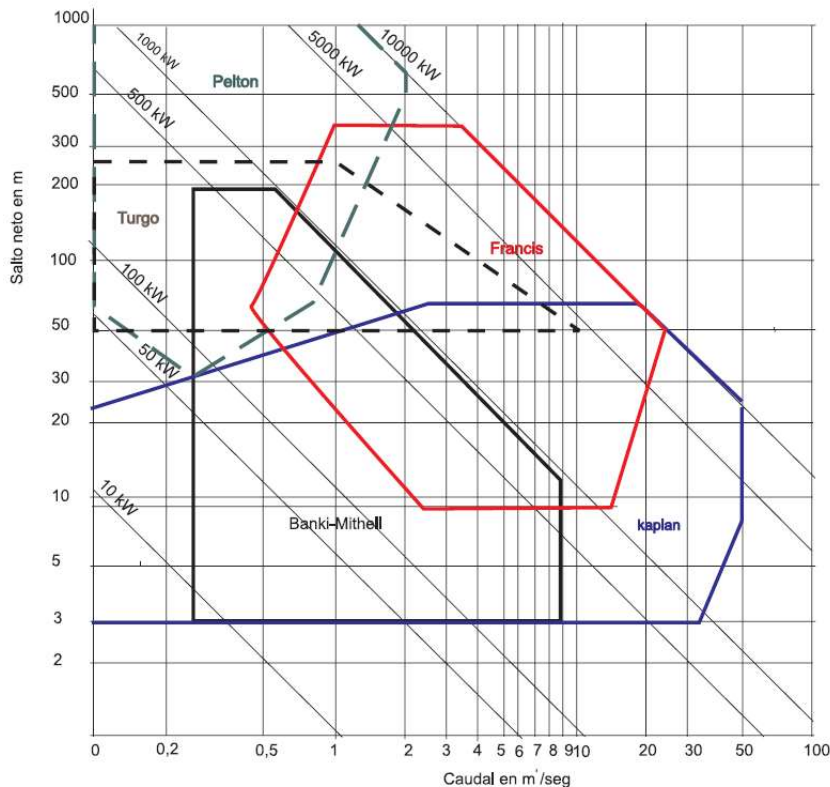
## 2.4 Selección del tipo de turbina

Según la definición de turbina de Luis Cuesta y Eugenio Vallarino de turbina en su libro de aprovechamientos hidroeléctricos: “las turbinas son, en esencia, ruedas hidráulicas que giran con una velocidad constante accionadas por la energía potencial de un desnivel de una corriente de agua y que transmiten la energía mecánica obtenida a un eje de giro para su utilización por un equipo consumidor”. Esta rueda hidráulica se conoce por el nombre de rodete, conectado a través de un eje transmisor al rotor, pieza rotativa que forma parte de dicho equipo consumidor.

Para la elección del tipo de turbina pueden emplearse diagramas que con las características del salto neto y del caudal de diseño ayuden a descartar un tipo de

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

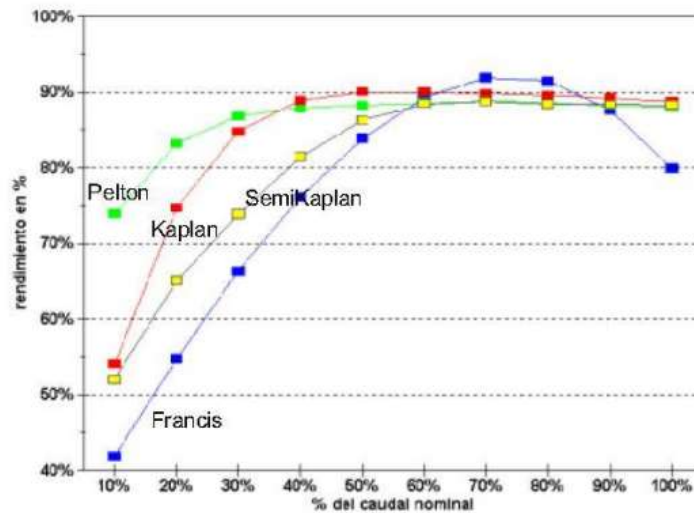
turbinas y, por consiguiente, den una idea del tipo de turbinas más adecuadas al caso de estudio. Por otro lado, cabe mencionar que estimar el tamaño de la turbina es necesario para completar los diseños previos de obra civil y evaluar su costo. A continuación, se muestra el diagrama mencionado anteriormente:



Según este gráfico podría utilizarse una KAPLAN o una FRANCIS en cualquiera de los tres casos, la turbina BANKI-MICHEL quedaría fuera de la envolvente en la que caen ambos puntos de coordenadas (Q, Salto neto). Sin embargo, la decisión final debería de ser un proceso iterativo que iguale la producción anual de energía con el costo de adquisición y mantenimiento.

La turbina KAPLAN tiene buena adaptación a la variación de caudales. Según Celso Penche (1998), la Kaplan aporta un mejor rendimiento a costa de tener un rango de caudales algo menor:

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.



La turbina KAPLAN es una turbina de hélice de reacción de flujo axial y generalmente se usa para caudales de equipamiento elevados y saltos netos entre 2 y 40 metros. El flujo entra de manera axial y también sale del corredor en dirección axial. Hay turbinas KAPLAN reguladas dobles y simples. La turbina de doble regulación tiene paletas de guía ajustables y paletas de guía ajustables, mientras que la turbina regulada solo tiene paletas de guía ajustables.

La turbina FANCIS es una turbina de reacción con paletas de guía ajustables y álabes de guía fijos utilizados para saltos y caudales medios. El caudal ingresa de manera radial en el corredor y luego gira en ángulo recto para que salga de la turbina de manera axial. El eje se puede colocar de forma vertical u horizontal.

La eficiencia de una turbina FRANCIS es mayor que la eficiencia de una turbina KAPLAN cuando se trabaja con una descarga cercana a la máxima descarga posible. Esto se puede ver en el siguiente gráfico. Por lo tanto, es más interesante trabajar con una turbina FRANCIS.

Los álabes del rodete en las KAPLAN son siempre regulables pero los álabes de distribución no tienen por qué serlo. Si ambos lo son, se trata de una pura KAPLAN mientras que, si sólo lo son los del rodete, es una SEMI-KAPLAN. Las puras Kaplan de doble regulación comienzan a dar buenos rendimientos a partir del 20% del caudal nominal tal y como se ve en la gráfica anterior, mientras que las SEMI-KAPLAN solo trabajan eficazmente a partir del 40% del caudal nominal. No obstante, como cabe pensar, la implantación de una KAPLAN con doble regulación es más costosa que la de una SEMI-KAPLAN y habría que realizar un estudio para ver que opción durante la

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

explotación del aprovechamiento acaba resultando más económica. La eficiencia de la turbina está relacionada con el caudal al que esté trabajando. Al tratarse de un aprovechamiento hidroeléctrico en el que se estudia el tipo fluyente y regulada el caudal turbinado dependerá de del caudal real que lleve el trasvase. Para el diseño de la turbina se trabajará con el caudal nominal.

La elección de la turbina es muy importante, mientras que esta parte es esencial para la conversión de la energía cinética del agua en energía mecánica. En general, hay tres tipos principales de turbinas: la turbina PELTOS, FRANCIS Y KAPLAN. El tipo de turbina depende de la altura y el flujo del agua de cada proyecto.

Se ha utilizado el libro de aprovechamientos hidroeléctricos de Luis Cuesta y Eugenio Vallarino para el cálculo y dimensionamiento de la turbina hidráulica, dando las características del salto hidroeléctrico, con el que permite realizar un estudio preliminar de los tipos habituales de turbinas para seleccionar el diseño más adecuado para realizar un predimensionamiento. Los modelos no tienen por qué ser aquellos que se encontrarán en el mercado, no obstante, serán similares. Con estos cálculos para el diseño de turbinas tipo Kaplan y Francis se dará el primer paso de seleccionar el tipo de turbina más conveniente.

A continuación, se muestran las condiciones de contorno comunes a las que estarán sometidas las turbinas que se estudiarán:

		Q (m <sup>3</sup> /s)	Diam. (m)	v (m/s)	L (m)	ΔH (m)	Sn (m)	P (kW)	P (MW)
FLUYENTE	A1	15	2,25	3,772	260	1,610	17,63	2205,08	2,21
	A2	15	2,5	3,056	450	1,375	23,59	2951,16	2,95
	A3	15	3	2,122	2700	2,443	44,22	5530,51	5,53
REGULADA	A1	30	3	4,244	260	1,708	17,53	4385,69	4,39
	A2	30	3,25	3,616	450	1,397	23,57	5896,98	5,90
	A3	30	4	2,387	2700	2,225	44,44	11115,76	11,12

## 2.4.1 Dimensionamiento

EL proceso para determinar las dimensiones de las turbinas y estructuras hidráulicas anejas, son a partir de los datos de partida y se puede resumir como sigue:

1. Se calcula la potencia nominal:

$$P = 9.81 * \eta * Q * H \text{ (kW)}$$

Donde cada una de las variables que intervienen en dicha expresión son:

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

- P: Potencia máxima en kW
- $\gamma$ : Peso específico del agua, cuyo valor adoptado es de 9,81 kN/m<sup>3</sup>
- Q: Caudal suministrado expresado en m<sup>3</sup>/s
- H: Salto neto disponible en cada alternativa en metros.
- $\eta$ : Factor de eficiencia teórica, que es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción de la energía

$$\eta = R_t * R_g * R_s$$

- $R_t$ : Rendimiento de la turbina
- $R_g$ : Rendimiento del generador
- $R_s$ : Rendimiento del transformador de salida

Según el tipo de equipo y el fabricante, el rendimiento de la maquinaria varía, pero a efectos de una primera aproximación, se puede tomar como factor de eficiencia para una minicentral hidroeléctrica moderna el valor de 0,85.

2. Se estima el valor de  $N_s$  de la velocidad específica mediante una expresión empírica adecuada, que más adelante se propone.
3. Se calcula la velocidad de giro aproximada y se selecciona la velocidad síncrona correspondiente que a falta de condicionamientos puede ser la velocidad síncrona más próxima a la velocidad de giro.
4. Se estima el coeficiente de cavitación mediante una expresión empírica apropiada y se calcula la altura de aspiración y la cota de implantación del plano medio de la cámara espiral, si la cota resultante es incompatible con las condiciones del aprovechamiento se modifica la velocidad síncrona seleccionada para llegar a una cota de implantación adecuada.
5. Se determina el coeficiente de velocidad periférica mediante una fórmula empírica adecuada. Teniendo en cuenta que este coeficiente es la relación entre la velocidad periférica del rodete y la velocidad absoluta del agua, permitiendo pues el cálculo del diámetro del rodete.
6. Se estiman las dimensiones aproximadas del rodete, cámara espiral y tubo de aspiración en función del diámetro del rodete y de la velocidad específica.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## 2.4.1.1 CÁLCULO PARA LA TURBINA FRANCIS

### Velocidad específica

La expresión propuesta para estimar la velocidad específica de una turbina de salto y caudal nominal H y Q es:

$$N_s = \frac{3470}{H^{0.625}}$$

Que, considerando un rendimiento de 0.91, da una velocidad de giro de:

$$N \text{ (rpm)} = \frac{N_s * H^{1.25}}{\sqrt{9.81 * 0.91 * Q * H}}$$

Con estas formulaciones adoptan velocidades más elevadas para saltos nominales más reducidos como en este caso, por lo que se determinará la velocidad específica como velocidad síncrona.

### Altura de aspiración:

La altura de aspiración de una turbina es la diferencia de cota entre el elemento que se esté considerando (el rodete de la turbina) y el nivel mínimo en la descarga (esta altura tiene signo negativo cuando el nivel mínimo en la descarga está por encima del rodete y positivo en el caso contrario). En las turbinas KAPLAN se mide la altura de aspiración con relación al eje del rodete mientras que las FRANCIS se mide esta altura con relación al plano medio del distribuidor en lugar de a la salida del rodete. El coeficiente de cavitación y la altura de aspiración son:

$$\sigma = \frac{N_s^{1.41}}{13263}; H_s = H_a - H_v - \sigma * H$$

Donde H<sub>s</sub> es la altura de aspiración de la turbina medida con relación al plano medio del distribuidor, H<sub>a</sub> es la presión atmosférica y H<sub>v</sub> es la presión del vapor de agua; la diferencia entre los dos últimos valores se estima en función de la elevación del emplazamiento y de la temperatura del agua.

VALOR DE H <sub>A</sub> -H <sub>V</sub> (m)					
Elevación	5°	10°	15°	20°	25°
0	10,262	10,226	10,177	10,112	10,027
500	9,662	9,626	9,577	9,512	9,427
1000	9,091	9,055	9,006	8,941	8,856
1500	8,548	8,512	8,463	8,398	8,313
2000	8,031	7,995	7,946	7,881	7,796
2500	7,539	7,533	7,484	7,419	7,334

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Considerando una temperatura de 15°C y con los saltos netos definidos, se tienen los siguientes resultados:

Qe (m3/s)	Elevación	Tº C	Ha-Hv
15	17,63	15	10,17
15	23,59	15	10,16
15	44,22	15	10,14
30	17,53	15	10,17
30	23,57	15	10,16
30	44,44	15	10,14

## Dimensiones del Rodete

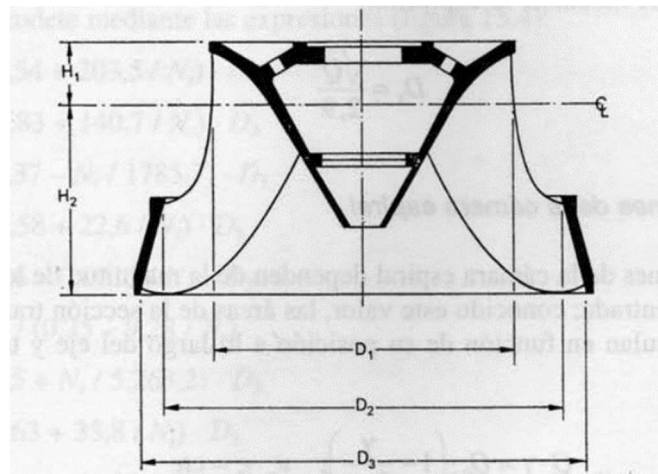
El coeficiente de velocidad periférica en la sección de salida del rodete se define como:

$$k_u = \frac{D_3 * N}{84.55 * \sqrt{H}}$$

Donde D3 es el diámetro de salida del rodete. Según el libro, el valor de este coeficiente se puede estimar mediante la expresión:

$$k_u = 0.31 + \frac{N_s}{400}$$

Con esto se puede determinar el diámetro del rodete y las restantes dimensiones de esta parte.



							DIMENSIONES RODETE					
Qequip		NS	N (rpm)	σ	Hs (m)	Ha-Hv	ku	D3	D1	D2	H1	H2
15	A1	577	429	0,59	-0,24	10,17	1,75	1,45	0,89	1,23	0,35	0,03
15	A2	481	445	0,46	-0,61	10,16	1,51	1,40	0,90	1,22	0,30	0,05
15	A3	325	482	0,26	-1,47	10,14	1,12	1,31	0,97	1,21	0,23	0,10
30	A1	579	303	0,59	-0,23	10,17	1,76	2,05	1,26	1,74	0,49	0,05



## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

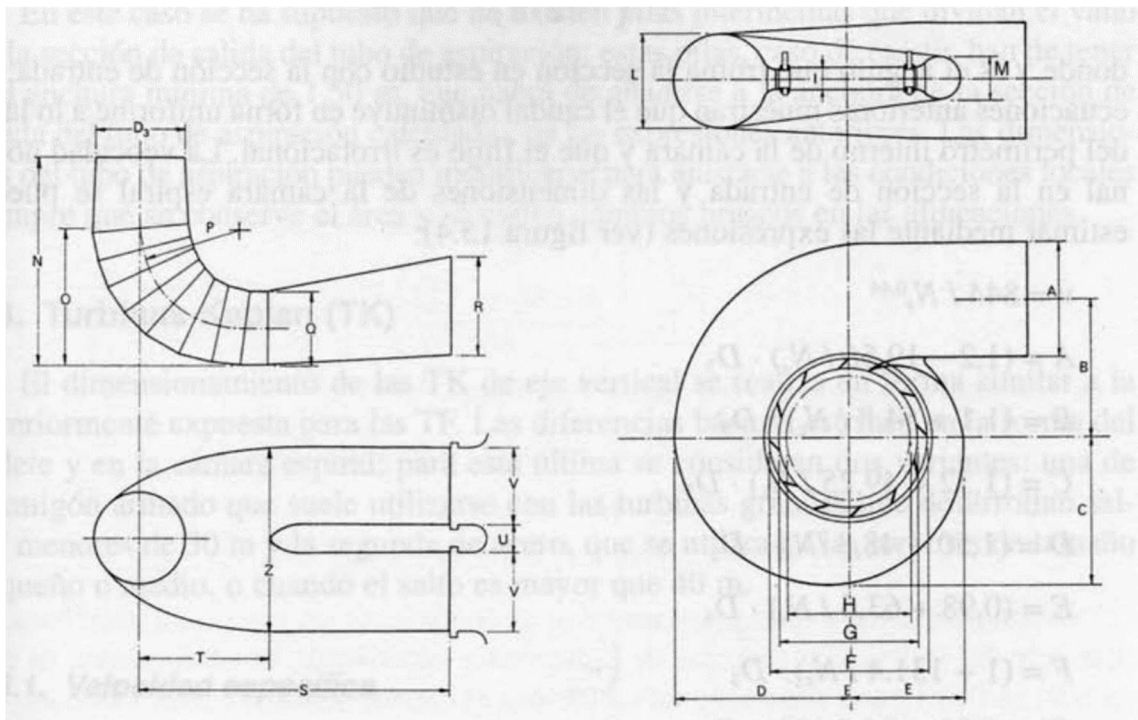
30	A2	481	315	0,46	-0,61	10,16	1,51	1,97	1,28	1,73	0,42	0,07
30	A3	324	341	0,26	-1,48	10,14	1,12	1,85	1,37	1,71	0,32	0,15

### Dimensiones de la cámara espiral

Las dimensiones de la cámara espiral dependen de la magnitud de la velocidad en la sección de entrada; conocido este valor, las áreas de la sección transversal de la cámara se calculan en función de su posición a lo largo del eje.

La velocidad nominal en la sección de entrada es:

$$v = \frac{844}{N_s^{0.44}} \text{ m/s}$$



Qequip		NS	N (rpm)	$\sigma$	Hs (m)	Ha-Hv	DIMENSIONES CAMARA ESPIRAL											
							v	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M
15	A1	577	429	0,59	-0,24	10,17	51,44	1,69	1,73	2,04	2,30	1,58	1,78	1,53	1,35	0,69	1,69	13,50
15	A2	481	445	0,46	-0,61	10,16	55,73	1,62	1,69	1,99	2,24	1,55	1,78	1,52	1,34	0,58	1,56	10,98
15	A3	325	482	0,26	-1,47	10,14	66,24	1,49	1,66	1,93	2,16	1,54	1,84	1,56	1,36	0,41	1,36	7,24
30	A1	579	303	0,59	-0,23	10,17	51,36	2,39	2,45	2,88	3,25	2,24	2,52	2,17	1,91	0,98	2,39	19,17
30	A2	481	315	0,46	-0,61	10,16	55,72	2,29	2,40	2,81	3,16	2,20	2,51	2,15	1,89	0,82	2,20	15,54
30	A3	324	341	0,26	-1,48	10,14	66,33	2,11	2,35	2,73	3,06	2,18	2,60	2,20	1,93	0,58	1,92	10,21

### Dimensiones del tubo de aspiración

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Las dimensiones del tubo de aspiración se estiman en función del diámetro de salida del rodete.

							DIMENSIONES TUBO DE ASPIRACIÓN							
Qequip		NS	N (rpm)	$\sigma$	Hs (m)	Ha-Hv	N	O	P	Q	R	S	T	Z
15	A1	577	429	0,59	-0,24	10,17	2,74	1,56	1,52	0,90	2,32	6,20	2,33	3,90
15	A2	481	445	0,46	-0,61	10,16	2,74	1,57	1,54	0,88	2,23	6,05	2,22	3,77
15	A3	325	482	0,26	-1,47	10,14	2,84	1,66	1,56	0,85	2,10	5,92	2,05	3,58
30	A1	579	303	0,59	-0,23	10,17	3,88	2,20	2,15	1,27	3,28	8,77	3,30	5,52
30	A2	481	315	0,46	-0,61	10,16	3,87	2,22	2,17	1,24	3,16	8,56	3,14	5,33
30	A3	324	341	0,26	-1,48	10,14	4,02	2,34	2,20	1,20	2,96	8,37	2,89	5,07

## 2.4.1.2 CALCULO PARA LA TURBINA KAPLAN

El dimensionamiento de estas turbinas de eje vertical se realiza de forma similar a la anteriormente expuesta para las FRANCIS. La diferencia básica radica en la forma del rodete y en la cámara de espiral, donde esta última puede ser de hormigón armado, que suele utilizarse para turbinas grandes que desarrollan saltos menores de 30 m y la segunda de acero, que se utilizan turbinas de tamaño pequeño.

### Velocidad específica

La velocidad específica de las KAPLAN se puede calcular como:

$$N_s = \frac{2419}{H^{0.489}}$$

### Altura de aspiración

El coeficiente de cavitación y la altura de aspiración se pueden estimar mediante las expresiones:

$$\sigma = \frac{N_s^{1.46}}{15625}; H_s = H_a - H_v - \sigma * H$$

A partir de las cuales se calcula la elevación del eje del rodete. El cálculo de Hs se ha mencionado anteriormente.

### Dimensiones de rodete

El coeficiente de velocidad periférica se puede estimar mediante la expresión:

$$k_u = 0.79 + \frac{N_s}{621}$$

Por lo que el diámetro exterior de las palas del rodete resulta:

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

$$D_M = \frac{84.55 * k_u * \sqrt{H}}{N}$$

Y las restantes dimensiones del rodete son:

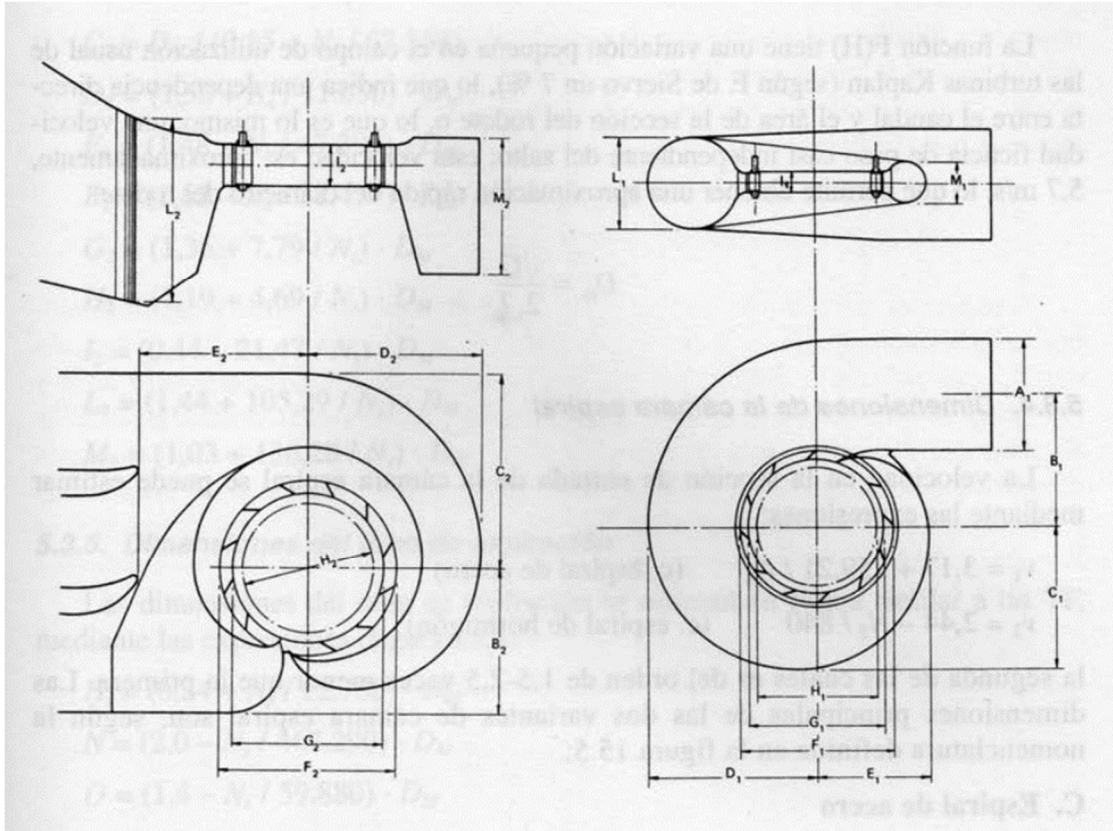
							DIMENSIONES RODETE				
Qequip		NS	N (rpm)	$\sigma$	Hs (m)	Ha-Hv	ku	DM	Dm	Hm	H1
15	A1	595	442	0,72	-2,50	10,17	1,75	1,45	0,59	0,76	0,59
15	A2	516	477	0,58	-3,61	10,16	1,62	1,49	0,65	0,84	0,61
15	A3	379	562	0,37	-6,35	10,14	1,40	1,64	0,82	1,04	0,65
30	A1	596	312	0,72	-2,48	10,17	1,75	2,04	0,83	1,08	0,84
30	A2	516	337	0,58	-3,61	10,16	1,62	2,11	0,92	1,18	0,86
30	A3	378	398	0,37	-6,37	10,14	1,40	2,31	1,16	1,47	0,92

### Dimensiones de la cámara espiral

La velocidad en la sección de entrada de la cámara espiral se puede estimar mediante:

$$v = 3.17 + \frac{759.21}{N_s}$$

Las dimensiones principales de la variante de cámara espiral de acero son:

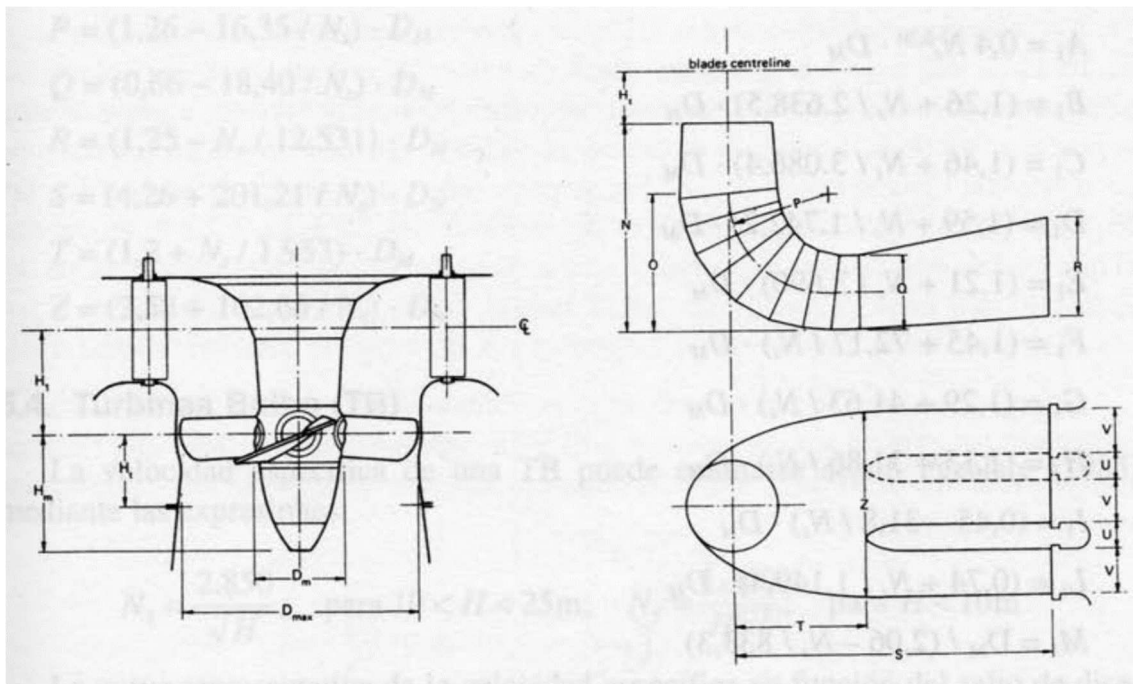


## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

						DIMENSIONES CAMARA ESPIRAL												
Qequip		NS	N (rpm)	$\sigma$	Hs (m)	Ha-Hv	v1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1	L1	M1
15	A1	595	442	0,72	-2,50	10,17	4,50	2,07	2,15	2,39	2,79	1,98	2,27	1,97	1,71	0,57	1,82	1,07
15	A2	516	477	0,58	-3,61	10,16	4,70	2,09	2,18	2,43	2,82	2,02	2,38	2,05	1,78	0,58	1,78	1,04
15	A3	379	562	0,37	-6,35	10,14	5,25	2,15	2,30	2,59	2,96	2,15	2,68	2,29	1,99	0,60	1,75	1,02
30	A1	596	312	0,72	-2,48	10,17	4,49	2,93	3,04	3,38	3,95	2,80	3,21	2,78	2,42	0,81	2,57	1,52
30	A2	516	337	0,58	-3,61	10,16	4,70	2,95	3,08	3,44	3,99	2,85	3,36	2,90	2,52	0,82	2,51	1,47
30	A3	378	398	0,37	-6,37	10,14	5,26	3,03	3,25	3,66	4,18	3,04	3,80	3,24	2,81	0,85	2,47	1,44

### Dimensiones del tubo de aspiración

Las dimensiones del tubo de aspiración se estiman de forma similar a las de la turbina FRANCIS



							DIMENSIONES TUBO DE ASPIRACIÓN								
Qequip		NS	N (rpm)	$\sigma$	Hs (m)	Ha-Hv	Ht	N	O	P	Q	R	S	T	Z
15	A1	595	442	0,72	-2,50	10,17	0,41	2,89	2,01	1,78	0,91	1,74	6,65	2,17	3,98
15	A2	516	477	0,58	-3,61	10,16	0,42	2,99	2,08	1,84	0,93	1,81	6,95	2,19	4,15
15	A3	379	562	0,37	-6,35	10,14	0,44	3,27	2,28	1,99	1,00	1,99	7,83	2,28	4,66
30	A1	596	312	0,72	-2,48	10,17	0,59	4,08	2,84	2,52	1,29	2,46	9,39	3,07	5,62
30	A2	516	337	0,58	-3,61	10,16	0,59	4,23	2,94	2,60	1,32	2,56	9,83	3,09	5,87
30	A3	378	398	0,37	-6,37	10,14	0,62	4,63	3,23	2,82	1,42	2,82	11,09	3,23	6,60

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## 2.4.1.3 COMPARACIÓN DE TURBINAS

Entre las zonas de posible utilización de las FRANCIS por un lado (entre 30 y 750 m) y las KAPLAN (menos de 75 m), hay posibilidades técnicas que permiten instalar más de un tipo de turbina.

Como existen saltos menores de 20-25 m cabe utilizar una KAPLAN de eje vertical y cámara espiral, ya que resultan unas máquinas voluminosas que requieren de mayor obra civil, pero ofrece varias ventajas.

Los aprovechamientos entre 30 y 75 m se pueden equipar con KAPLAN o FRANCIS, las ventajas de segundas sobre las primeras son:

- coeficiente de cavitación favorable lo cual permite una instalación a una cota más elevada con el consiguiente ahorro de obra civil.
- Rendimiento óptimo del equipo más elevado, especialmente para alturas mayores de 50 m
- Velocidad de embalamiento más reducida, asimismo el caudal para esta velocidad es más pequeño.

Las ventajas de la KAPLAN sobre las FRANCIS son:

- Campo de utilización más amplio, con mejores rendimientos a cargas parciales, las KAPLAN pueden operar con cargas de hasta el 20% de la potencia nominal, mientras que las FRANCIS difícilmente operan con una eficiencia aceptable por debajo del 40 o 50 %.
- Están algo mejor adaptadas que las FRANCIS para operar eficientemente con saltos que tengan una fuerte oscilación.
- Tienen una velocidad síncrona más elevada.

La FRANCIS tienen una configuración más compacta, lo que se traduce en menor coste de la obra civil, como por otra parte el coste de los equipos es menor con estas que con las KAPLAN. Las KAPLAN serían preferibles en el caso de que fuese de especial importancia la mayor flexibilidad de estas turbinas para trabajar con cargas parciales u operar con saltos con variación importante. Por encima de los 35 a 50 m es inusual emplear KAPLAN.

## 2.4.1.4 Tubo de aspiración

La finalidad de los tubos de aspiración es:



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

- Conducir el caudal turbinado al canal de descarga
- Aprovechar el desnivel entre el rodete y el canal de descarga
- Recuperar la energía cinética existente a la salida del rodete

Se construyen como difusores con sección creciente desde la salida del rodete para que la velocidad del agua disminuya gradualmente en las FRANCIS aumenta la energía hasta un 20% mientras que las KAPLAN puede superar el 50% de salto nominal. lo que hace que sea importante un diseño adecuado del tubo de aspiración para los saltos de pequeña magnitud y elevado caudal.

### 2.4.1.5 Selección del tipo de turbina

Para la elección de la turbina nos hemos basado en la clasificación de las turbinas según su número específico de revoluciones:

Después de los cálculos se optará por elegir en las Alternativa 1 y 2 una turbina KAPLAN normal y para la Alternativa 3 una turbina FRANCIS.

Qeq (m3/s)		N (rpm)	Drodete (m)	Sn (m)	tipo	Pot. útil (kW)
15	A1	460	1,50	17,60	KAPLAN	2201.36
15	A2			23,60	KAPLAN	2951.83
15	A3	480	1,30	44,2	FANCIS	5528.43
30	A1	325	1,84	17,5	KAPLAN	4377.72
30	A2			23,6	KAPLAN	5903.66
30	A3	340	1,85	44,45	FRANCIS	11119.40

### 2.4.1.6 Regulación de la turbina

La turbina queda accionada mediante el alternador en la minicentral hidráulica. Este grupo ha de girar a velocidad constante, ya que la velocidad el grupo está relacionado con la frecuencia de la corriente por la ecuación

$$n = 60 * \frac{f}{2p}$$

Siendo f la frecuencia (50 Hz), y 2p el número de pares de polos. Como la frecuencia de la corriente debe ser constante, un grupo cuyo alternador tenga 20 pares de polos deberá girar a una velocidad de 150 rpm.

### **ANEXO 3. Aprovechamiento Hidroeléctrico Regulado**

A continuación, se planteará la posibilidad de realizar una central de regulación en cada alternativa propuesta, dado que permite mayor optimización que la central fluyente, sin embargo, el proceso es más complejo dado que se encuentran más variables que intervienen como la altura de la cámara de carga. El procedimiento es analizar la regulación con varias capacidades de embalse, determinar los rendimientos razonables y optimizar dicha capacidad hasta asegurar el caudal equipado.

Esto es un proceso iterativo, por lo que el análisis es más costoso. Para ello se hará un cálculo simplificado, suponiendo que en vez de turbinar 15 m<sup>3</sup>/s durante 24 horas del día, se turbinarán un rango de caudales entre 30, 40 y 60 m<sup>3</sup>/s sin parar durante un determinado número de horas del día, siendo estas con mayor precio horario del mercado diario (durante 8 h, 6 h, 4 h).

Si se quiere turbinar únicamente en las horas punta se debería incrementar la capacidad de regulación en la cámara de carga para conseguir un depósito con capacidad suficiente para la regulación diaria, por lo tanto, es necesario saber qué capacidad sería necesaria almacenar.

Durante las 24 horas de día el canal ATS puede llevar caudales entre 10 m<sup>3</sup>/s y 25 m<sup>3</sup>/s tomándose el valor de 15 m<sup>3</sup>/s en el caso de plantear las centrales como fluyentes, en este caso se analizará el siguiente estudio de regulación tomando como caudal por puntas, los siguientes:

1. Si el caudal circulante en el ATS es de 10 m<sup>3</sup>/s:
  - se turбина 8 h al día en cada año, se tiene un caudal turbinado de:

$$Q_{eq} \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{10m^3}{s} * \left( \frac{24h}{8h} \right) = 30 \frac{m^3}{s}$$

- Se turбина 6 h cada día del año, teniendo que turbinar un caudal de:

$$Q_{eq} \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{10m^3}{s} * \left( \frac{24h}{6h} \right) = 40 \frac{m^3}{s}$$

- Se turбина 4 h cada día del año, teniendo que turbinar un caudal de:



## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

$$Q_{eq} \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{10m^3}{s} * \left( \frac{24h}{4h} \right) = 60 \frac{m^3}{s}$$

2. Si el caudal circulante en el ATS es de 25 m<sup>3</sup>/s:

- Se turбина 10 h cada día del año, teniendo que turbinar un caudal de:

$$Q_{eq} \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{25m^3}{s} * \left( \frac{24h}{10h} \right) = 60 \frac{m^3}{s}$$

- Se turбина 20 h cada día del año, teniendo que turbinar un caudal de:

$$Q_{eq} \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{25m^3}{s} * \left( \frac{24h}{20h} \right) = 30 \frac{m^3}{s}$$

Como las horas de turbinación dependen de la demanda o del precio de la energía, se proponen a continuación unos ejemplos de cómo trabajaría.

- **Ejemplo de regulación de la central con 8 h de turbinado a 30 m<sup>3</sup>/s**

Hora	Caudal medio del Canal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Turbinado (m <sup>3</sup> /s)	Reserva a Aguas Arriba (m <sup>3</sup> )
00 h - 01 h	10	0	36000
01 h - 02 h	10	0	72000
02 h - 03 h	10	0	108000
03 h - 04 h	10	0	144000
04 h - 05 h	10	0	180000
05 h - 06 h	10	0	216000
06 h - 07 h	10	0	252000
07 h - 08 h	10	0	288000
08 h - 09 h	10	30	216000
09 h - 10 h	10	30	144000
10 h - 11 h	10	30	72000
11 h - 12 h	10	30	0
12 h - 13 h	10	0	36000
13 h - 14 h	10	0	72000
14 h - 15 h	10	0	108000
15 h - 16 h	10	0	144000
16 h - 17 h	10	0	180000
17 h - 18 h	10	0	216000
18 h - 19 h	10	0	252000
19 h - 20 h	10	0	288000
20 h - 21 h	10	30	216000
21 h - 22 h	10	30	144000

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

22 h - 23 h	10	30	72000
23 h - 24 h	10	30	0
<b>TURBINACIÓN</b>	<b>TOTAL=10*60*60*24=86400 0 m3/día</b>	<b>TOTAL=30*60*60*8=86400 0 m3/día</b>	

Se almacena durante 16 horas y se produce durante otras 8 horas y así sucesivamente, la capacidad necesaria de almacenaje será:

$$\text{Capacidad de la cámara de carga} \rightarrow 10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (24 - 8 \text{ h}) * 3600\text{s} = 576.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen turbinado} \rightarrow 60(\text{s}) * 60(\text{min}) * 8(\text{h}) * 10 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = 288.000 \text{ m}^3/\text{s}$$

En este caso se puede turbinar en las horas punta de la franja horaria de mañanas (08.00h a 12.00h) y de tarde (20.00h a 24.00 h).

- **Ejemplo de regulación de la central con 6 h de turbinado a 40 m3/s**

Hora	Caudal medio del Canal (m3/s)	Caudal Turbinado (m3/s)	Reserva a Aguas Arriba (m3)
00 h - 01 h	10	0	0
01 h - 02 h	10	0	0
02 h - 03 h	10	0	0
03 h - 04 h	10	0	0
04 h - 05 h	10	0	0
05 h - 06 h	10	0	36000
06 h - 07 h	10	0	72000
07 h - 08 h	10	0	108000
08 h - 09 h	10	0	144000
09 h - 10 h	10	0	180000
10 h - 11 h	10	0	216000
11 h - 12 h	10	40	144000
12 h - 13 h	10	40	72000
13 h - 14 h	10	40	0
14 h - 15 h	10	0	36000
15 h - 16 h	10	0	72000
16 h - 17 h	10	0	108000
17 h - 18 h	10	0	144000
18 h - 19 h	10	40	72000
19 h - 20 h	10	40	36000
20 h - 21 h	10	40	0
21 h - 22 h	10	0	36000

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

22 h - 23 h	10	0	72000
23 h - 24 h	10	0	108000
<b>TURBINACIÓN</b>	<b>TOTAL=10*60*60*24=86400 0 m3/día</b>	<b>TOTAL=40*60*60*6=86400 0 m3/día</b>	

Se almacena durante 15 horas y se produce durante otras 6 horas y así sucesivamente, la capacidad necesaria de almacenaje será:

$$\text{Capacidad de la cámara de carga} \rightarrow 10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (24 - 6 \text{ h}) * 3600\text{s} = 648.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen turbinado} \rightarrow 60(\text{s}) * 60(\text{min}) * 6(\text{h}) * 10 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = 216.000 \text{ m}^3/\text{s}$$

En este caso se puede turbinar en las horas punta de la franja horaria de (10.00h a 14.00h) y de (17.00h a 21.00 h).

- **Ejemplo de regulación de la central con 4 h de turbinado a 60 m3/s**

Hora	Caudal medio del Canal (m3/s)	Caudal Turbinado (m3/s)	Reserva a Aguas Arriba (m3)
00 h - 01 h	10	0	36000
01 h - 02 h	10	0	72000
02 h - 03 h	10	0	108000
03 h - 04 h	10	0	144000
04 h - 05 h	10	0	180000
05 h - 06 h	10	0	216000
06 h - 07 h	10	0	252000
07 h - 08 h	10	0	288000
08 h - 09 h	10	0	324000
09 h -10 h	10	0	360000
10 h -11 h	10	60	252000
11 h -12 h	10	60	144000
12 h - 13 h	10	60	72000
13 h - 14 h	10	60	0
14 h -15 h	10	0	36000
15 h - 16 h	10	0	72000
16 h - 17 h	10	0	108000
17 h -18 h	10	0	144000
18 h - 19 h	10	0	180000
19 h -20 h	10	0	216000
20 h - 21 h	10	0	252000
21 h - 22 h	10	0	288000

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

22 h - 23 h	10	0	324000
23 h - 24 h	10	0	360000
<b>TURBINACIÓN</b>	<b>TOTAL=10*60*60*24=86400 0 m3/día</b>	<b>TOTAL=60*60*60*4=86400 0 m3/día</b>	

Se almacena durante 20 horas y se produce durante otras 4 horas y así sucesivamente, la capacidad necesaria de almacenaje será:

$$\text{Capacidad de la cámara de carga} \rightarrow 10 \frac{m^3}{s} * (24 - 4 h) * 3600s = 720.000 m^3$$

$$\text{Volumen turbinado} \rightarrow 60(s) * 60(min) * 4(h) * 10 \left( \frac{m^3}{s} \right) = 144.000 m^3/s$$

En este caso se puede turbinar en las horas punta de la franja horaria de (10.00h a 14.00h).

- **Ejemplo de regulación de la central con 10 h de turbinado a 60 m3/s**

Hora	Caudal medio del Canal (m3/s)	Caudal Turbinado (m3/s)	Reserva Aguas Arriba (m3)
00 h - 01 h	25	0	90000
01 h - 02 h	25	0	180000
02 h - 03 h	25	0	270000
03 h - 04 h	25	0	360000
04 h - 05 h	25	0	450000
05 h - 06 h	25	0	540000
06 h - 07 h	25	0	630000
07 h - 08 h	25	0	720000
08 h - 09 h	25	0	810000
09 h -10 h	25	0	900000
10 h -11 h	25	60	810000
11 h -12 h	25	60	720000
12 h - 13 h	25	60	630000
13 h - 14 h	25	60	540000
14 h -15 h	25	60	450000
15 h - 16 h	25	60	360000
16 h - 17 h	25	60	270000
17 h -18 h	25	60	180000
18 h - 19 h	25	60	90000
19 h -20 h	25	60	0
20 h - 21 h	25	0	90000
21 h - 22 h	25	0	180000

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

22 h - 23 h	25	0	270000
23 h - 24 h	25	0	360000
<b>TURBINACIÓN</b>	<b>TOTAL=25*60*60*24=2160000 m3/día</b>	<b>TOTAL=60*60*60*10=2160000 m3/día</b>	

Se almacena durante 14 horas y se produce durante otras 10 horas y así sucesivamente, la capacidad necesaria de almacenaje será:

$$\text{Capacidad de la cámara de carga} \rightarrow 25 \frac{m^3}{s} * (24 - 10 h) * 3600s = 1.260.000 m^3$$

$$\text{Volumen turbinado} \rightarrow 60(s) * 60(min) * 10(h) * 25 \left( \frac{m^3}{s} \right) = 900.000 m^3/s$$

En este caso se puede turbinar en las horas punta de la franja horaria de (10.00h a 14.00h) y de (17.00h a 21.00 h).

- **Ejemplo de regulación de la central con 20 h de turbinado a 30 m3/s**

Hora	Caudal medio del Canal (m3/s)	Caudal Turbinado (m3/s)	Reserva Aguas Arriba (m3)
00 h - 01 h	25	0	90000
01 h - 02 h	25	0	180000
02 h - 03 h	25	30	90000
03 h - 04 h	25	30	0
04 h - 05 h	25	30	-90000
05 h - 06 h	25	30	-180000
06 h - 07 h	25	30	-270000
07 h - 08 h	25	30	-360000
08 h - 09 h	25	30	-450000
09 h -10 h	25	30	-540000
10 h -11 h	25	30	-630000
11 h -12 h	25	30	-720000
12 h - 13 h	25	30	-810000
13 h - 14 h	25	30	-900000
14 h -15 h	25	30	-990000
15 h - 16 h	25	30	-
16 h - 17 h	25	30	1080000
17 h - 18 h	25	30	-
			1170000
			-
			1260000

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

18 h - 19 h	25	30	- 1350000
19 h - 20 h	25	30	- 1440000
20 h - 21 h	25	30	- 1530000
21 h - 22 h	25	30	- 1620000
22 h - 23 h	25	0	- 1530000
23 h - 24 h	25	0	- 1440000
<b>TURBINACIÓN</b>	<b>TOTAL=25*60*60*24=2160000</b> <b>m3/día</b>	<b>TOTAL=30*60*60*20=2160000</b> <b>m3/día</b>	

Se almacena durante 4 horas y se produce durante otras 20 horas y así sucesivamente, la capacidad necesaria de almacenaje será:

$$\text{Capacidad de la cámara de carga} \rightarrow 25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (24 - 20 \text{ h}) * 3600\text{s} = 360.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen turbinado} \rightarrow 60(\text{s}) * 60(\text{min}) * 20(\text{h}) * 25 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = 1.800.0000 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con esto quedan definidos los posibles modos de operación a los que se someterá la central regulada. Como se puede ver, la capacidad de regulación supone más del 50% del volumen necesario para turbinar durante unas horas concretadas. Esto hace que algunas de las regulaciones mencionadas a priori ya no sean factibles. Es el caso de establecer una central regulada para caudales de equipo de 30 y 60 m<sup>3</sup>/s turbinando a 20 y 10h entrando de manera aproximada y constante desde el canal ATS 25 m<sup>3</sup>/s.

Esta regulación no da buenos resultados por diversas razones. En primer lugar, es difícil saber cuándo el canal llevará 25 m<sup>3</sup>/s, en cualquier caso, será menos frecuente que un caudal entrante del trasvase a la cámara de carga de 10 m<sup>3</sup>/s. En segundo lugar, es complicado poder cuadrar las horas punta, donde el precio por kW es más alto con la regla de operación que se establece en estos casos, ya sea porque la capacidad de regulación de la cámara de carga es mucho menor que el del volumen necesario para turbinar o bien porque el rango de funcionamiento establecido no es el óptimo para un aprovechamiento con estas condiciones de contorno que se dan (salto, caudal, potencia etc.). Estos planteamientos por lo tanto se descartan.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Si se tiene el depósito a la misma cota que el trasvase, esto implica que la lámina de agua se encontrará a la misma altura y por tanto no sería necesario incrementar la altura de la cámara de carga. Sin embargo, dada la topografía existente y por la visita de campo que se realizó, se sabe que la cota de las llanuras colindantes (campos de cultivo) en la margen derecha (dirección Belmontejo) están a menor cota que la del canal. Si el canal ATS en el PK 90+640 se encuentra a la cota +858.70 m, en unos metros se pierde cota hasta la +853.16 m.

- Alternativa 1



- Alternativa 2



- Alternativa 3





## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

La alternativa 1 y 3 se plantea con la misma ubicación de la cámara de carga, próximo a la rápida de Belmontejo, en la margen derecha del trasvase entre la rápida y el vial existente. En esta zona se encuentra una llanura bastante amplia manteniendo prácticamente la misma cota que la del canal, a unos +858.70 m, mientras que en la alternativa 2 se encuentra antes de la rápida terminal disponiendo de una superficie menor dado que cerca se encuentra el arroyo del Juncosillo el cual no se va a interferir la construcción en este cauce. En esta zona la cota también se encuentra a la misma que el canal ATS, con +837.97 m. si se prolonga unos metros en perpendicular a la toma de agua, en la margen derecha se aprecian unas llanuras que permiten crear una cerrada no muy grande, pero con una pequeña elevación permitiría almacenar un volumen considerable de agua, formando como una balsa, funcionando de manera similar a una pequeña presa que permita captar y regular el agua entrante directamente del canal ATS en ese punto de toma, aprovechando los mismos materiales de la futura excavación para la colocación de la tubería y del sobrante del movimiento de tierras con el que se realizará el vaso de la cámara de carga, buscando un balance entre desmonte y relleno de valor nulo.

Por lo tanto, puesto que se conocen las líneas de nivel cada 10 metros, se puede calcular aproximadamente la superficie inundada por cada línea de nivel.

Alternativa 1 y 3			Alternativa 2	
Altura deposito (m)	Superficie inundación(m2)	Volumen de agua (m3)	Superficie inundación(m2)	Volumen de agua (m3)
1	12000	12000	8200	8200
2	17000	34000	13200	26400
2,5	22000	55000	18200	45500
3	27000	81000	23200	69600
3,5	32000	112000	28200	98700
4	37000	148000	33200	132800
4,5	42000	189000	38200	171900
5	47000	235000	43200	216000
5,5	52000	286000	48200	265100
6	57000	342000	53200	319200
6,5	62000	403000	58200	378300
7	67000	469000	63200	442400
7,5	72000	540000	68200	511500
8	77000	616000	73200	585600
8,5	82000	697000	78200	664700
9	87000	783000	83200	748800

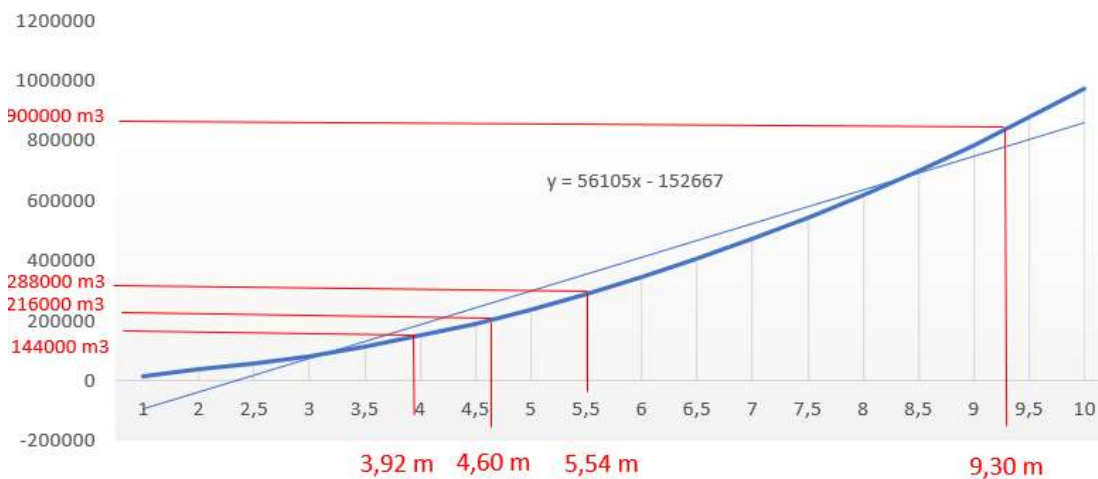
## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

9,5	92000	874000	88200	837900
10	97000	970000	93200	932000

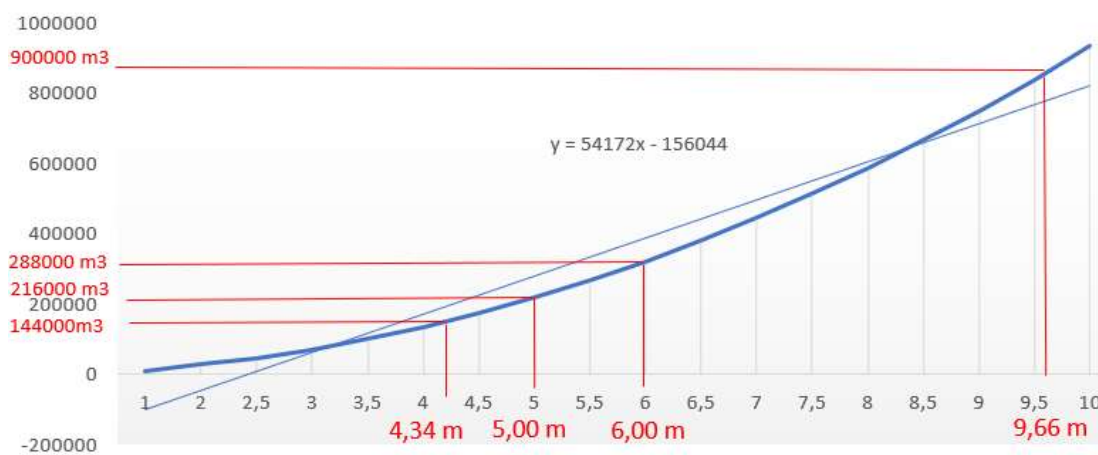
Esta tabla establece el volumen que es capaz de retener la superficie que el terreno ofrece suponiendo una elevación del depósito.

Si se representa en un gráfico el volumen de agua almacenado y los valores de la altura a la que debe encontrarse la plataforma (o cerrada) donde contruir la cámara de carga, podemos aproximar la curva a una función en la que se puede despejar la altura de la cámara de carga para contener un volumen de 288.000 m<sup>3</sup>, 216.000 m<sup>3</sup>, 144.000 m<sup>3</sup>, 900.000 m<sup>3</sup> respectivamente, en función de la ubicación deseada:

ALTERNATIVA 1 y 3: Volumen (m3) vs Altura del Azud (m)



ALTERNATIVA 2: Volumen (m3) vs Altura del Azud (m)



## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

La altura de la cámara de carga puede ser aumentada bien conforme más volumen de agua se deba almacenarse o bien aumentando la dimensión en planta con el mismo calado. Sin embargo, en vista de los resultados, en ambos planteamientos de ubicación (alternativa 1 y3 y alternativa 2), como se ha comentado anteriormente no es factible considerar la situación de central regulada operando 10 h al día con un caudal de equipamiento de 60 m<sup>3</sup>/s, es decir, el caso que requiere de un volumen de almacenamiento de 900.000 m<sup>3</sup>. Esta solución presentaría excesivos costes de excavación y dado que el balance entre la inversión y la productividad que puede ofrecer no compensan se descarta esta posibilidad.

Estas alturas o profundidades que deberá tener como resultado de este análisis serán los valores mínimos necesarios ya que se está considerando el volumen de agua a turbinar en cada caso de central regulada, y, por tanto, no es la capacidad de regulación de la cámara de carga lo que se está priorizando. Esto se ha decidido así porque se trata de optimizar las dimensiones del depósito, si se hubiese analizado las profundidades debidas a la capacidad de regulación (valores de volumen muy superiores al volumen turbinado) darían profundidades muy elevadas y por tanto sobredimensionaríamos el diseño de estas balsas o cerradas donde almacenar el agua. Es por ello por lo que contrastando los cálculos definidos en el **ANEXO 2** relativos al diseño de la cámara de carga junto con estos resultados se planteará la solución desde un punto de vista técnico y económico.

Q entrada (m <sup>3</sup> /s)	operatividad (h)	Q turbinar (m <sup>3</sup> /s)	Volumen para turbinar(m <sup>3</sup> )		Diámetro (m)	S (m)	h (m)	Capacidad regulación (m <sup>3</sup> )	V entr (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	L1 (m)	L2 (m)
15	24	15	1296000	A1	2,25	1,58	4,13	0,00	2,03			
				A2	2,50	1,75	4,55	0,00	2,03			
				A3	3,00	2,10	5,40	0,00	2,03			
10	8	30	288000	A1	3,00	2,10	5,40	576000	1,85	106667	384,0	277,8
				A2	3,25	2,28	5,83	576000	1,85	98884	384,0	257,5
				A3	4,00	2,80	7,10	576000	1,85	81127	384,0	211,3
25	20	30	1800000	A1	3,00	2,10	5,40	360000	2,24	66667	240,0	277,8
				A2	3,25	2,28	5,83	360000	2,24	61803	240,0	257,5
				A3	4,00	2,80	7,10	360000	2,24	50704	240,0	211,3
10	6	40	216000	A1	3,25	2,28	5,83	648000	1,85	111245	432,0	257,5
				A2	3,50	2,45	6,25	648000	1,85	103680	432,0	240,0
				A3	4,50	3,15	7,95	648000	1,85	81509	432,0	188,7

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

10	4	60	144000	A1	4,00	2,80	7,10	720000	2,24	101408	480,0	211,3
				A2	4,25	2,98	7,53	720000	2,24	95681	480,0	199,3
				A3	5,25	3,68	9,23	720000	2,24	78049	480,0	162,6
25	10		900000	A1	4,00	2,80	7,10	1260000	1,85	177465	840,0	211,3
				A2	4,25	2,98	7,53	1260000	1,85	167442	840,0	199,3
				A3	5,25	3,68	9,23	1260000	1,85	136585	840,0	162,6

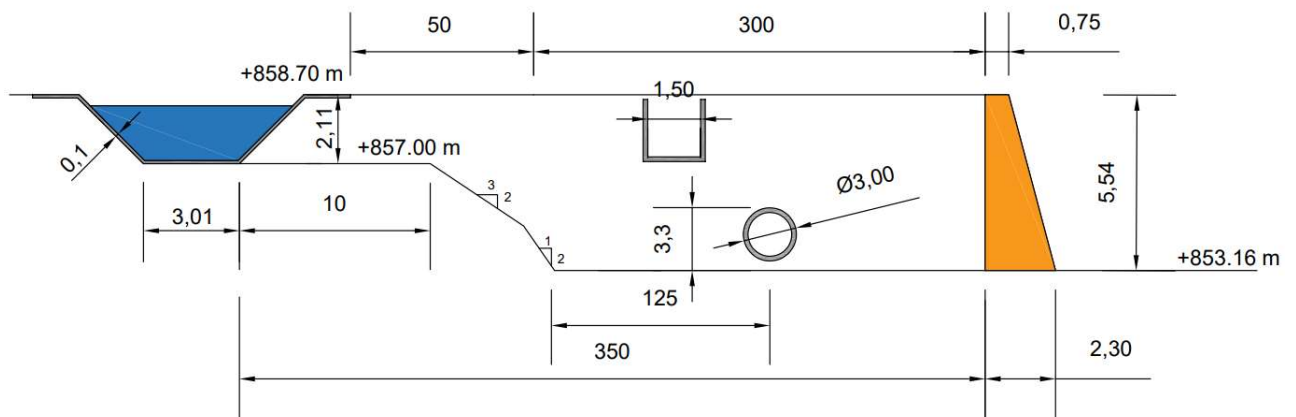
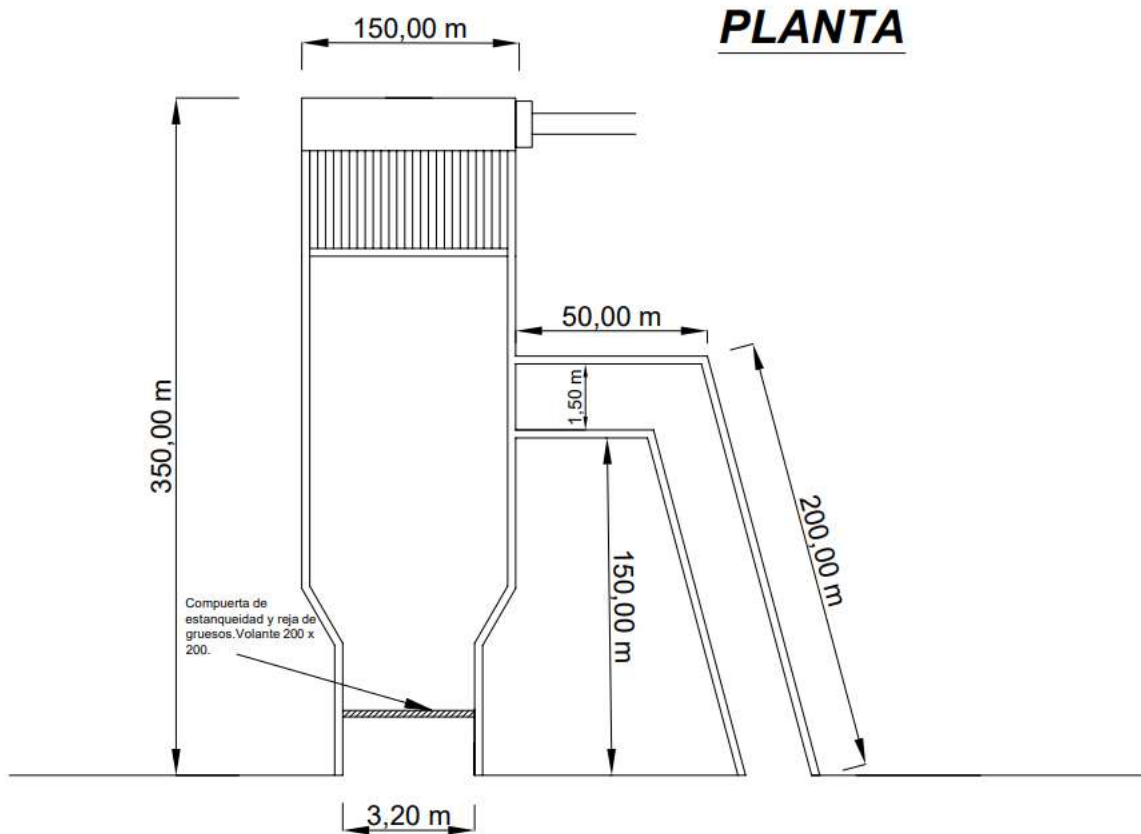
La solución que más ventajas ofrece será considerar la central regulada operando 8h al día, con una altura de la cámara de carga de 5.54 m para la Alternativa 3. La cota del terreno que se encuentra en la margen derecha del punto de toma de agua en el ATS está a +853.016m, y la cota en coronación del canal ATS en el PK 90+640 es de +858.70 m, hay suficiente margen para que la superficie inundada sea la correspondiente a la línea de nivel +555.54 m. Además, esta propuesta es ofrece mayor salto neto y por tanto más producción energética, pudiendo rentabilizar la fuerte inversión debida a las dimensiones de la obra civil.

Si se observan las demás alternativas para esta central, la superficie es demasiado grande, y la topografía del terreno no permite una ocupación tan grande para almacenar agua. La superficie que da como resultado la alternativa 1 10.667 m<sup>2</sup> mayor que 77.000 m<sup>2</sup> disponibles para colocar la cámara de carga suponiendo la capacidad de regulación de 576.000 m<sup>3</sup> y la alternativa 2 lo mismo 98.884 m<sup>2</sup> frente a los 77.000 m<sup>2</sup>.

La solución más factible es reducir la profundidad de la cámara hasta los 5.54 m, lo cual es una profundidad suficiente como para conectar con la tubería de 3 m de diámetro y dejar 0.3 m de resguardo en el fondo por seguridad frente a sedimentos.

Las dimensiones de la solución adoptada serán 45.000 m<sup>2</sup>, formados en rectángulo de 350x150 m y una profundidad de 5.54 m como la coronación del canal se encuentra por encima de la cota a la que se prevé que llegue la cámara de carga, recreciendo la cota del terreno mediante un pequeño muro de materiales sueltos hasta la +855.54 m y rebajando también hasta la misma cota la zona del punto de toma en el ancho de la margen derecha del canal.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.



Como la productividad de la agricultura aquí es escasa, el coste del suelo es asequible, por lo que lo que no es un gran problema inundar la superficie necesaria para confeccionarse la cámara de carga.

Dado que la zona de actuación es muy amplia, además habría que resolver los encuentros con la vía de servicio del canal que discurre por la zona, con lo que los costes

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

se incrementarán. Por otro lado, habría que considerar la aguas abajo alguna solución en el canal de descarga para reducir los impactos ambientales debidos a la liberación repentina del triple de agua, aunque esto no supone un problema porque se vierte al embalse donde no se genera ninguna corriente y tampoco causará ninguna variación de nivel. La superficie en la cola del embalse es de muchas hectáreas. Es cierto que el canal tiene caudales variables a lo largo del año y en ocasiones lleva más de 15 m<sup>3</sup>/s, no obstante, como se ha estudiado, llevará caudales de 30 m<sup>3</sup>/s que es con el que se han justificado estos cálculos. Se entregará el agua dentro del vaso del embalse donde el agua almacenada disipará la energía, para regular las aguas abajo el caudal que se vierte al embalse, con lo que los costes de construcción aumentarían.

En resumen, el beneficio económico obtenido al trabajar las 8h punta con un caudal de entrada de 10 m<sup>3</sup>/s y un caudal de equipamiento para las turbinas de 30 m<sup>3</sup>/s si puede compensar el incremento de la inversión debido a la instalación de una pequeña cerrada formada por materiales de la propia excavación que elevarían hasta la una altura de 5.54 m, con la ejecución de la apertura del canal trasvase para permitir el llenado de la cámara de carga y el desvío de los viales afectados.

El motivo de esta opción es la mejora en el precio de venta de la energía compensa y supera el sobrecoste de la obra. El escenario energético actual demanda centrales reguladas, que puedan mejorar la capacidad de regulación del sistema eléctrico para compensar el incremento esperado en la producción de energías eólica y solar (no reguladas).

### **ANEXO 4. Descripción de las obras y mediciones**

En este documento se abordarán las mediciones y los procedimientos constructivos que deben considerarse a la hora de valorar económicamente la actuación. Desde la construcción de la cámara de carga, la toma de agua, la tubería forzada y el edificio de la central hasta la reposición de firme y los metros cúbicos de material de relleno para confeccionar el muro de materiales sueltos.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## **2.1 Toma de agua**

Se propone una reja de gruesos en la sección de toma, en la entrada compuesta por barras metálicas espaciadas a intervalos regulares para evitar la broza y sólidos de gran tamaño. Se compondrá de un espacio libre entre barrotes de 150 mm y tamaño de los barrotes de 1 pulgada (2.54 cm) y además dentro de la cámara de carga, antes de la conexión con la tubería se colocará otra reja de finos confeccionada por barras de plástico resistente separadas 12 mm de media pulgada de diámetro (1.27 cm) permitiendo el paso del agua de a una velocidad de al menos 1 m/s.

## **2.2 Sección de toma**

### **- Movimiento de tierras**

Habrà que demoler una parte del canal ATS, el cajero del lateral derecho, ademàs de una parte del camino para la conexi3n directa del canal a la càmara de carga. Se supondrà un espesor de 30 cm del firme. El camino tiene 5 m de ancho. En sentido longitudinal se excavaràn 3.4 m para confeccionar el ancho de la secci3n de toma de agua en el PK 90+640 del trasvase por medio de una zanja de 2,21 m de altura.

$$V_{demolici3n\ vial} = 3.4 * 5 * 0.3 = 5.1\ m^3$$

El despeje y desbroce se realizarà para un tramo de 3.5 m de ancho medidos en paralelo al cajero de la margen derecha del canal y por 50 m de longitud en perpendicular. Por lo tanto, la superficie a desbrozar serà:

$$S_{desbroce} = 3.5 * 50 = 175\ m^2$$

El movimiento de tierras para la construcci3n de la secci3n de la toma serà:

$$V_{toma} = \frac{1}{2} * (2.11 * 2.21) * 2.21 + 1.5 * 2.21 + (10 - (2.11 + 1.5)) * 2.21 = 22.60\ m^3$$

### **- Volumen de hormig3n y armados**

El hormig3n necesario para la secci3n de toma serà:

$$V_{HL} = 0.1 * 10 * 3.20 = 3.2\ m^3$$

$$V_{HM} = 0.2 * 2.11 * 10 + 0.1 * 3.20 * 10 = 7.42\ m^3$$

A continuaci3n, se calcularàn los Kg de armado necesario para la secci3n de toma de 10 m de largo. Hay que considerar el empuje de tierras, empuje del agua, el peso propio, el



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

agua del subsuelo etc. A efectos prácticos se empleará un prontuario de la EHE para proporcionar la cuantía de armado mínimo. Se escogerán para armadura transversal:

- 5 barras de 8 mm (0.395 Kg/m)
- 7 barras de 12 mm (0.881 Kg/m)

Dejando 5 cm de resguardo la longitud de cada barra será de 3 m. Por lo que el peso de armadura transversal en los cajeros de la sección es de:

$$P_{armado\ trans} = (2.11 * 5 * 3 * 0.395) + (3.20 * 7 * 3 * 0.881) = 71.70\ Kg$$

Para el armado longitudinal se colocará el mínimo recomendado por la EHE:

- Armaduras de 8 mm cada 10 cm en la solera (zona traccionada): 10 barras
- Armaduras de 8 mm cada 16 cm en la solera (zona comprimida): 8 barras

Por tanto, por metro lineal de sección se tendrá un total de 18 barras longitudinales de 8 mm cada una:

$$P_{armado\ long} = 18 * 10 * 0.395 = 71.10\ Kg$$

En resumen:

$$P_{total\ acero} = 71.70 + 71.10 = 142.20\ Kg$$

## **2.3 Cámara de carga**

### **- Movimiento de tierras y superficie de impermeabilización**

En base a los cálculos realizados en el Anexo 1 y 2, la superficie a desbrozar y la superficie para la colocación de las capas de impermeabilización serán:

$$Sup_{Desbroce} = 305 * 150 = 45.750\ m^2$$

$$Sup_{imperme} = 352.30 * 150 + 5.54 * 150 = 53.676\ m^2$$

El volumen de excavación será:

$$V_{exc} = \frac{(5.54 + 2.11) * 45}{2} * 150 + \frac{1}{2} * (5 + 5.54) * 150 + 300 * 5.54 * 150 \\ = 275.909,25\ m^3$$

### **- Muro de materiales sueltos**

$$V_{mat} = \frac{1}{2} * (0.75 + 2.30) * 5.54 * 150 + \frac{1}{2} * (0.75 + 2.30) * 5.54 * 300 = 3801.83\ m^3$$

## **2.4 Canal del aliviadero**

El canal de aliviadero estará conformado de hormigón de sección en cajón con un espesor de 0,10 m en las paredes y la solera. A continuación, se calculará el volumen y los armados mínimos:

$$\begin{aligned}V_{horm} &= 50 * 0.2 * 2.00 + 1.5 * 0.1 * 50 + 200 * 0.2 * 2.00 + 200 * 1.50 * 0.1 \\ &= 137.5 \text{ m}^3\end{aligned}$$

De la misma manera que la sección de toma se procede a medir las cuantías mínimas de armado:

- 5 barras de 8 mm (0.395 Kg/m)
- 7 barras de 12 mm (0.881 Kg/m)

Dejando 5 cm de resguardo la longitud de cada barra será de 3 m. Por lo que el peso de armadura transversal en los cajeros de la sección es de:

$$P_{armado \text{ transv}} = (2 * 5 * 3 * 0.395) + (1.50 * 7 * 3 * 0.881) = 39.60 \text{ Kg}$$

Para el armado longitudinal se colocará el mínimo recomendado por la EHE:

- Armaduras de 8 mm cada 10 cm en la solera (zona traccionada): 10 barras
- Armaduras de 8 mm cada 16 cm en la solera (zona comprimida): 8 barras

Por tanto, por metro lineal de sección se tendrá un total de 18 barras longitudinales de 8 mm cada una:

$$P_{armado \text{ long}} = 18 * 50 * 0.395 + 18 * 200 * 0.395 = 1429.30 \text{ Kg}$$

En resumen:

$$P_{total \text{ acero}} = 39.60 + 1429.30 = \mathbf{1468.91 \text{ Kg}}$$

## **2.5 Tubería Forzada**

### **- Movimiento de tierras**

La tubería de acero con 3 m de diámetro exterior se instalará a lo largo de 2700 m en línea recta, donde irá instalada sobre terreno todo su trazado siguiendo gradualmente el descenso del suelo hasta encontrar la casa de máquinas. Sin embargo, cerca de la colina El Cornero, es posible que se requiera excavar una parte para poder descender la tubería a costa de la topografía que existe. Como son muchos metros la línea recta, es

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

sencillo de toparse con una cota más elevada de la que comienza el trazado de la conducción.

Para considerar estas posibles excavaciones, se estudiará en dejar la tubería enterrada como máximo a 50 cm bajo terreno. En la base se colocarán 15 cm de gravilla, por lo que se excavará una profundidad de 3.65 m dependiendo de la topografía, suponiendo una distancia de 25 m.

Se instalará desde la cámara de carga, atravesando el muro perimetral de materiales sueltos a la cota +853,46 m desde la cara inferior de la tubería. Es posible además que sea necesario realizar algún relleno en zonas específicas además de las excavaciones que se han comentado, pero debido al pequeño volumen que pueden llegar a tener, no se tendrán en cuenta. En ancho de la excavación 3,3 m. De manera aproximada el volumen de la excavación será:

$$V_{\text{Excavación tubería}} = 25 * 3.65 * 3.3 = 300 \text{ m}^3$$

El volumen de relleno con el lecho de gravilla es:

$$V_{\text{relleno gravilla}} = 2.700 * 3.3 * 0.15 = 1336.5 \text{ m}^3$$

Además de la gravilla deberá rellenarse la zanja con el propio material excavado previamente para la puesta de la tubería en la zanja.

$$V_{\text{relleno}} = 0.50 * 2700 = 1350 \text{ m}^3$$

## **2.6 Reposición del vial**

También habrá que demoler una parte del camino para hacer el cruce de este con la tubería forzada. Se supondrá un espesor del firme de 30 cm. El vial de servicio tiene 5 m de ancho. La tubería será protegida con una losa de hormigón HA-25 con malla electrosoldada. Las dimensiones de la losa son de 2 m de ancho (perpendicular al eje de a la tubería) y 5 m de largo (dimensión del tramo del vial que cruza) y un espesor de 20 cm. Por lo que para considerar en los costes tanto la losa como la demolición del camino:

$$V_{\text{hormigón losa}} = 2 * 5 * 0.2 = 2 \text{ m}^3$$

$$Sup_{\text{mallazo}} = 2 * 5 = 10 \text{ m}^2$$

En sentido longitudinal de la vía de servicio afectada se demolerá 5 m para colocar la tubería y luego se protegerá con una losa de hormigón:

$$V_{\text{demolición cruce tub}} = 5 * 5 * 0.3 = 7.5 \text{ m}^3$$

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

En cuanto a la reposición de firmes será de:

$$Sup_{firmes} = 3.2 * 5 * 2 * 5 = 26 m^2$$

## **2.7 Edificio de la central**

Habrá que diseñar un edificio de máquinas para la turbinación y la transformación de la energía.

### **- Acondicionamiento del terreno**

Por un lado, se deberá realizar un desbroce y limpieza del terreno con una profundidad mínima de 25 cm.

$$V_{desbroce} = 24.5 * 20 * 0.25 = 122.5 m^3$$

Posteriormente se realizará la excavación en zanjas para las cimentaciones

$$V_{exc} = 20.5 * 16 * 2.10 = 688.8 m^3$$

y se verterá y compactará una capa de zahorra artificial de 20 cm para la base de la solera para confeccionar una explanada.

$$V_{zahorra} = 20.5 * 16 * 0.2 = 65.6 m^3$$

Finalmente se verterá el hormigón de limpieza de 10 cm de espesor en el fondo de la excavación para poder ejecutar las cimentaciones.

$$V_{HL} = 20.5 * 16 * 0.1 = 32.8 m^3$$

### **- Cimentaciones y estructura**

Estas serán 12 zapatas aisladas de hormigón armado HA-25/B/20/IIa de dimensiones 2 x 0.7 m y una cuantía de 80 Kg/m<sup>2</sup> fabricado en central, además de 1 viga de atado de 0.5x0.5 m y una cuantía de 160 Kg/m<sup>2</sup>.

$$V_{ZA} = 2 * 0.7 * 12 = 16.8 m^3$$

$$V_{VA} = 1 * 0.5 * 0.5 = 0.25 m^3$$

También deberá de realizarse una zapata corrida de cimentación para el muro de cerramiento de la parcela de 0.4x0.4 m con una cuantía de 70 Kg/m<sup>2</sup>

$$V_{zapcorrida} = 1 * 20.50 * 2 * 0.4 * 0.4 = 6.56 m^3$$

Vigas planas de hormigón armado HA-25/B/20/IIa con 500 Kg/cm<sup>2</sup> de acero B 500 S de 0.4x0.3 m de sección.

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

$$V_{vigas} = 20.50 * 0.4 * 0.3 + 16 * 0.4 * 0.3 = 4.38 m^3$$

Estructura de hormigón armado con un volumen de 0.177 m<sup>3</sup>/m y una cuantía total de 40 Kg/m<sup>2</sup>, junto con un forjado y capa de compresión.

$$Sup_{estructura} = PLanta\ baja + Cubierta = 20.50 * 16 * 2 = 656 m^2$$

Fachada formada por 7 cm de ladrillo cerámico hueco doble recibida con mortero de cemento

$$Sup_{fachada} = 20.50 * 0.07 + 20.50 * 0.07 + 16 * 0.07 + 16 * 0.07 = 5.11 m^2$$

## - Elementos de protección

Barandillas y vallas de doble torsión en todo el perímetro de la parcela, así como puerta y ventanas.

$$L_{valla} = 24.5 + 24.5 + 20 + 20 = 89 m$$

## ANEXO 5. Valoración económica

El objetivo del presente anexo es establecer los precios de las principales unidades de obra y en base a ello elaborar el presupuesto.

### 2.1 Tabla de precios de la obra civil

Capítulo 01. Toma de agua					
Código	Descripción	ud	Cantidad	Importe Unitario	Importe Total
01.01	Ataguía deslizante junto ra gruesa de limpieza	ud	1.00	81.00	81.00
01.02	Demolición de la pared lateral del canal ATS en el PK 90+640 de 2,11 m de profundidad con medios mecánicos y carga sobre camión.	m3	1.73	4.78	8.27
<b>TOTAL, CAPÍTULO 1</b>					<b>89.27</b>
Capítulo 02. Sección de la toma de agua					
Código	Descripción	ud	Cantidad	Importe Unitario	Importe Total

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

<b>02.01</b>	Demolición de mezcla bituminosa en firme realizada con medios mecánicos, incluida la retirada de escombros a contenedor o acopio intermedio y sin incluir la carga y el transporte a vertedero	m3	5.10	7.00	35.71
<b>02.02</b>	Despeje, desbroce y nivelación de terrenos hasta 25cm de profundidad, con vegetación de hasta 2m de altura, incluida la retirada de material, sin incluir la carga y transporte.	m2	175.00	0.95	166.25
<b>02.03</b>	Excavación a cielo abierto en tierras para desmonte de terreno realizada con medios mecánicos, incluida la carga de material y su acopio intermedio o su transporte a vertedero a una distancia menor de 10km.	m3	22.60	1.75	39.55
<b>02.04</b>	Ejecución de la sección rectangular de hormigón con dimensiones de 3,20 m de ancho y 2,11 m de profundidad, sobre una capa de 10 cm de hormigón de limpieza, incluido encofrado. Totalmente puesto en obra	m3	10.62	64.84	688.56
<b>02.05</b>	Suministro de emparrillados montados en taller de acero corrugado B 400 S de distintos diámetros y colocación como armado en muros y soleras de hormigón, incluido el atado de solapes, la colocación de separadores, cortes y despuntes, totalmente montada y lista para hormigonar, según EHE-08, DB SE-C del CTE y NTE-CS	Kg	142.20	1.60	227.52
<b>02.06</b>	Impermeabilización del canal con geomembrana homogénea de policloruro de vinilo plastificado (PVC-P), con resistencia a la intemperie, de 1,2 mm de espesor, color gris, colocada sin adherir al soporte sobre geotextil tejido a base de polipropileno, con una resistencia a la tracción longitudinal de 70,0	m2	6.75	2.50	16.88

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

	kN/m y una resistencia a la tracción transversal de 70,0 kN/m.				
<b>TOTAL, CAPÍTULO 2</b>					<b>1174.46</b>
<i>Capítulo 03. Cámara de carga</i>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>ud</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Importe Unitario</b>	<b>Importe Total</b>
<b>03.01</b>	Rejilla de limpieza de finos	ud	1.00	80.75	80.75
<b>03.02</b>	Despeje, desbroce y nivelación de terrenos hasta 25cm de profundidad, con vegetación de hasta 2m de altura, incluida la retirada de material, sin incluir la carga y transporte.	m2	45.75	0.95	43.46
<b>03.03</b>	Excavación a cielo abierto en tierras para desmonte de terreno realizada con medios mecánicos, incluida la carga de material y su acopio intermedio o su transporte a vertedero a una distancia menor de 10km.	m3	275909.25	1.75	482841.19
<b>03.04</b>	Acondicionamiento de las paredes de la Cámara de carga, impermeabilización formada por geotextil antipunzonante de 250 gr/m2., colocado sobre terreno compactado; lámina de polietileno de alta densidad (PEAD) de color beige y 1,5 mm. de espesor, resistente a microorganismos, convenientemente soldada mediante calor (aire caliente) y solapada.	m2	53.68	2.50	134.20



## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

	Muro de contención de gravedad, compuesto de rellenos del acopio de la propia excavación, con grava para la base de cimentación y con revestimiento de bloques de hormigón. Totalmente compactado y puesta por tongadas hasta la coronación del muro. Incluye estabilidad de taludes	m3	3801.83	10.60	40299.40
<b>03.05</b>	Cercado con enrejado metálico galvanizado en caliente de malla simple torsión, trama 40/14 de 1,5 m. de altura y postes de tubo de acero galvanizado por inmersión, de 48 mm. De diámetro y tornapuntas de tubo de acero galvanizado de 32 mm. De diámetro, totalmente montada, recibido con mortero de cemento y arena de río 1/4, tensores, grupillas y accesorios	ml	800.00	10.00	8000.00
<b>TOTAL, CAPÍTULO 3</b>					<b>531399.00</b>
<i>Capítulo 04. Aliviadero</i>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>ud</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Importe Unitario</b>	<b>Importe Total</b>
<b>04.01</b>	Demolición de mezcla bituminosa en firme realizada con medios mecánicos, incluida la retirada de escombros a contenedor o acopio intermedio y sin incluir la carga y el transporte a vertedero.	m3	5.1	6.91	35.25
<b>04.02</b>	Despeje, desbroce y nivelación de terrenos hasta 25cm de profundidad, con vegetación de hasta 2m de altura, incluida la retirada de material, sin incluir la carga y transporte.	m2	175	0.95	166.25
<b>04.04</b>	Ejecución de la sección rectangular de hormigón con dimensiones de 3,20 m de ancho y 2,11 m de profundidad, sobre una capa de 10 cm de hormigón de limpieza, incluido encofrado. Totalmente puesto en obra	m3	137.5	29.36	4036.73

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

<b>04.05</b>	Suministro de emparrillados montados en taller de acero corrugado B 400 S de distintos diámetros y colocación como armado en muros y soleras de hormigón, incluido el atado de solapes, la colocación de separadores, cortes y despuntes, totalmente montada y lista para hormigonar, según EHE-08, DB SE-C del CTE y NTE-CS	Kg/m2	1429.3	1.60	2286.88
<b>04.07</b>	Impermeabilización del canal con geomembrana homogénea de policloruro de vinilo plastificado (PVC-P), con resistencia a la intemperie, de 1,2 mm de espesor, color gris, colocada sin adherir al soporte sobre geotextil tejido a base de polipropileno, con una resistencia a la tracción longitudinal de 70,0 kN/m y una resistencia a la tracción transversal de 70,0 kN/m.	m2	3	2.50	7.50
<b>TOTAL, CAPÍTULO 4</b>					<b>6532.61</b>
<i>Capítulo 05. Tubería Forzada</i>					
Código	Descripción	ud	Cantidad	Importe Unitario	Importe Total
<b>05.01</b>	Demolición de mezcla bituminosa en firme realizada con medios mecánicos, incluida la retirada de escombros a contenedor o acopio intermedio y sin incluir la carga y el transporte a vertedero.	m3	4.95	6.912	34.21
<b>05.02</b>	Excavación a cielo abierto en tierras para desmonte de terreno realizada con medios mecánicos, incluida la carga de material y su acopio intermedio o su transporte a vertedero a una distancia menor de 10km.	m3	300	1.75	525
<b>05.03</b>	Gravilla de relleno debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual	m3	1336.5	8.55	11427.08

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

<b>05.04</b>	Suministro y vertido de relleno lateral compactado de la zanja con el propio material excavado mediante equipos mecánicos incluido el vibrado y posterior relleno con la misma hasta 50 cm por encima de la generatriz superior.	m3	1350	0.15	202.50
<b>05.06</b>	Tubería enterrada para abastecimiento de los equipos mecánicos, formada por tubería de acero estirado con soldadura, de DN 3000 mm de diámetro, unión roscada, colocada sobre lecho de grava de 15 cm de espesor, que arranca desde la toma en la cámara de carga hasta la turbina. Incluso, accesorios y piezas especiales, y cinta anticorrosiva y juntas de dilatación.	ml	2700	38.502	103955.40
<b>05.07</b>	Reposición de firme constituido por: 0.05m. de Mezcla bituminosa Densa en rodadura. 0.4m. de Zahorra artificial. Extendido y compactación de mezcla bituminosa en caliente tipo AC 16 surf B50/70 D con árido calizo, con un rendimiento de 150-300 t/día, sin incluir el transporte de la mezcla al punto de vertido. Riego de imprimación realizado con emulsión catiónica C60BF5 con un índice de rotura a <120-180 con una dotación de 500 g/m2 de betún residual, compuesto por un 60% de betún y un contenido menor o igual de 8% de fluidificante. Extendido y compactado de zahorra artificial realizado con equipo medio, incluso humectación y/o desecación, sin incluir el transporte de material.	ml	26	11.745	305.37
	Elemento de protección para la tubería al paso del cruce con el vial próximo al PK 92+250 mediante losa de hormigón HA-25/B/20/IIa con malla electrosoldada en todo su ancho incluido la puesta del firme bituminoso	m3	2	54	108
<b>TOTAL, CAPÍTULO 5</b>					<b>116557.5594</b>

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

<i>Capítulo 06. Edificio de la central</i>					
<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>ud</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Importe Unitario</b>	<b>Importe Total</b>
<b>06.01</b>	Acondicionamiento del terreno. Desbroce y limpieza del terreno, profundidad mínima de 25 cm, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión, sin incluir transporte a vertedero autorizado	m2	122.5	0.79	96.775
<b>06.02</b>	Excavación en zanjas para cimentaciones en suelo de arcilla semidura, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión	m3	688.8	1.75	1205.4
<b>06.03</b>	Zahorra artificial de 20 cm en caja para base solera, con aporte de grava de cantera de piedra caliza, Ø40/70 mm, compactación mediante equipo manual con bandeja vibrante	m3	65.6	6.25	410
<b>06.04</b>	Solera ventilada de hormigón, con encofrado, hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con bomba; mallazo ME 15x15, Ø 5 mm, acero B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080, en capa de compresión de 4 cm de espesor	m3	13.12	13.74	180.30816
<b>06.05</b>	Capa de hormigón de limpieza HL-150/B/20 fabricado en central y vertido con cubilote, de 10 cm de espesor	m2	32.8	6.183	202.8024
<b>06.06</b>	Zapatas aisladas de cimentación de hormigón armado HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 84,81 kg/m <sup>3</sup> .	m3	16.8	43.407	729.2376
<b>06.07</b>	Zapata corrida de cimentación para el muro de cerramiento, HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 70 kg/m <sup>3</sup> .	m3	6.56	18.21	119.44
<b>06.08</b>	Viga de atado, HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 160 kg/m <sup>3</sup>	m3	0.25	11.29	2.82

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

<b>06.09</b>	Viga plana de hormigón armado, HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote, acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 500,581 kg/m <sup>3</sup> , encofrado de madera, en planta de hasta 3 m de altura libre	m3	4.38	42.86	187.72
<b>06.10</b>	Estructura de hormigón armado HA-25/B/20/Ila fabricado en central y vertido con cubilote; volumen total de hormigón 0,177 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ; acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía total de 30,9 kg/m <sup>2</sup> ; encofrado de madera; forjado reticular, horizontal, de canto 30 = 25+5 cm; nervios "in situ" de 10 cm	m2	656	41.92	27500.83
<b>06.11</b>	Hoja exterior en cerramiento de fachada, de 1/2 pie de espesor de fábrica, de ladrillo cerámico cara vista perforado clinker flaseado, rojo, 24x11,5x5 cm, con junta de 1 cm, rehundida, recibida con mortero de cemento M-7,5.	m2	5.11	13.73	70.18
<b>06.12</b>	Barandilla recta de fachada de 100 cm de altura de aluminio anodizado color natura y Cerramiento de parcela formado por malla de simple torsión, de 8 mm de paso de malla y 1,1 mm de diámetro, acabado galvanizado y postes de acero galvanizado, de 48 mm de diámetro y 1 m de altura.	ml	89	18	1602
<b>TOTAL, CAPÍTULO 6</b>					<b>32307.51336</b>
<b>TOTAL, OBRA CIVIL</b>					<b>688060.41</b>

### Tabla de precios de los equipos electromecánicos

<i>Capítulo 07. Equipamiento mecánico</i>					
Código	Descripción	ud	Cantidad	Importe Unitario	Importe Total
<b>07.01</b>	Válvula de grupo	ud	1.00	16270.00	16270.00
<b>07.02</b>	Turbina Francis vertical	ud	1.00	236555.00	236555.00
<b>TOTAL, CAPÍTULO 7</b>					<b>252825</b>
<i>Capítulo 08. Equipamiento eléctrico</i>					

Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico  
del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

Código	Descripción	ud	Cantidad	Importe Unitario	Importe Total
08.01	Alternador	ud	1.00	37581.00	37581.00
08.02	Equipo de excitación	ud	1.00	4238.00	4238.00
08.03	Trafo de excitación	ud	1.00	1575.00	1575.00
08.04	Celdas de generación	ud	1.00	3869.00	3869.00
08.05	Transformadores de grupo	ud	1.00	24320.00	24320.00
08.06	Cables de generación	ud	1.00	5063.00	5063.00
08.07	SS.AA de c.c. y c.a.	ud	1.00	9523.00	9523.00
08.08	Tráfos Unidad de SS.AA	ud	1.00	3580.00	3580.00
<b>TOTAL, CAPÍTULO 8</b>					<b>89749</b>
<i>Capítulo 09. Sistema de control y protección</i>					
Código	Descripción	ud	Cantidad	Importe Unitario	Importe Total
09.01	Paneles de control	ud	1.00	4156.00	4156.00
09.02	Paneles de protección eléctrica	ud	1.00	6687.00	6687.00
09.03	Paneles de medida de energía	ud	1.00	420.00	420.00
09.04	Equipos de comunicaciones	ud	1.00	250.00	250.00
<b>TOTAL, CAPÍTULO 9</b>					<b>11513</b>
<i>Capítulo 10. Sistemas complementarios mecánicos</i>					
Código	Descripción	ud	Cantidad	Importe Unitario	Importe Total
10.01	Sistema de agotamiento	ud	1.00	1013.00	1013.00
10.02	Sistema de refrigeración y alimentación junta del eje	ud	1.00	5232.00	5232.00
10.03	Sistema de aire comprimido	ud	1.00	1767.00	1767.00
<b>TOTAL, CAPÍTULO 10</b>					<b>8012</b>
<i>Capítulo 11. Sistemas complementarios eléctricos</i>					
Código	Descripción	ud	Cantidad	Importe Unitario	Importe Total
11.01	Sistema de alumbrado y fuerza	ud	1.00	1425.00	1425.00
11.02	Bandejas canalizadoras	ud	1.00	1360.00	1360.00
11.03	Cables de fuerza y control de BT	ud	1.00	2650.00	2650.00
11.04	Red de tierras	ud	1.00	962.00	962.00
11.05	Grupo electrógeno	ud	1.00	6390.00	6390.00
<b>TOTAL, CAPÍTULO 11</b>					<b>12787</b>
<b>TOTAL, EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS</b>					<b>374886.00</b>

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## Ingeniería y dirección de obra

<i>Capítulo 12. ingeniería y dirección de obra</i>					
Código	Descripción	ud	Cantidad	Importe Unitario	Importe Total
12.01	Ingeniería y dirección de obra	-	-	25045	25045
<b>TOTAL, CAPÍTULO 12</b>					<b>25045</b>
<b>TOTAL, INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE OBRA</b>					<b>25045.00</b>

## Coste de la inversión

<b>Obra Civil</b>	688,060.41 €
<b>Equipo electromecánico y sistemas auxiliares</b>	374,886.00 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	<b>1,062,946.41</b> €

<b>Presupuesto de Ejecución Material</b>	1,062,946.41 €
<b>Gastos generales (13%)</b>	138,183.03 €
<b>Beneficio Industrial (7%)</b>	74,406.25 €
<b>PRESUPUESTO POR CONTRATA</b>	<b>1,275,535.69</b> €

<b>Presupuesto por contrata</b>	1,275,535.69 €
<b>Ingeniería y dirección de obra</b>	25,045.00 €
<b>IVA (21%)</b>	267,862.50 €
<b><u>PRESUPUESTO TOTAL</u></b>	<b>1,568,443.19</b> €



# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

## 2.2 Flujo de Caja

Para la valoración de la inversión se utilizará: el VAN<sup>5</sup> que se define como el valor actualizado de los cobros y pagos generados por una inversión:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_T}{(1+r)^t} - I_0$$

Donde:

- $V_T$  Flujo de caja de cada periodo  $t$
- $I_0$  Valor del desembolso inicial de la inversión
- $r$  es la tasa de descuento, se utiliza para descontar los flujos de efectivo futuros obteniendo así su valor actual.

El TIR<sup>6</sup> es la tasa de descuento que hace que el VAN sea nulo. Este parámetro representa el valor de la tasa de descuento con el cual se recupera la inversión en el último año de vida (en este caso 25 años).

- El coste de la inversión: 919233,35 €
- Una serie de pagos que incluirán seguros, impuestos, gastos de operación y mantenimiento. Los gastos se actualizarán cada año con un valor del 1,4% y se aproximarán con la siguiente expresión:
- $Gastos = 600 * \sqrt{(Potencia instalada)} = 600 * \sqrt{11116.89} = 63262.00 \text{ €/año}$
- Una vida útil de 25 años

A continuación, se plantean 3 escenarios diferentes: realista, optimista y pesimista en función de la evolución del precio de venta de la energía. En el primer escenario podría considerarse que los precios de la energía permanecen estables tomando valores de referencia de los últimos años, por ejemplo, el máximo de los precios medios mensuales de los años 2016-2017-2018 publicados por OMIE: 60,93 €/KWh. Suponiendo una tasa de descuento del 5% y un IPC<sup>7</sup> (media estadística que indica la evolución del conjunto de precios de los bienes y servicios se utilizará para actualizar los precios) del 2,5%, se han obtenido los siguientes resultados:

---

<sup>5</sup> Valor Actual Neto

<sup>6</sup> Tasa Interna de Retorno

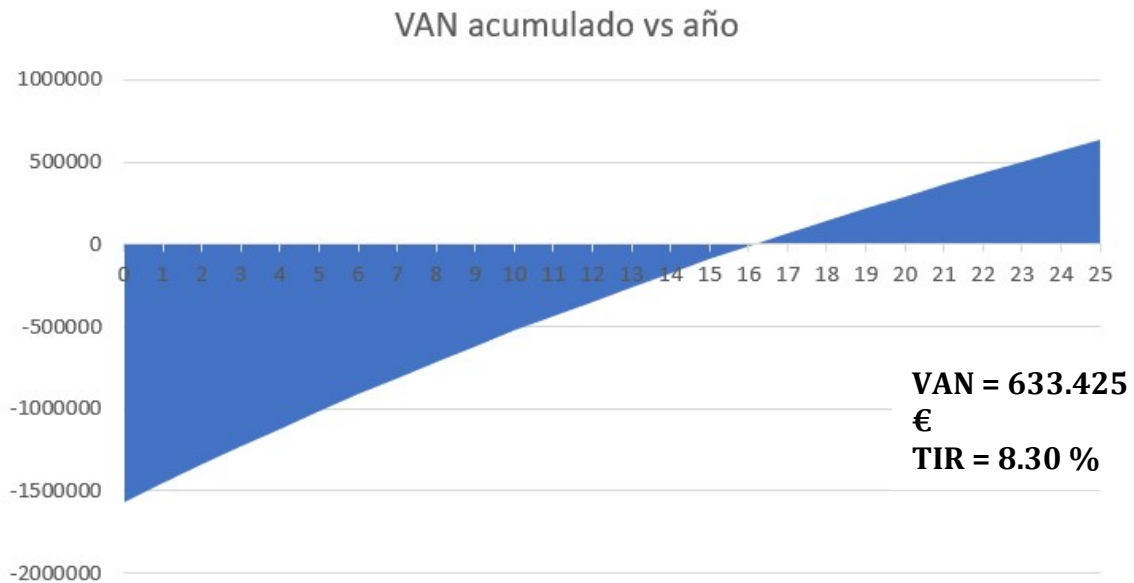
<sup>7</sup> Índice de Precios al Consumidor

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

ESCENARIO 1: Estabilización del precio de la energía
Tasa de descuento: 5%
Precio medio de venta: 54,75 €/kWh

Año	Gasto	Ingreso	Flujo caja	VAN	Acumulado
0	1568443.19		-1568443.19	-	-1568443
1	63262.00	184905.41	121643.41	115850.866	-1452592
2	64843.55	189528.04	124684.49	113092.512	-1339500
3	66464.64	194266.24	127801.61	110399.833	-1229100
4	68126.25	199122.90	130996.65	107771.266	-1121329
5	69829.41	204100.97	134271.56	105205.283	-1016123
6	71575.14	209203.50	137628.35	102700.395	-913423
7	73364.52	214433.58	141069.06	100255.148	-813168
8	75198.64	219794.42	144595.79	97868.1205	-715300
9	77078.60	225289.28	148210.68	95537.9272	-619762
10	79005.57	230921.52	151915.95	93263.2146	-526499
11	80980.71	236694.55	155713.85	91042.6619	-435456
12	83005.22	242611.92	159606.69	88874.9795	-346581
13	85080.35	248677.22	163596.86	86758.9085	-259822
14	87207.36	254894.15	167686.78	84693.2202	-175129
15	89387.55	261266.50	171878.95	82676.715	-92452
16	91622.24	267798.16	176175.93	80708.2218	-11744
17	<b>93912.79</b>	<b>274493.12</b>	<b>180580.32</b>	<b>78786.5974</b>	<b>67043</b>
18	96260.61	281355.44	185094.83	76910.7261	143953
19	98667.13	288389.33	189722.20	75079.5183	219033
20	101133.80	295599.06	194465.26	73291.9107	292325
21	103662.15	302989.04	199326.89	71546.8652	363872
22	106253.70	310563.77	204310.06	69843.3685	433715
23	108910.05	318327.86	209417.81	68180.4311	501896
24	111632.80	326286.06	214653.26	66557.0875	568453
25	114423.62	334443.21	220019.59	64972.3949	633425
				TIR	8.3%

# Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.



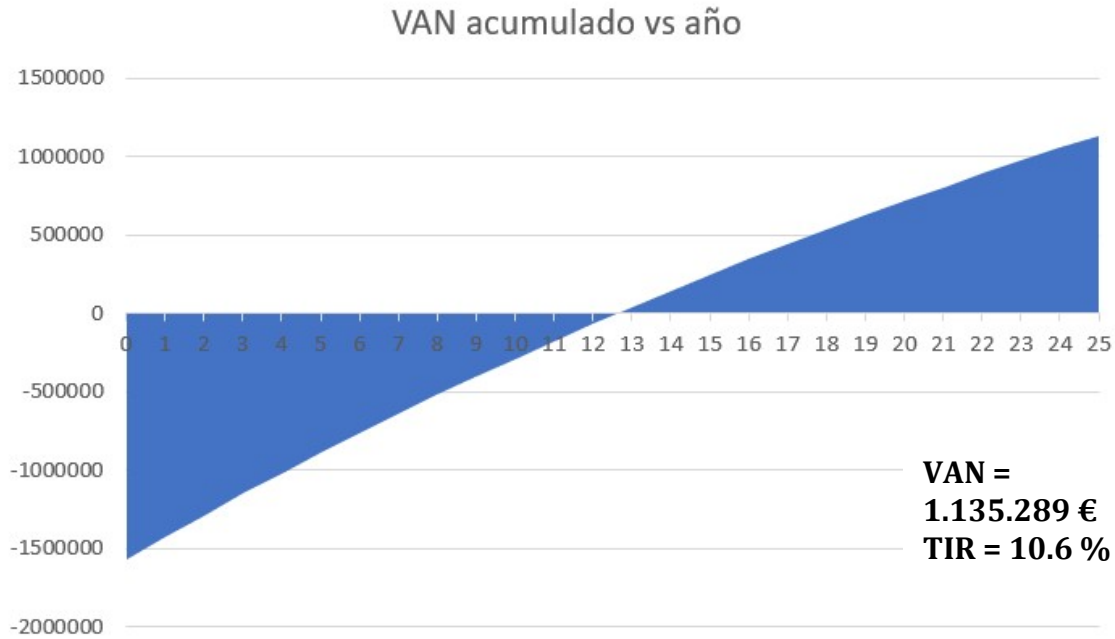
ESCENARIO 2: Aumento de un 15% el precio de la energía
Tasa de descuento: 5%
Precio medio de venta: 62,96 €/kWh

Año	Gasto	Ingreso	Flujo caja	VAN	Acumulado
0	1568443.19	0.00	-1568443.19	-	-1568443
1	63262.00	212631.157	149369.16	142256.342	-1426187
2	64843.55	217946.94	153103.39	138869.286	-1287318
3	66464.64	223395.61	156930.97	135562.874	-1151755
4	68126.25	228980.50	160854.25	132335.187	-1019419
5	69829.41	234705.01	164875.60	129184.349	-890235
6	71575.14	240572.64	168997.49	126108.531	-764127
7	73364.52	246586.95	173222.43	123105.947	-641021
8	75198.64	252751.63	177552.99	120174.853	-520846
9	77078.60	259070.42	181991.82	117313.547	-403532
10	79005.57	265547.18	186541.61	114520.368	-289012
11	80980.71	272185.86	191205.15	111793.692	-177218
12	83005.22	278990.50	195985.28	109131.938	-68086
13	85080.35	285965.27	200884.91	106533.558	38447
14	87207.36	293114.40	205907.04	103997.045	142444
15	89387.55	300442.26	211054.71	101520.925	243965
16	91622.24	307953.31	216331.08	99103.7598	343069
17	93912.79	315652.15	221739.36	96744.1465	439813
18	96260.61	323543.45	227282.84	94440.7144	534254
19	98667.13	331632.04	232964.91	92192.126	626446

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

20	101133.80	339922.84	238789.03	89997.0753	716443
21	103662.15	348420.91	244758.76	87854.2878	804297
22	106253.70	357131.43	250877.73	85762.5191	890060
23	108910.05	366059.72	257149.67	83720.5543	973780
24	111632.80	375211.21	263578.41	81727.2078	1055508
25	114423.62	384591.49	270167.87	79781.3219	1135289

TIR 10.6%



**ESCENARIO 3: Disminución de un 15% el precio de la energía**

Tasa de descuento: 5%

Precio medio de venta: 46,54 €/kWh

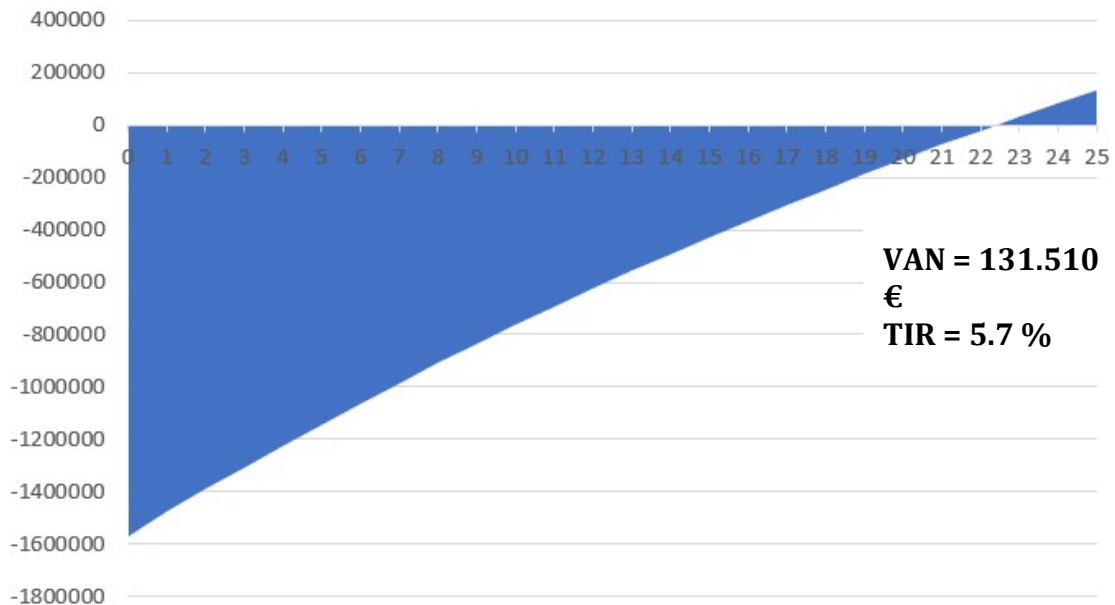
Año	Gasto	Ingreso	Flujo caja	VAN	Acumulado
0	1568443.19	0.00	-1568443.19	-	-1568443
1	63262.00	157176.843	93914.85	89442.7096	-1479000
2	64843.55	161106.26	96262.72	87313.1212	-1391687
3	66464.64	165133.92	98669.28	85234.2374	-1306453
4	68126.25	169262.27	101136.02	83204.8508	-1223248
5	69829.41	173493.83	103664.42	81223.7829	-1142024
6	71575.14	177831.17	106256.03	79289.8833	-1062735
7	73364.52	182276.95	108912.43	77402.029	-985333
8	75198.64	186833.87	111635.24	75559.1235	-909773
9	77078.60	191504.72	114426.12	73760.0968	-836013

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

10	79005.57	196292.34	117286.77	72003.904	-764009
11	80980.71	201199.65	120218.94	70289.5253	-693720
12	83005.22	206229.64	123224.42	68615.9652	-625104
13	85080.35	211385.38	126305.03	66982.2517	-558122
14	87207.36	216670.01	129462.65	65387.4362	-492734
15	89387.55	222086.76	132699.22	63830.5925	-428904
16	91622.24	227638.93	136016.70	62310.8165	-366593
17	93912.79	233329.91	139417.12	60827.2256	-305766
18	96260.61	239163.15	142902.54	59378.9583	-246387
19	98667.13	245142.23	146475.11	57965.1736	-188422
20	101133.80	251270.79	150136.98	56585.0504	-131836
21	103662.15	257552.56	153890.41	55237.7873	-76599
22	106253.70	263991.37	157737.67	53922.6019	-22676
23	108910.05	270591.16	161681.11	52638.7304	29963
24	111632.80	277355.94	165723.14	51385.4273	81348
25	114423.62	284289.83	169866.22	50161.9648	131510

**TIR 5.7%**

VAN acumulado vs año



## **ANEXO 6. RELACIÓN DEL TFM CON LOS ODS**

### **6.1 Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).**

<b>Objetivos de Desarrollo Sostenibles</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>	<b>No Procede</b>
ODS 1. <b>Fin de la pobreza.</b>			x	
ODS 2. <b>Hambre cero.</b>		x		
ODS 3. <b>Salud y bienestar.</b>	x			
ODS 4. <b>Educación de calidad.</b>		x		
ODS 5. <b>Igualdad de género.</b>		x		
ODS 6. <b>Agua limpia y saneamiento.</b>	x			
ODS 7. <b>Energía asequible y no contaminante.</b>	x			
ODS 8. <b>Trabajo decente y crecimiento económico.</b>	x			
ODS 9. <b>Industria, innovación e infraestructuras.</b>	x			
ODS 10. <b>Reducción de las desigualdades.</b>		x		
ODS 11. <b>Ciudades y comunidades sostenibles.</b>	x			
ODS 12. <b>Producción y consumo responsables.</b>	x			
ODS 13. <b>Acción por el clima.</b>	x			
ODS 14. <b>Vida submarina.</b>			x	
ODS 15. <b>Vida de ecosistemas terrestres.</b>	x			
ODS 16. <b>Paz, justicia e instituciones sólidas.</b>			x	
ODS 17. <b>Alianzas para lograr objetivos.</b>	x			

## **6.2 Descripción de la alineación del TFM con los ODS con un grado de relación más alto.**

Existen diferentes políticas mundiales, incluidos los ODS, que incluyen de manera directa e indirecta a la producción energética y al aprovechamiento hidroeléctrico. Muchos de estos ODS no pueden alcanzarse sin tener una energía y un uso razonable y sostenible de los recursos hídricos. A continuación, se van a analizar aquellos ODS que poseen fuertes vínculos con el objeto de este trabajo fin de máster.



ODS-2 → Mejorar la calidad de la tierra y del suelo para “poner fin al hambre”, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

ODS-3 → Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades, evitando la contaminación de la tierra y el suelo debido a procesos químicos peligrosos y a la contaminación del aire y el agua. Además, la reducción de la degradación del suelo puede contribuir a aumentar la producción de alimentos.

ODS-6 → Garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, preservando la calidad del suelo debido al papel que desempeña para ayudar a proporcionar agua limpia para beber y para la agricultura.

ODS-7 → Para satisfacer la creciente demanda de energía accesible a la par que crece la población mundial, es necesario invertir fuentes de energía limpia y mejorar la productividad energética. Expandir la infraestructura y mejorar la tecnología para contar con energía limpia para estimular el crecimiento y ayudar al medio ambiente.

ODS-8 → La instalación de la central promueve el crecimiento económico sostenido, inclusivo y el empleo pleno y productivo con un trabajo decente para todos, sin desigualdad salarial.

ODS-11 → Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean incluso seguros, reversibles y sostenibles, garantizando la protección de la tierra y suelos ya que salvaguardan el patrimonio cultural y natural.



## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

ODS-12→ el aprovechamiento hidroeléctrico en el ATS garantiza modalidades de consumo y producción sostenible, garantizando que los productos químicos y los residuos no lleguen al aire, al agua y al suelo, lo cual puede tener un impacto negativo en nuestra salud y en el medio ambiente. Por ello, es importante la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos del suelo.

ODS-13→ Adoptar medidas urgentes para luchar contra el cambio climático y sus impactos. El suelo puede desempeñar un papel positivo en la reducción de los impactos del cambio climático, mediante la captura de CO<sub>2</sub>, la gestión sostenible de los recursos y la restauración de suelos degradados.

ODS-15→ Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

ODS-17→ Para que el desarrollo de la producción energética se cumpla satisfactoriamente, es necesario establecer asociaciones inclusivas sobre principios y valores, así como sobre una visión y unos objetivos compartidos.

Además de estos ODS en los que el aprovechamiento hidroeléctrico en el canal ATS puede involucrar de manera significativa se encuentra el ODS-9 que trata de construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.



Este objetivo, tiene elevado grado de importancia cuyas metas parciales cuentan con:

- **Infraestructura sostenible.** Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.
- **Industrias inclusiva y sostenible.** Promover una industrialización inclusiva y sostenible y de aquí a 2030 aumentar la contribución de la industria al empleo y

## Estudio de soluciones para el aprovechamiento hidroeléctrico del canal del ATS, en el vertido al embalse de Alarcón.

---

al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales y duplicar esa contribución en los países menos adelantados.

- Acceso a Pymes a servicios financieros y cadenas de valor. Aumentar el acceso de las pequeñas industrias y otras empresas, particularmente en los países en desarrollo, a los servicios financieros incluidos créditos asequibles y su integración en las cadenas de valor y los mercados.
- Modernizar infraestructura, tecnología limpia. Modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.
- Investigación científica, capacidad tecnológica. Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales en particular países en desarrollo, fomentando la innovación y desarrollo de habitantes y los gastos de los sectores público y privado.
- Apoyo a infraestructuras sostenibles y resilientes. Facilitar el desarrollo de infraestructuras sostenibles y resilientes en los países mediante un mayor apoyo financiero, tecnológico y técnico a los países menos adelantados, sin litoral pequeños estados insulares en desarrollo.
- Tecnología, investigación e innovación. Apoyar significativamente el acceso a la tecnología de información y las comunicaciones y esforzarse por proporcionar acceso universal a internet.

Cuando se habla de sostenibilidad, sobre todo en sectores relacionados con la construcción se tiende a pensar que hablamos únicamente de impacto ambiental, pero no hay que olvidar de la sostenibilidad social además de la económica. Son aspectos más complejos de analizar sobre todo en ciencias como la hidráulica que estudia el comportamiento de un recurso primario esencial, el agua, necesarios para llevar a cabo ese bienestar social. Al hablar de cualquier infraestructura como carreteras, puertos, presas, encauzamientos... se comportan como sistemas en los que cualquier alteración en una parte afectará al resto de forma irremediable.

La implantación de las ODS en la instalación de una central hidroeléctrica regulada tiene un efecto a corto plazo muy reducido en la sociedad, pero a largo plazo es bien sabido que es un factor clave en algunas actividades económicas.