

ANEJO Nº 5 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANÁLISIS COMPARATIVO	1
1.1.1. GARANTÍA DE RIEGO.....	1
1.1.2. EFICIENCIA.....	2
1.1.3. FACTORES MEDIOAMBIENTALES Y OTROS.....	3
1.1.4. CONCLUSIONES	3
1.1.5. SOLUCIÓN ADOPTADA.....	4
2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LAS BALSAS.....	5
2.1. CRITERIOS DE DISEÑO	5
2.1.1. BALANCE DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS	5
2.1.2. CONDICIONANTES ECONÓMICOS	5
2.1.3. CONEXIÓN DE BALSAS CONDICIONANTES TÉCNICOS.....	7
2.1.4. CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS.....	7
2.1.5. CONDICIONANTES DE SEGURIDAD.....	7
2.2. CONCLUSIONES.....	9

1. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se han analizado los diversos estudios de soluciones realizados de la zona regable.

A continuación se realiza un resumen de las alternativas propuestas en estudios anteriores:

Proyecto Base: Es el proyecto de referencia cronológica Junio 1995 "Proyecto de Modernización de la zona Regable del Canal de Las Aves", contempla la modernización de la zona regable mediante la entubación de acequias, así como la regulación del canal mediante vertederos de pico de pato y la ejecución de 4 balsas de regulación.

El presente estudio comprende por tanto el análisis económico y actualización del Proyecto Base así como el estudio de las siguientes alternativas, atendiendo a lo solicitado por la Comunidad de Regantes:

Alternativa 1: Entubación de la red de acequias existente, incluyendo un estudio de la regulación del canal de bajo coste.

Alternativa 2: Entubación de la red de acequias existente, más regulación del canal más, balsa de cola y apoyo a la regulación del canal.

Alternativa 2 Bis: Entubación de la red de acequias existente, más regulación del canal, más dos balsas de regulación, funcionando la última como balsa de cola. De tal manera que se garantice la demanda con independencia de la explotación del canal.

Alternativa 3: Entubación de la red de acequias existente, más regulación del canal más bombeo intermedio para apoyo a la regulación del canal mas balsa de cola.

Alternativa 4: Entubación con presión de la red de acequias diseñada en el Proyecto Base, mediante la implantación de estaciones de bombeo a pie de balsa. Por lo que solamente se optimiza la red diseñada desde la balsa.

1.1. ANÁLISIS COMPARATIVO

A continuación se realiza un análisis comparativo de las 6 opciones que se plantean para la mejora y modernización de la zona regable que nos ocupa.

1.1.1. GARANTÍA DE RIEGO

Afectos de garantía de riego es necesario discriminar entre la garantía de riego que proporciona el canal y la garantía de riego con la que está calculada la red.

La primera depende del grado de regulación del canal y la segunda depende del método estadístico y criterios utilizados para la optimización de la red, suponiendo garantizados el caudal de cabecera de cada una de ellas.

Dejando claro estos dos tipos de garantía se tiene que la garantía con la que está calculada la red, es decir, el caudal de cada hidrante que aseguraría el suministro de agua en cualquier circunstancia sería el correspondiente a la máxima demanda que pueda acumularse en la situación más desfavorable, pero ello conduciría a una red muy cara cuyo nivel de utilización sería tremendamente bajo. Este sobredimensionamiento se evita fijando el caudal del hidrante Q mediante un método estadístico que permita eliminar todas aquellas combinaciones de consumo de muy pequeña probabilidad de ocurrencia. Entre todas las formulaciones estadísticas existentes se ha utilizado la de René Clément.

La aplicación de esta formulación se ha realizado estableciendo los mismos módulos y grados de libertad para cada una de las alternativas, por lo que sólo discrimina la regulación del canal en términos de garantía de riego.

Así se tiene:

Alternativa	Garantía de riego de la red	Garantía de riego del canal
Proyecto Base	En función de los grados de libertad (igual para todas las alternativas)	100 % para un riego de 16 horas diario con independencia de la explotación del canal.
Alternativa 1	En función de los grados de libertad (igual para todas las alternativas)	Insuficiente para abastecer a las tomas en cola del canal en concreto a las acequias 3J y K
Alternativa 2	En función de los grados de libertad (igual para todas las alternativas)	100 % para un riego de 16 horas diario con dependencia de la explotación del canal.
Alternativa 2 Bis	En función de los grados de libertad (igual para todas las alternativas)	100 % para un riego de 16 horas diario con independencia de la explotación del canal.
Alternativa 3	En función de los grados de libertad (igual para todas las alternativas)	100 % para un riego de 16 horas diario con dependencia de la explotación del canal.
Alternativa 4	En función de los grados de libertad (igual para todas las alternativas)	100 % para un riego de 16 horas diario con independencia de la explotación del canal

1.1.2. EFICIENCIA

En riego, la eficiencia se define como la relación entre el volumen de agua puesto a disposición de las plantas en su zona radicular y el volumen total utilizado del embalse, pozo o cualquier otra fuente, en nuestro caso del canal de Las Aves.

La eficiencia tiene tres componentes: eficiencia en la conducción hasta la zona de riego, eficiencia de distribución dentro de la zona, hasta llegar a cada parcela y eficiencia de aplicación dentro de la parcela.

Aplicando esto a la zona regable la primera eficiencia es para todas las alternativas estudiadas idéntica, por lo que sólo puede discriminarse por la eficiencia en la distribución dentro de la zona regable y la eficiencia de aplicación dentro de la parcela, por lo que la eficiencia de estas últimas componentes pertenece a la red terciaria de riego que es igual para todas las alternativas estudiadas.

En cuanto al valor de la eficiencia en la conducción hasta la zona de riego se ha tomado un valor altamente contrastado para este tipo de redes entubadas e igual al 75 %. En cuanto a los dos últimos componentes, éstos pueden ser diferentes en la única solución que brinda el riego con presión, nos referimos a la alternativa 4.

En esta solución la presión supone para los regantes el riego por aspersión, que aplican el agua por aspersores en forma parecida a la lluvia o el riego localizado o micro riego que incluye métodos como el goteo la micro aspersión, exudación, etc.

Un tópico en relación con el riego localizado es el menor consumo de agua por los cultivos. De hecho ocurre lo contrario: las plantas, al disponer de una alta humedad permanentemente, absorben más agua que con los demás métodos de riego, lo que es una de las causas de las mayores producciones. Sin embargo, el hecho de que las conducciones sean siempre tuberías y el aplicar el agua en pequeñas cantidades muy bien controladas, hacen que las pérdidas sean mucho menores, de manera que coinciden un mayor consumo por las plantas y un menor volumen de agua consumida del sistema general de abastecimiento a la zona de riego. Las pérdidas globales por este método están entre el

5% y el 40%, lo que supone una eficiencia de 60-95 %. Las pérdidas globales fijadas para la aspersión se cifran entre el 20 % y el 50% lo que supone una eficiencia del 50-80 %.

En resumen se tiene:

Alternativa	Eficiencia	
	En la conducción hasta la zona de riego	Distribución y aplicación dentro de la zona de riego
Proyecto Base	75 %	Forma parte de la red terciaria
Alternativa 1	75 %	Forma parte de la red terciaria
Alternativa 2	75 %	Forma parte de la red terciaria
Alternativa 2 Bis	75 %	Forma parte de la red terciaria
Alternativa 3	75 %	Forma parte de la red terciaria
Alternativa 4	75 %	Forma parte de la red terciaria

A continuación se resumen los valores medios de eficiencia global en los riegos por aspersión y en los riegos localizados:

Valores medios de eficiencia global	
Método de riego	Eficiencia Global (%)
Aspersión	50-80
Riego localizado	60-95

1.1.3. FACTORES MEDIOAMBIENTALES Y OTROS

En este capítulo se compara las alternativas de tal manera que por la tipología de elementos a ejecutar, necesiten de una declaración de impacto, como puede ser la ejecución de balsas de riego, que por otra parte sería necesario clasificar en función del riesgo potencial.

Alternativa	Necesidad de declaración de impacto ambiental	Necesidad de clasificación en función del riesgo potencial
Proyecto Base	SI	SI
Alternativa 1	NO	NO
Alternativa 2	SI	SI
Alternativa 2 Bis	SI	SI
Alternativa 3	SI	SI
Alternativa 4	SI	SI

1.1.4. CONCLUSIONES

Como conclusiones a las soluciones propuestas se puede resumir:

El Proyecto Base permite la regulación integral del canal, a la vez que una cierta libertad de funcionamiento entre la explotación del canal y de la zona regable, gracias a la existencia de balsas reguladoras. Desde el punto de vista futuro esta opción permite la implantación del riego a la demanda por aspersión ó goteo, con la instalación de estaciones de bombeo a pie de las balsas.

Del análisis de las alternativas se concluye que la alternativa 1, si bien mejora mucho la situación actual, al entubar las acequias, no es totalmente satisfactorio, ya que no corrige los déficits de demanda existentes en la cola del canal.

La alternativa 2, corrige esta deficiencia, apoyando a la regulación del canal con una balsa de regulación, que tiene la doble ventaja de funcionar como balsa de cola. De esta manera, se aumenta la capacidad de regulación del canal al almacenar en la balsa el agua que no se utilice una vez acabado el riego, y se aumenta su seguridad, en caso de cese brusco de la demanda en la zona regable (días de fiesta, tormentas, etc.), incrementando los recursos que por él puede circular dentro de cada temporada. Si embargo la garantía de suministro del 100 % viene condicionada por el grado del llenado del canal y la regulación del mismo. De tal manera que si la regulación del canal falla, no se garantiza la demanda de riego.

La alternativa 2 bis, corrige esta deficiencia, apoyando a la regulación del canal con otra balsa, además de la balsa de cola con lo que se aumenta la garantía de suministro, independizándola del grado de llenado del canal y de la regulación del mismo.

La alternativa 3, añade un bombeo a la altura de la localidad de Añover del Tajo, para el que debe realizarse un azud en el río. Esto encarece y penaliza económicamente esta opción. Además hay que considerar otros factores económicos que recaen sobre el regante y que están fuera de la inversión inicial. Como son el coste energético del bombeo, así como el mantenimiento del mismo, lo que incrementan la tarifa de riego, y supone un desembolso continuo para los regantes.

La alternativa 4, añade cuatro bombeos uno para cada balsa, lo que permite el riego presurizado. Este tipo de riego frente al de gravedad presenta las ventajas de un mayor control del agua y una mayor eficiencia dentro de la parcela. El principal inconveniente es la inversión inicial y el coste de la energía necesaria para bombear el agua, además de los costes de mantenimiento del mismo, lo que incrementan la tarifa de riego. Como ventaja añadida es que garantiza el 100 % de la demanda, sin depender de la regulación del canal.

Por todo lo expuesto, se concluye que la alternativa 2 resulta ser la más rentable técnica y económicamente, ya que resuelve la problemática existente, mediante un riego por gravedad a la demanda, con la misma garantía de servicio en todas las tomas, es decir, independientemente de su situación. Pero no permite cierta libertad de funcionamiento entre explotación del canal y zona regable al carecer de volumen de regulación, lo que significa que la garantía de suministro está supeditada a la explotación del canal.

Esta deficiencia como se ha dicho anteriormente la suple la alternativa 2 bis con la incorporación de otra balsa.

Por otra parte es de destacar que la alternativa 4 es la única que presenta la opción de riego presurizado. Por lo que el tipo de riego es distinto, y la comparación es diferente. El riego con presión presenta la ventaja frente al riego por gravedad un mejor manejo del recurso hídrico y una mayor eficiencia dentro de la parcela al aplicar tecnologías más avanzadas y más respetuosas con el medio ambiente, que en la práctica revierten en un mayor ahorro de agua. Además es la única junto con el proyecto Base que presenta una garantía de suministro del 100 % independientemente de la explotación del canal.

1.1.5. SOLUCIÓN ADOPTADA

Como conclusión del análisis comparativo recogido en el anterior epígrafe se ha adoptado, como solución de proyecto, la denominada Alternativa 2 Bis) cuyas características distintivas son en resumen:

- Entubación de la red de acequias
- Regulación funcional del canal más balsa, más balsa de cola

Esta alternativa se desarrolla en el presente proyecto. También se ha realizado un estudio de alternativas de los emplazamientos para las balsas que se presenta en los apartados siguientes.

2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LAS BALSAS

El objeto del presente anejo es el la justificación del diseño y el cálculo de los parámetros más significativos de las balsas necesario para la regulación del canal de la aves.

En primer lugar se presentan los criterios de diseños de las balsas, entre otros:

- Cotas y dimensiones significativas.
- Capacidad útil necesaria
- Balance de los movimientos de tierra.

Posteriormente, se dimensionan y definen los elementos más significativos del embalse:

Obra de entrada y desagüe de fondo
Aliviadero
Drenaje de fondo
Sistema de impermeabilización
Camino perimetral.

2.1. CRITERIOS DE DISEÑO

2.1.1. BALANCE DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS

Un criterio importante a la hora de realizar el diseño de las balsas, es intentar conseguir el mayor equilibrio entre volúmenes de materiales de desmonte y de terraplén. Y de esta manera conseguir reducir tanto el coste global de la obra, como el impacto ambiental producido por la nueva infraestructura.

En el caso que nos ocupa se ha intentado compensar el balance de tierras gomal de las dos balsas.

Así en la siguiente tabla se realiza una comparativa de los datos de partida ente la solución base y la alternativa.

	Emplazamiento Proyecto base	Emplazamiento alternativa
Cota de la rasante del canal	475,22	476,00
Altura de cajeros	1,60	1,60
Cota de los cajero resguardo	476,82	477,60
Pérdidas de carga	0,40	0,40
Cota de M.N.N	0,22	0,20
	476,20	477,00

Si bien también es verdad que al no situarse el emplazamiento de la alternativa geográficamente en el centro de gravedad del sector de riego, este beneficio de presión se consuma en pérdidas de carga al tener que distribuir el recurso desde un punto mas alejado.

2.1.2. CONDICIONANTES ECONÓMICOS

Se ha realizado una estimación de las unidades que difieren de una a otra opción. Así se ha contabilizado únicamente el movimiento de tierras que tendríamos en cada balsa, en uno y otro caso. También se ha contabilizado la hinca sobre la carretera de Toledo a Aranjuez en la opción del proyecto Base ya que no existe en la opción de la alternativa por estar la balsa situada en el otro al lado de la carretera.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de la valoración realizada, donde se justifica un balance a favor de la solución del proyecto base de 128.000 euros lo que significa que resulta más económica el emplazamiento de la alternativa.

Esta diferencia puede compensar económicamente que la obra de alimentación a la red y desagüe de fondo sea más complicada en la alternativa porque se tenga que cruzar el canal, aunque si se abandona éste, se podrían simplificar.

PROYECTO BASE				ALTERNATIVA				DIFERENCIA
Descripción	medicion	precio	total	Descripción	medicion	precio	total	(Base-Altern)
BALSA VII								
Relleno procedente de prestamos	113.148,00	5,14	581.580,72	Excavación	340.000,00	4,47	1.519.800,00	
Hinca de tubería DN2400	15,00	2.400,00	36.000,00					
TOTAL BALSA VII			617.580,72				1.519.800,00	-902.219,28
BALSA V-VI								
Relleno procedente de prestamos	316.038,38	5,14	1.624.437,27	Relleno procedente de prestamos	0,00	5,14	0,00	
				Relleno procedente de la excavacion	316.038,38	1,88	594.152,15	
TOTAL BALSA V-VI			1.624.437,27				594.152,15	1.030.285,12
DIFERENCIA A FAVOR DEL PROYECTO BASE								128.065,84

2.1.3. CONEXIÓN DE BALSAS CONDICIONANTES TÉCNICOS

En este capítulo que hemos llamado condicionantes técnicos se pone de manifiesto que si se realiza la conexión de las balsas el emplazamiento de la alternativa no sería más rentable económicamente, ya que en este caso la cota del M.N.N. de la balsa del sector VII es de 475,00, debido a las pérdidas de carga de la tubería de conexión. Lo que significa que habría que vaciar un volumen de 1,60 metros de altura más que luego no se utilizaría.

Cota de MNN = 475

Cota de coronación = Cota de MNN + resguardo = 475 + 1 = 476.

Luego habría que excavar un metro sesenta de altura de tierras más, que en la opción anterior.

Pero seguiría siendo viable.

En cuanto a la red de tuberías, cabe señalar que mientras la longitud de la tubería de conexión se disminuye unos 1500 metros, la tubería de distribución puede aumentar en algunos calibres, ya que el punto de distribución está más alejado del centro de gravedad del consumo.

2.1.4. CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS

Desde un punto de vista geotécnico la ubicación la balsa del Proyecto Base correspondería a sedimentos aluviales del río Tajo. Los ensayos de penetración dinámica realizados para el "Proyecto de modernización de la zona regables del canal de las aves" de 1995, en cada una de las ubicaciones previstas para las balsas del sector V-VI y sector VII (P-5 y P-7), muestran la presencia de un espesor de suelos blandos de unos 7-8 m en la posición de ambas balsas. La presencia de estos suelos lleva asociado el desarrollo de asentamientos en el cimiento de las balsas durante un tiempo que, con los datos que tenemos, no es posible determinar. Además, a la vista de los resultados de la campaña de campo prevista, habrá que comprobar la estabilidad de los terraplenes del cierre perimetral de las balsas.

La ubicación alternativa de la balsa del sector VII, presenta varias ventajas desde el punto de vista geotécnico. En primer lugar, se trataría de una balsa excavada por lo que no tendría problemas de estabilidad ni de asentamientos.

Por otro lado, la observación de la zona in situ y en foto aérea muestra que el terreno ya no es la llanura aluvial del río Tajo sino una de sus terrazas que se encuentra a mayor cota. Además, en esta zona había una cantera que ya no se explota, cuyo material se estudió en el proyecto realizado en 1995. Según este informe, en esta zona se ubicaba la cantera "Holgado". Se obtuvo material de uno de los frentes de la cantera en la que se observó la presencia de gravas con arenas arcillosas. El material obtenido se clasificó como una grava bien graduada o grava arcillosa (GW-GC). Se obtuvo una densidad máxima en el ensayo Próctor de 2,09 g/cm³ y una humedad óptima de 7,6 %. El índice CBR fue de 23. Por tanto, a la vista de estos resultados parece que el material que se excava para esta balsa se podrá aprovechar para la construcción de la balsa del Sector V-VI.

2.1.5. CONDICIONANTES DE SEGURIDAD

Por último se analiza los condicionantes de seguridad que aunque no sean relevantes, si hay que matizar que la solución de la alternativa por ir excavada no tiene riesgo de rotura de dique. En cuanto a la solución base dispuesta en dique, cabe la posibilidad de su rotura, por lo que se tendría que analizar el valor de las posibles afecciones.

Se comprueba que aunque no hay población de riesgo ni riesgo potencial a vidas humanas, si hay afección grave a servicios esenciales como es la carretera de Aranjuez a Toledo y daños importantes en el ferrocarril.

En este caso si se va a la solución base, no sería necesaria su clasificación si el volumen diseñado es menor de 100.000 m³, ya que la altura del dique es menor de 5 m, pero en los estudios preliminares se comprobó que el volumen necesario de regulación semanal para atender la demanda sin déficit es de 128.241 m³.

Esta solución sería factible en el caso de conectar las balsas ya que en estudios anteriores el volumen necesario para esta balsa es estas condiciones es de 75.000 m³.

En la tabla siguiente se resumen los volúmenes y alturas necesarias en la balsa del sector VII para las dos hipótesis de cálculo estudiadas, que son independientes de los emplazamientos.

balsa sector-VII		
Hipótesis de cálculo	Volumen estricto	altura
Hipótesis sin conexión	128.241 m ³	5 m
Hipótesis de conexión de balsas	75.000 m ³	4 m

En vista de lo anterior la hipótesis sin conexión, necesita estudio de rotura, ya que como se ha dicho anteriormente tiene riesgo potencial de ocasionar daños materiales a servicios considerados como esenciales. Ya que tiene la carretera que conecta Aranjuez con Toledo y el ferrocarril.

Para estimar si la afección a este servicio se considera grave como consecuencia de los potenciales daños derivados del calado y la velocidad de la onda, es necesario analizar los parámetros de su rotura, ya que dada su cercanía la onda expansiva de rotura en su comienzo pueda causar altas velocidades y calados y dada la cercanía de la onda, esta no se pudiera laminar. Pues en otro caso al ser una zona llana y ancha cabe esperar bajos calados y velocidades.

Por todo lo anterior y teniendo en cuenta la metodología recomendada por la Guía Técnica del 12/95 "Clasificación de Balsas en Función del Riesgo Potencial", a continuación se realiza un pequeño análisis de la rotura de la balsa en el proyecto de la solución base.

Análisis de la rotura de la balsa del sector VII en el emplazamiento del proyecto base

Utilizando el método mixto hidrológico –hidráulico de la citada guía, que se basa en la aplicación de tres fases: determinación de la onda de rotura, estudio de su propagación y determinación de los niveles de agua correspondientes.

El caudal punta de la onda de rotura se determina en función del volumen de embalse y de la altura de la presa sobre cimientos, para lo cual puede utilizarse la expresión de Hagen, que en unidades métricas es

$$Q = K (V H)^{0,5}$$

Donde :

Q = caudal punta de rotura (m³/s)

K = constante (780 para presas bóveda y 550 para los restantes casos)

V= volumen de embalse (h m³)

H= altura de presa sobre cimiento (m)

Aplicando los valores a nuestro caso se tiene considerando un volumen de 128.241 m³ y una altura de 5 metros sobre cimientos se tiene:

$$Q = 550 \times (0,13 \times 5)^{0,5} = 443 \text{ m}^3/\text{s}$$

La propagación de la onda de rotura a lo largo del cauce se realiza normalmente por métodos hidrológicos (Muskingum, onda cinemática, etc.) y la determinación de niveles de agua y velocidades se realiza por métodos hidráulicos suponiendo un régimen permanente y suponiendo un caudal igual al máximo obtenido en la etapa anterior.

Dado que la balsa se dispone muy cerca de la balsa vamos a estimar el ancho de la brecha y por lo tanto la velocidad de salida de la balsa.

Según la citada guía la anchura de la brecha en una presa de materiales sueltos es:

forma de rotura : Trapecial.

- Profundidad de la brecha: hasta el contacto con el cauce en el pie.
- Ancho medio de la brecha:

$$B \text{ (m)} = 20 (V \text{ (h m}^3\text{)} h \text{ (m)})^{0,25} = 20 (0,13 \times 5)^{0,25} = 17,96 \text{ m}$$

La estimación de la velocidad de salida en el instante inicial es:

$$V = Q / s = 443 / (17,96 \times 5) = 4,93 \text{ m/s.}$$

Esta riada producida por la rotura de la presa de caudal estimado en 443 m³/s y velocidad inicial de unos 5 m/s se laminaría en su expansión por el terreno hacia aguas abajo con daños previsibles en la citada carretera debido a su cercanía.

A continuación se presenta una foto con el emplazamiento, donde se aprecia la carretera al fondo cuya plataforma prácticamente se encuentra a la altura del terreno y por lo tanto sin terraplén.



En esas condiciones y por proximidad de carretera y ferrocarril es muy difícil clasificarla como "C". Por lo que sería "A" ó "B" lo que implica la realización de un Plan de Emergencia.

2.2. CONCLUSIONES

Por todo lo anterior se concluye que ambas opciones son viables tanto técnica como económicamente, siendo mas favorables los condicionantes geológicos y geotécnicos de la alternativa frente a la base y especialmente los condicionantes de seguridad, lo que hace que nos decantemos por esta solución.

Esta solución es mas versátil con el volumen de almacenamiento pudiendo superar el volumen de 100.000 m³ y así dar un volumen adicional a la balsa por ser de cola ó incluso si se quiere dejar un volumen por avería.