



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Trabajo final de grado

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA AMPLIACIÓN DE LA IMPULSIÓN DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
DEPURADAS DE PINEDO AL CANAL JÚCAR – TURIA Y SUSTITUCIÓN DE RIEGOS DE LA COMARCA DEL MARQUESAT
(T.M. DE ALGINET Y BENIFAIÓ, VALENCIA)

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2014/15

Autor: Alejandro Muñoz Fabra

Tutor: Juan Bautista Marco Segura

Valencia, junio de 2015



ÍNDICE

1. MEMORIA
2. ANEJO DE ESTUDIO DE CAPACIDAD DE BALSAS DE REGULACIÓN
3. ANEJO DE OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS DEL RAMAL SUR
4. ANEJO DE CÁLCULOS HIDRAÚLICOS
5. ANEJO DE EXPROPIACIONES
6. ANEJO ANÁLISIS ECONÓMICO
7. ANEJO GEOTÉCNICO



MEMORIA

ÍNDICE

1. OBJETIVO DEL PROYECTO	2
2. LOCALIZACIÓN	2
3. ESTADO ACTUAL DE DEMANDAS DE RIEGO Y COMUNIDADES	2
4. OBRA DE PARTIDA Y CONEXIÓN CON EL CANAL	3
5. ESTUDIO DE NECESIDADES	4
5.1. Áreas y demandas	4
5.2. Envolventes de caudales.....	4
6. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO	6
6.1. Determinación de volúmenes de almacenamiento de balsas.....	6
6.2. Diseño del trazado de la impulsión, elección multicriterio	7
6.2.1. Criterio Económico (4 Puntos)	8
6.2.2. Criterio de afecciones a otras infraestructuras (3 Puntos)	8
6.2.3. Criterio de impacto ambiental (1 Punto).....	9
6.2.4. Criterio de demora por trabajos singulares (1 punto).....	9
6.2.5. Integración de criterios.....	9
6.3. Diseño hidráulico de la conducción	10
6.3.1. Tanteos de pérdidas de carga y elección del material	11
6.3.2. Elección de diámetros.....	11
6.3.3. Elección de diámetros normalizados.....	12
6.3.4. Tiempos de cierres de válvulas.....	13
7. ANÁLISIS ECONÓMICO	13
8. INDICE DE PLANOS	14
9. CONCLUSIONES FINALES	14



Fig. 1 Zona de actuación.

1. OBJETIVO DEL PROYECTO

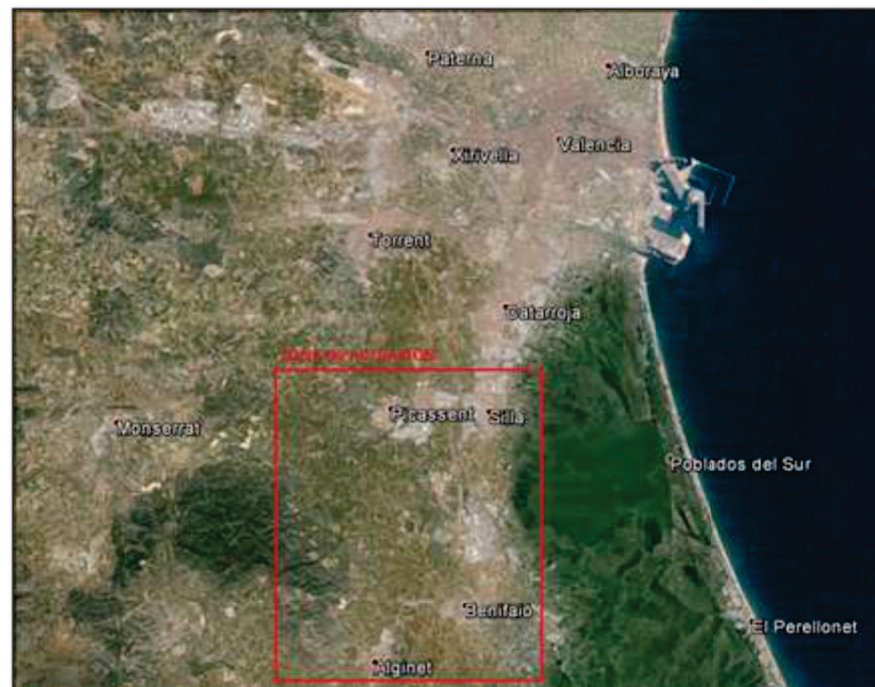
En la actualidad, la reutilización de aguas residuales depuradas de la EDAR de Pinedo se realiza mediante un conducto e impulsión que concluye en la Acequia Real del Júcar, en T. M. de Benifaió.

A causa de los requerimientos de calidad de aguas de la Albufera, y de la disponibilidad de agua de la Acequia Real, dicho conducto está infrautilizado, desaprovechándose gran cantidad del agua reutilizable apta para riego de cultivos. Por esta razón se plantea la extensión del uso potencial de estos recursos a zonas con menor disponibilidad. En particular se plantea una impulsión desde la obra de llegada a la Acequia Real del Júcar hasta el canal Júcar-Turia, y la conexión con diversos sectores de regantes de éste, posibilitando el uso directo o la sustitución de riegos en dichos sectores y en las acequias del Marquesat de Llombay (acequia de Aledúa).

El objeto del presente estudio es la definición técnica y el análisis económico de la mejor de las posibles soluciones.

2. LOCALIZACIÓN

Las obras se ubican entre los términos municipales de Benifaió y Picassent, al Sur de la ciudad de Valencia, quedando limitado al Oeste por el Paraje Natural de Tello y al Este por el Parque Natural de la Albufera.



En la zona destaca la presencia de la autovía A7 y el canal Júcar-Turia que abastece de agua a la ciudad de Valencia y también a varias comunidades de regantes.

3. ESTADO ACTUAL DE DEMANDAS DE RIEGO Y COMUNIDADES

Como se comentaba en el apartado anterior, el canal J-T abastece a diversas comunidades de regantes repartidas a ambas márgenes del canal, clasificándolas como la margen izquierda (de riego por elevación) y margen derecha (de riego por gravedad). Dichas comunidades de acuerdo con la página web oficial del canal J-T son:

Margen Izquierda (Elevación)	Margen Derecha (Gravedad)
Sector-2 Margen Izquierda de Carlet	Sector-I “Los Tollos” de Tous
Sector Barranco del Agua Carlet	Sector-II “La Garrofera” de L’Alcudia
Sector San José de Alginet	Sector-III “Benimodo” de Benimodo
Sector-4 Margen Izquierda de Picassent	Sector Acequia Común de Carlet
Sector-5 Margen Izquierda de Torrent	Sector Massalet de Carlet
Sector-6 Margen Izquierda Pla de Quart	Sector “San José, Barranco del Agua” de Carlet
	Sector “Sequia Aledua” de Alginet
	Sector “Nova Comunitat” de Alginet
	Sector San Rafael de Benifayo
	Sector-IX de Benifayo
	Sector-X Sector-XI Picassent-Alcasser Picassent
	Sector-XII Torrent
	Sector-XIII Aldaia

Tabla 1 Comunidades de regantes canal J-T

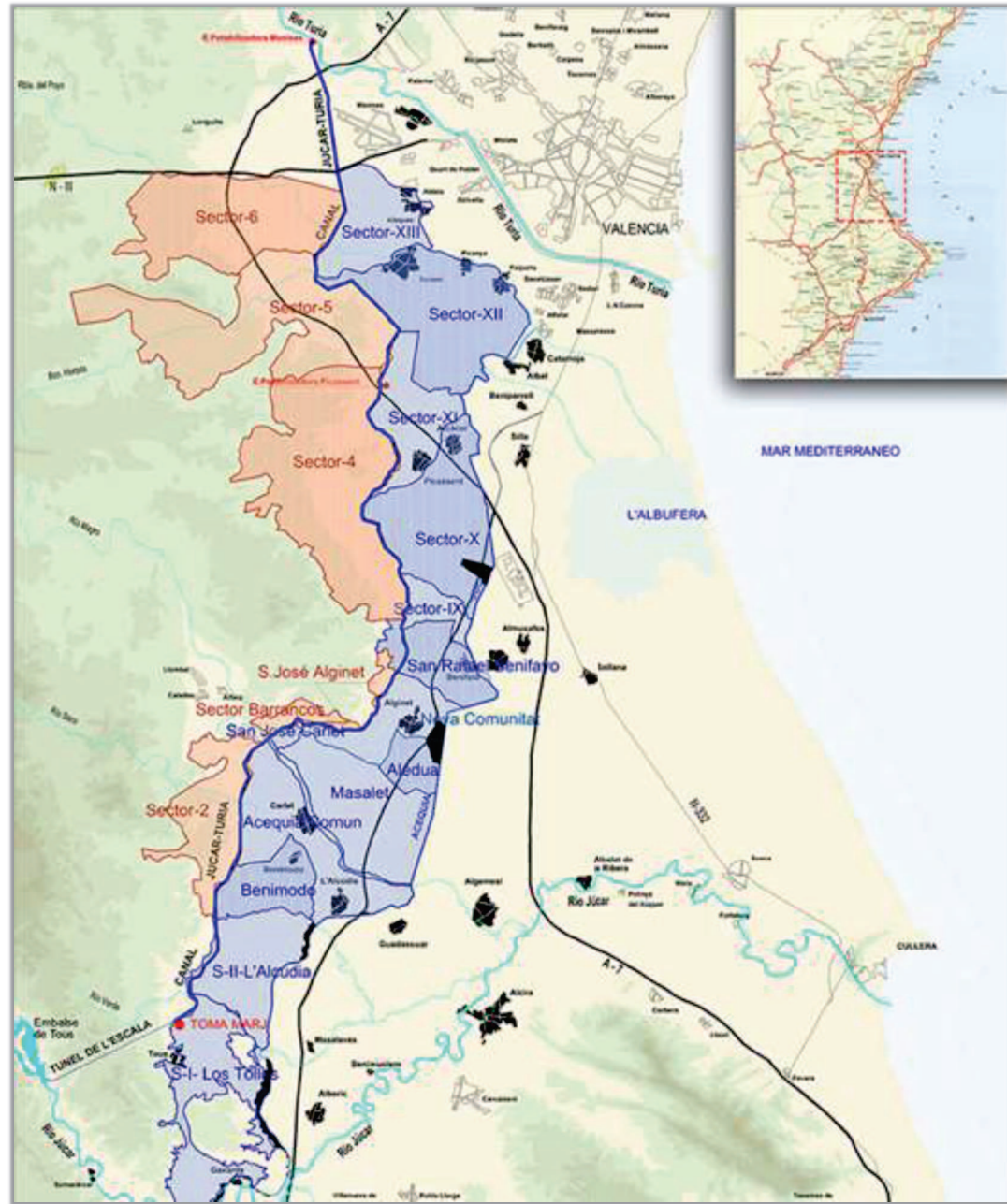


Fig. 2 Planta General del canal J-T.

En la planta se puede apreciar el amplio territorio del que toman agua los sectores mencionados. Dicha extensión es la causa por la que la reutilización que se estudiará en el proyecto quedará limitada entre San José de Carlet (al Norte del río Magro) y el Sector 4, procediéndose posteriormente a analizar qué sectores de riego se beneficiarán de la reutilización ya que el suministro que ofrece es limitado.

4. OBRA DE PARTIDA Y CONEXIÓN CON EL CANAL

Como ya se comentaba en el apartado del objeto del proyecto, el punto de partida es la zona de vertido de la impulsión de la EDAR de Pinedo en la Acequia Real del Júcar, concretamente en el punto de coordenadas UTM (39°17'50.15"N; 0°26'24.45"O) en el T.M. de Benifaió



Fig. 3 Vertido EDAR a Acequia Real del Júcar.

Los datos de partida facilitados por un informe de la compañía Acuamed para la realización del proyecto imponen un caudal máximo de vertido de 1,5 m³/s desde una tubería de hormigón con camisa de chapa de diámetro 1200 mm. Por tanto el primer paso será tomar dicho caudal en una balsa donde se rompa la carga con la que llega e impulsarlo hasta la altura del canal J-T, desde donde se repartirá a los distintos sectores de regantes.

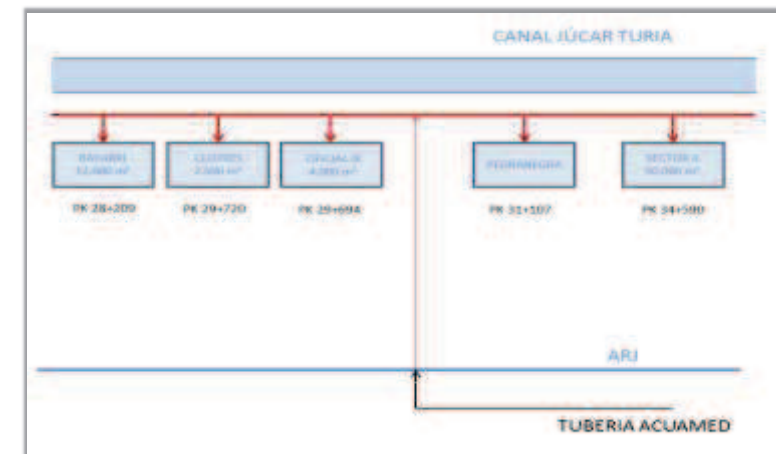


Fig. 4 Esquema Balsas Actuales.



En la *Figura 4* se expone el esquema de la situación actual proporcionada por el ingeniero del canal y que guía la idea base del estudio. Llegados a este punto se discuten dos posibles soluciones para realizar este reparto.

Una primera idea sería la de realizar desde la balsa de rotura de carga una conducción en T que repartiera el agua al ramal Norte y Sur (propuesta en el esquema anterior). Sin embargo, tras una breve reflexión, se entiende que podría ser más ventajosa una segunda opción que consistiría en alargar dicha impulsión cruzando al otro lado del canal, a una cota más elevada donde el agua se vertiera a una segunda balsa de reparto, desde donde por gravedad se repartiría el agua a los sectores. Dicha opción es claramente más ventajosa ya que supone una infraestructura de mayor versatilidad y menos condicionada al estado de los sistemas de impulsión, pues la balsa de reparto contará con una capacidad de regulación importante y repartirá el agua sin gasto de energía eléctrica con dos ramales en paralelo, a Norte y Sur respectivamente, por acción de la gravedad.

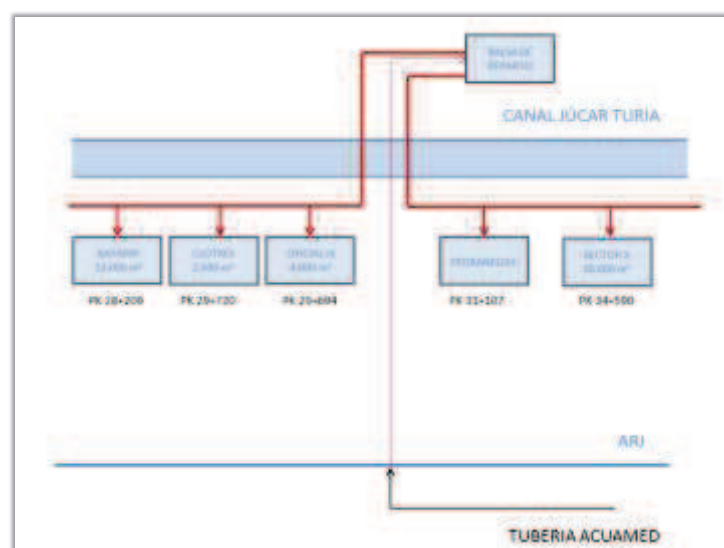


Fig. 5 Esquema propuesto.

5. ESTUDIO DE NECESIDADES

El siguiente paso será determinar cuáles serán las demandas que cubrirán la infraestructura y la capacidad de la balsa de reparto.

5.1. Áreas y demandas

Ante la imposibilidad de abastecer con la reutilización a la totalidad de las comunidades de regantes por su gran extensión, se decide acotar el área de atención de demandas a las comunidades descritas a continuación en la siguiente tabla:

Nombre	Hectáreas
Sector 4	3319.85
Sector X	1958.46
Sector IX	525.79
S. San Rafael B.	725.75
S. San José Alginet	120.6
Nova Comunitat	621.67
S.J. Carlet	147.99
Massalet	2021.4
Aledua	452.77

Tabla 10 Sectores prioritarios a atender.

En total suman unas 9894.28 Ha. Para determinar la demanda asociada a dichos terrenos se recurre a las curvas de gasto de la publicación “*Estudio de las necesidades de recursos hídricos, capacidad y disponibilidades del medio físico en la ciudad de Valencia*” elaborado por los profesores F. Gómez Lopera, J. Marco Segura y T. Montalvo López de la Universidad Politécnica de Valencia. De la publicación se extrae la curva de gasto para los cultivos leñosos (de cítricos) que son los más comunes en la zona.

	Leñosos [m ³ /Ha]
Enero	201
Febrero	346
Marzo	604
Abril	580
Mayo	799
Junio	966
Julio	1053
Agosto	892
Septiembre	557
Octubre	259
Noviembre	46
Diciembre	46
TOTAL	6349

Tabla 11 Demanda de leñosos por Ha.

5.2. Envolventes de caudales

Una vez conocidas las demandas los cultivos y las superficies, se procede a calcular los caudales originados por cada una de estas comunidades de regantes. Dichos caudales se obtendrán como el producto de la superficie de cada sector en cada mes por la demanda del cultivo y se dividirá en el espacio de tiempo en que se suministra.



$$[S] * \frac{[V]}{[S]} : [t] = \frac{[V]}{[t]}$$

Por lo consideramos en que tiempo se atenderán dichos volúmenes. Es una decisión de importancia ya que los grandes sectores de riego generar grandes volúmenes de agua y que por tanto, si se pretenden suministrar en cortas franjas horarias producen caudales de gran magnitud que agotan rápidamente la disponibilidad. La limitación de caudal disponible viene impuesta por la misma EDAR que proporciona el agua de la reutilización, siendo éste un caudal máximo de 1,5 m³/s. Teniendo en cuenta lo expuesto se considerará que la demanda de los dos grandes sectores (Sector 4 y Sector X) se atenderá a lo largo de las 24h del día, mientras que el resto se repartirá en jornadas de riego de 16h.

Sabiendo las franjas horarias en las que se deseará atender los caudales es el momento de conocer, teniendo en cuenta la limitación de 1,5 m³/s, a cuantos sectores se podrá atender a la vez, para lo cual nos plantearemos diversas hipótesis de demandas. Ya que actualmente los sectores de riego cuentan con otras fuentes de extracción como son las extracciones de aguas subterráneas o la toma de agua del propio canal Júcar-Turia, la atención de sectores se determinará para un mes de demanda media como puede ser Marzo. Se resume pues a continuación dichas hipótesis en las siguientes tablas:

MAZO	Sector	Ha	D. Mes [m3]	Demanda Diaria [m3/día]	Dem. diaria en 24h ENTRADA [m3/s]	Dem. SI/NO SALIDA en 24h	Dem. SALIDA en 24h [m3/s]	Dem. SI/NO SALIDA en 16 h	Dem. diaria en 16h [m3/s]	Demanda acumulada [m3/s]	DIF. [m3/s]
MAZO	S.4	3319.85	2005189.4	64683.53	0.749	SI	0.749	NO	0.000	0.749	
	S.X.	1958.46	1182909.8	38158.38	0.442	SI	0.442	NO	0.000	1.190	
	S. IX	525.79	317577.16	10244.42	0.119	NO	0.000	SI	0.178	1.368	
	S. San Rafael Benif	757.75	457681	14763.90	0.171	NO	0.000	NO	0.000	1.368	
	S. S.J.Alginet	120.6	72842.4	2349.75	0.027	NO	0.000	NO	0.000	1.368	
	Dem. Leñosos [m3/Ha]	Nova Comunitat	621.67	375488.68	12112.54	0.140	NO	0.000	NO	0.000	1.368
	S.J.Carlet	147.99	89385.96	2883.42	0.033	NO	0.000	NO	0.000	1.368	
	Massalet	2021.4	1220925.6	39384.70	0.456	NO	0.000	NO	0.000	1.368	
604	Aledua	452.77	273473.08	8821.71	0.102	NO	0.000	NO	0.000	1.368	DIF. [m3/s]
					ENTRADA TOTAL [m3/s]	1.681				1.190	
									DEM. TOTAL [m3/s]	1.368	0.312
									0.178		

Tabla 12 Demanda Marzo. Toman agua: S. 4, S. X y S. IX.

MAZO	Sector	Ha	D. Mes [m3]	Demanda Diaria [m3/día]	Dem. diaria en 24h ENTRADA [m3/s]	Dem. SI/NO SALIDA en 24h	Dem. SALIDA en 24h [m3/s]	Dem. SI/NO SALIDA en 16 h	Demanda diaria en 16h [m3/s]	Demanda acumulada [m3/s]	DIF. [m3/s]
MAZO	S.4	3319.85	2005189.4	64683.53	0.749	SI	0.749	NO	0.000	0.749	
	S.X.	1958.46	1182909.8	38158.38	0.442	NO	0.000	NO	0.000	0.749	
	S. IX	525.79	317577.16	10244.42	0.119	NO	0.000	SI	0.178	0.927	
	S. San Rafael Benif	757.75	457681	14763.90	0.171	NO	0.000	SI	0.256	1.183	
	S. S.J.Alginet	120.6	72842.4	2349.75	0.027	NO	0.000	SI	0.041	1.224	
Dem. Leñosos [m3/Ha]	Nova Comunitat	621.67	375488.68	12112.54	0.140	NO	0.000	SI	0.210	1.434	
	S.J.Carlet	147.99	89385.96	2883.42	0.033	NO	0.000	SI	0.050	1.484	
	Massalet	2021.4	1220925.6	39384.70	0.456	NO	0.000	NO	0.000	1.484	
604	Aledua	452.77	273473.08	8821.71	0.102	NO	0.000	NO	0.000	1.484	DIF. [m3/s]
					ENTRADA TOTAL [m3/s]	1.681				0.749	
									DEM. TOTAL [m3/s]	1.484	0.197
									0.735		

Tabla 13 Demanda Marzo. Toman agua: S. 4, S. IX, S.S. Rafael, S.S.J Alginet, S. N.Comunitat y S.J.Carlet .

MAZO	Sector	Ha	D. Mes [m3]	Demanda Diaria [m3/día]	Dem. diaria en 24h ENTRADA [m3/s]	Dem. SI/NO SALIDA en 24h	Dem. SALIDA en 24h [m3/s]	Dem. SI/NO SALIDA en 16 h	Demanda diaria en 16h [m3/s]	Demanda acumulada [m3/s]	DIF. [m3/s]
MAZO	S.4	3319.85	2005189.4	64683.53	0.749	NO	0.000	NO	0.000	0.000	
	S.X.	1958.46	1182909.84	38158.38	0.442	SI	0.442	NO	0.000	0.442	
	S. IX	525.79	317577.16	10244.42	0.119	NO	0.000	SI	0.178	0.620	
	S. San Rafael Benif	757.75	457681	14763.90	0.171	NO	0.000	SI	0.256	0.876	
	S. S.J.Alginet	120.6	72842.4	2349.75	0.027	NO	0.000	SI	0.041	0.917	
	Demanda Leñosos [m3/Ha]	Nova Comunitat	621.67	375488.68	12112.54	0.140	NO	0.000	SI	0.210	1.127
	S.J.Carlet	147.99	89385.96	2883.42	0.033	NO	0.000	SI	0.050	1.177	
	Massalet	2021.4	1220925.6	39384.70	0.456	NO	0.000	NO	0.000	1.177	
604	Aledua	452.77	273473.08	8821.71	0.102	NO	0.000	NO	0.000	1.177	DIF. [m3/s]
					ENTRADA TOTAL [m3/s]	1.681				0.442	
									DEM. TOTAL [m3/s]	1.177	0.504
									0.735		

Tabla 14 Demanda Marzo. Toman agua: S. X, S. IX, S.S. Rafael, S.S.J Alginet, S. N.Comunitat y S.J.Carlet .



6. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

6.1. Determinación de volúmenes de almacenamiento de balsas

Ya en estas tres primeras hipótesis de funcionamiento se observa que cediendo la prioridad de toma a los sectores de norte a sur en orden de toma de agua, incluso en un mes de demanda media, siempre que cualquiera de los dos grandes sectores tome agua, la infraestructura no será capaz de abastecer a los sectores de cola de Massalet y Aledua con garantías. Por tanto dichos sectores se excluyen de las consideraciones de demandas de ahora en adelante, aunque la conducción se dejará planteada hasta ellos por si en el futuro dichas comunidades quieren tener la posibilidad de tomar el agua que les pueda llegar ya que son comunidades necesitadas de recursos.

El siguiente paso es decidir cuál sería la capacidad necesaria de la balsa de reparto desde la que se distribuirá el agua. Para ello supondremos una entrada constante durante 24 h del caudal dato 1,5 m³/s, y las salidas correspondientes a cada uno de los casos expuestos. Los cálculos en los que se basa el estudio para determinar la capacidad de la balsa de regulación se pueden encontrar en el anejo de estudio de capacidad de balsa de regulación

En el primer caso

Q _{entrante} [m ³ /s]	1,500	Q _{entrante} [m ³ /h]	5400
Q _{consumido} EN CONTINUO [m ³ /s]	1,190	Q _{consumido} EN CONTINUO [m ³ /h]	4285,07962
Q _{consumido} EN 16h [m ³ /s]	0,178	Q _{consumido} EN 16h [m ³ /h]	640,276532

Tabla 15 Caudales primera hipótesis.

Las variaciones de volumen en el depósito para dichos caudales son

En tal hipótesis llegaría a requerirse una balsa que almacenara 16.513,66 m³ lo cual sería una balsa de un tamaño importante. El proceso se repite para las otras dos hipótesis restantes

En el segundo caso

Q _{entrante} [m ³ /s]	1,500	Q _{entrante} [m ³ /h]	5.400
Q _{consumido} EN CONTINUO [m ³ /s]	0,749	Q _{consumido} EN CONTINUO [m ³ /h]	2.695,147
Q _{consumido} EN 16h [m ³ /s]	0,735	Q _{consumido} EN 16h [m ³ /h]	2.647,127

Tabla 16 Caudales segunda hipótesis.

En este caso la máxima capacidad de almacenamiento será aún mayor, de unos 22.562,43 m³.

Q _{entrante} [m ³ /s]	1.500	Q _{entrante} [m ³ /h]	5400
Q _{consumido} EN CONTINUO [m ³ /s]	0.442	Q _{consumido} EN CONTINUO [m ³ /h]	1589.933
Q _{consumido} EN 16h [m ³ /s]	0.735	Q _{consumido} EN 16h [m ³ /h]	2647.127

Tabla 17 Caudales tercera hipótesis.

Y finalmente en este tercer caso, el almacenamiento es todavía mayor ya que las tomas en continuo se reducen por lo tanto requiriendo un mayor volumen de almacenamiento, en este caso de 49.087,57 m³.

A la vista de los resultados, se va a requerir una balsa con una capacidad de almacenamiento importante si se pretende realizar la regulación desde la misma. Ello conlleva una serie de problemas como son:

- El peligro asociado a la rotura de una balsa con una capacidad de almacenaje tan elevada.
- La dependencia de todo el sistema de la capacidad de regulación de la misma.

Por tanto parece razonable la idea de reducir el volumen de esta balsa y dejar la regulación de los volúmenes en manos de cada sector. Particularmente a los pequeños sectores, ya que se sabe gracias a la información proporcionada por los gestores del canal que cuales de ellos no cuentan con balsas de regulación.

Retomando la segunda hipótesis como caso intermedio y contando con la capacidad de regulación de las balsas existentes:

Capacidad de regulación necesaria sin balsas existentes [m ³]	22.562,43
Balsa oficial IX [m ³]	4.000
Clotxes [m ³]	2.500
Bayarry [m ³]	12.000
Capacidad regulación restando balsas [m ³]	4.062,43

Tabla 18 Capacidad estrictamente necesaria con balsas de regulación existentes.

Por lo tanto, una balsa de reparto de unos 5.500 m³ sería aceptable junto con una balsa de rotura de carga de 3.000m³. Como se mencionaba anteriormente se sabe que los sectores S.J. Alginet, S. Nova Comunitat, S.J. Carlet no cuentan con balsas, pero se pretende dotarlas con capacidad de regulación construyendo balsas de regulación en dichos sectores. Esto quiere decir que desde la balsa principal de regulación, se les suministrará el agua en continuo durante 24 h y ellos harán su reparto en 16h con sus balsas. La capacidad de dichas balsas ha de ser adecuada para regular la máxima



demanda y por lo tanto máxima capacidad de almacenaje que se dará en la época de máxima demanda (Julio) permitiendo así variar el régimen de abastecimiento por causas como pueda ser la variación de tarifas eléctricas. Por lo tanto la capacidad de regulación se obtendrá como el volumen diario del mes de Julio dividido entre las 16 horas de salida y multiplicándose por las 8 h que deberán ser capaces de almacenar este caudal:

$$V_{S.J.Alginet} = 0,071 \frac{m^3}{s} * 3600s * 8h = 2.044,8 m^3 \approx 2.000 m^3$$

$$V_{S.Nova Comunitat} = 0,367 \frac{m^3}{s} * 3.600s * 8h = 10.569,6 m^3 \approx 11.000 m^3$$

$$V_{S.J.carlet} = 0,087 \frac{m^3}{s} * 3.600s * 8h = 2.505,6 m^3 \approx 2.500 m^3$$

Por lo tanto tras este análisis llevado a cabo en el que se ha decidido dotar a ciertos sectores con su propia capacidad de regulación el esquema del sistema de riego queda definido en la siguiente figura:

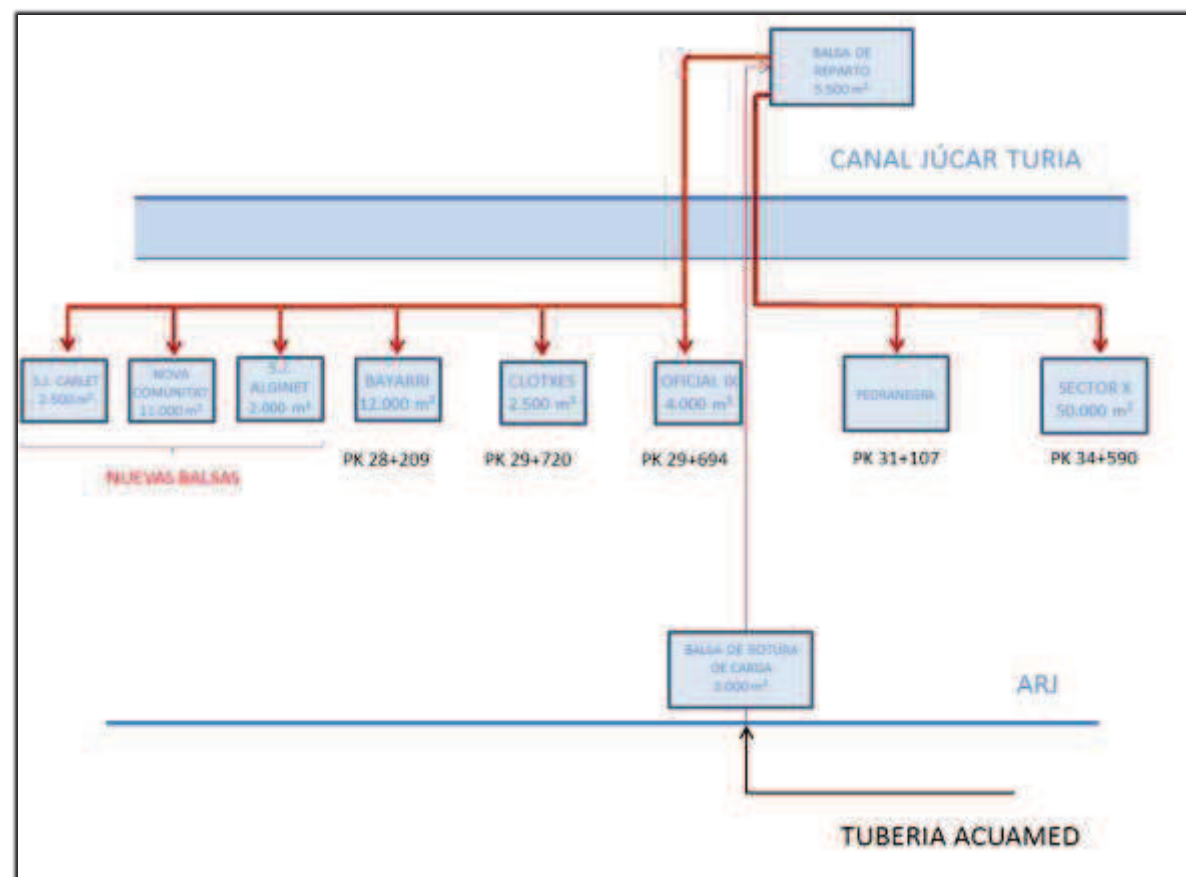


Fig. 6 Trazados propuestos.

Es pues el momento de determinar el trazado que conectará la balsa de rotura de carga con la balsa de reparto que abastecerá a los sectores.

6.2. DISEÑO DEL TRAZADO DE LA IMPULSIÓN, ELECCIÓN MULTICRITERIO

El objetivo de esta fase del estudio consiste en determinar cuál es de los posibles trazados a realizar sería el óptimo y más ventajoso.

En primer lugar se determinan cuáles serían los trazados más adecuados y lógicos para conectar el punto de toma desde la Acequia Real del Júcar hasta el Canal Júcar-Turia. Tras inspeccionar el terreno con vista satélite y procurando seguir caminos rurales y carreteras para minimizar al máximo las expropiaciones temporales se concluye que las 5 posibilidades aparentemente más funcionales serían las que se muestran a continuación.

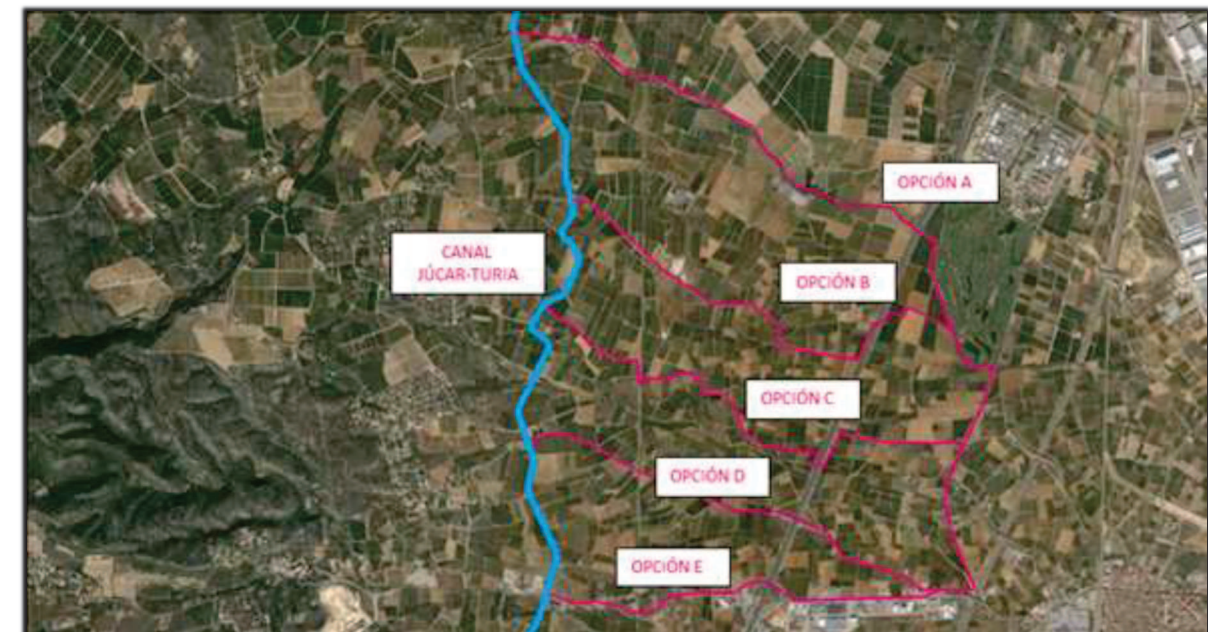


Fig. 7 Trazados propuestos.

Por tanto para elegir la más adecuada de entre estas posibilidades se realiza un análisis multicriterio PATTERN. El método PATTERN permite incorporar diversos criterios para la determinación de la mejor solución. En este análisis se deciden incorporar criterios de valoración de aspecto económico, de afección a otras infraestructuras, ambiental y de demora en ejecución por trabajos singulares.

El método otorgará una puntuación del 1 al 10 en cada criterio para cada una de las opciones. Posteriormente la puntuación se multiplicará por un peso otorgado a cada uno de los criterios.



6.2.1. Criterio Económico (4 Puntos)

En este criterio se valorará la repercusión económica que tiene cada una de las opciones en un presupuesto aproximado que se obtendrá a partir del coste de excavación de la zanja y de la hincada para superar un obstáculo si la opción lo requiere.

Como indica el enunciado la repercusión económica tendrá un peso máximo de 4 puntos para la mejor opción en la puntuación final.

El precio obtenido del generador de precios de CYPE ingenieros para excavación de zanja de instalaciones es

Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio de partida
	Retro cargadora 70kW	0,227	36,43	8,27
	Retroexcavadora 85kW	0,453	64,84	29,37
	Peón ordinario	0,682	15,92	10,86
<hr/>				
	Medios auxiliares	2,0	48,50	0,97
	Costes indirectos	3,0	49,47	1,48
<hr/>				
	Total		50,95	50,95

Tabla 19 Unidad de excavación de zanja.

Por tanto el precio es de 50,95 €/m³. Como se verá más adelante en la determinación de diámetros, la zanja necesaria para albergar los conductos de una impulsión son de 1.200 mm requieren una sección excavada de 4,32 m². Por tanto:

$$50,95 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 3,52 \text{ m}^2 = 179,34 \frac{\text{€}}{\text{m}}$$

Por otra parte tras consultar un presupuesto aproximado de hincado de entubación a una empresa especializada para superar el obstáculo que supone la autopista en las opciones B y C se sabe que el precio de una hincada de 60 m es de 33.760€.

La opción C además se cruza con las vías del metro de Valencia. Una posible opción sería realizar un ripado de vías, pero se estima que debido a que el ferrocarril se

encuentra estrechamente rodeado por terreno de cultivos, la mejor opción sería una segunda hincada de unos 30 m, estimándose el precio a la mitad del anterior, 16.880€.

La puntuación total final de cada opción se obtendrá como:

$$\frac{\text{Presupuesto de la opción } x}{\text{Presupuesto de la opción más barata}} * 10$$

Obteniendo así una puntuación inversamente proporcional al presupuesto, siendo la más barata la que tendrá una puntuación de 10. Las Puntuaciones son:

OPCIÓN	CRITERIO ECONOMICO				
	A	B	C	D	E
Longitud [m]	4548.89	4044.84	3439.46	4119.36	3881.78
Hinca en Autopista	NO	SI	SI	NO	NO
Hinca en Metro	NO	SI	NO	SI	NO
Presupuesto	815816.128,16 €	776057.784,96 €	650606.514,24 €	755662.499,84 €	696173.952,32 €
Puntuación sobre 10	7.97	8.38	10.00	8.61	9.35

Tabla 20 Criterio económico.

6.2.2. Criterio de afecciones a otras infraestructuras (3 Puntos)

Este criterio valorado con un peso final total de 3 puntos es una valoración cualitativa de cómo afecta la construcción de la impulsión al funcionamiento de otras infraestructuras. El criterio se divide en dos subcriterios diferentes dentro del mismo:

- Afección temporal a otras infraestructuras: en este primer subcriterio tiene un peso de 2 sobre 10 puntos en la calificación de afecciones. Se otorgan 10 puntos en el subcriterio a las opciones que no afectan al funcionamiento de otras infraestructuras como carreteras o pasos elevados durante la construcción, y 0 a los que sí. Las puntuaciones son:

OPCIÓN	FUNCIONAMIENTO TEMPORAL 2/10				
	A	B	C	D	E
Afecta	NO	NO	NO	SI	SI
Puntuación sobre 10	10	10	10	0	0

Tabla 21 Subcriterio de afecciones temporales.



Principalmente supone una puntuación a favor a aquellas opciones que discurren por caminos rurales y barrancos sin perturbar el tráfico.

- Afección permanente a otras infraestructuras: como es el caso de las vibraciones que la conducción puede introducir al tablero de un puente y que por tanto penaliza severamente dicha opción, dándole una calificación de 0 y de 10 en caso contrario. El peso de este subcriterio es de 8 sobre los diez puntos del criterio de afecciones. Las puntuaciones son:

AFECCIÓN PERMANENTE A LA INFRAESTRUCTURA 8/10					
OPCIÓN	A	B	C	D	E
Afecta	NO	NO	NO	SI	NO
Puntuación sobre 10	10	10	10	0	10

Tabla 22 Subcriterio de afecciones permanentes .

La puntuación final del criterio de afecciones para cada opción se obtiene como:

$$\frac{\text{Nota de la opción } x \text{ en af. temporal}}{\text{Máxima nota}} * 2 + \frac{\text{Nota de la opción } x \text{ en af. permante}}{\text{Máxima nota}} * 8$$

El resultado es:

CRITERIO AFECCIÓN					
OPCIÓN	A	B	C	D	E
Puntuación sobre 10	10	10	10	0	8

Tabla 23 Criterio afecciones.

6.2.3. Criterio de impacto ambiental (1 Punto)

Este criterio tiene una ponderación máxima de un punto sobre la evaluación final. Se trata de una evaluación cualitativa del 0 al 10, otorgando un 10 a las opciones que tienen un impacto muy leve sobre el ecosistema, es decir aquellas que transcurren por carreteras de modo que no incrementan su impacto sobre el medio. Se otorgan 5 puntos a aquellas alternativas que perturban temporalmente a la fauna y el ecosistema, siendo el claro ejemplo las opciones que transcurren por barrancos que suponen pasos de fauna y que ahuyentan temporalmente a las especies. Y por último una puntuación de 0 a aquella alternativa que tuviera un impacto muy grave sobre el ecosistema, no se da el caso entre las opciones barajadas.

IMPACTO MEDIO AMBIENTAL (MUY LEVE=10, LEVE=5, GRAVE=0)					
OPCIÓN	A	B	C	D	E
Nivel Af.	LEVE	MUY LEVE	LEVE	MUY LEVE	MUY LEVE
Puntuación sobre 10	5	10	5	10	10

Tabla 24 Criterio de impacto medioambiental.

6.2.4. Criterio de demora por trabajos singulares (1 punto)

Este criterio cualitativo puntúa cada alternativa del 0 al 10, otorgando la máxima calificación a aquellos criterios definidos como convencionales que no provocan retrasos adicionales por ejecución de trabajos singulares. En el caso de las opciones que llevan una hinca, debido a las labores de preparación para la realización de la misma se las puntúa con una calificación de 5. Si incluyen dos hincas se les califica con una nota de 0. Este criterio tiene un peso máximo de un punto en la nota final. Los resultados son:

DEMORA POR TRABAJOS SINGULARES (CONVENCIONAL=10, SIGNIFICATIVA=5, GRAVE=0)					
OPCIÓN	A	B	C	D	E
Nivel Af.	CONVENCIONAL	GRAVE	SIGNIFICATIVA	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL
Puntuación sobre 10	10	0	5	10	10

Tabla 25 Criterio de demora por trabajos singulares.

6.2.5. Integración de criterios

A continuación se ilustra en el siguiente esquema el sistema multicriterio para clarificar como se descomponen y con qué peso cada criterio y subcriterio

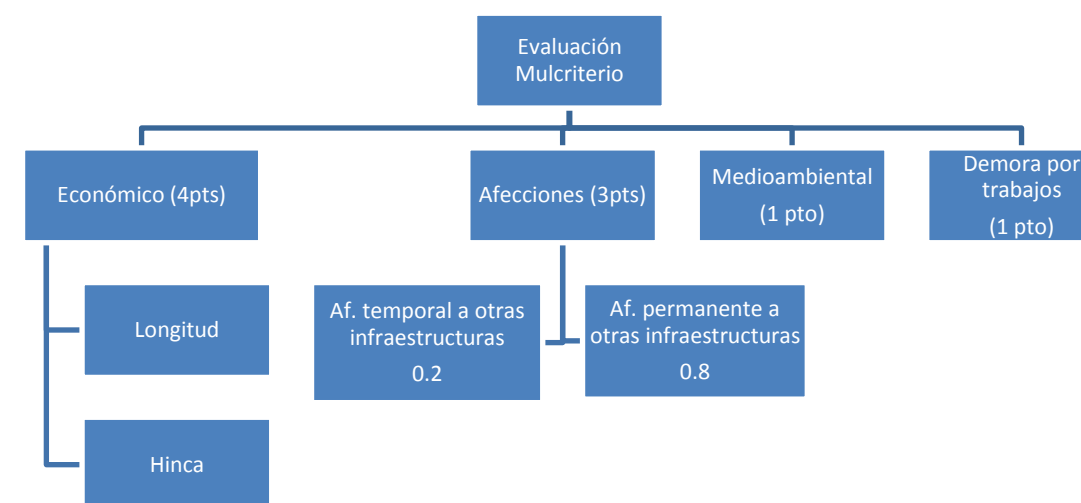


Fig. 8 Esquema de criterios.



Finalmente integrando todos los criterios y ponderándolos con sus correspondientes pesos respecto a la máxima calificación posible obtenemos:

CRITERIO	A	B	C	D	E
ECONÓMICO	3.19	3.35	4.00	3.44	3.74
AFECCIÓN	3.00	3.00	3.00	0.00	2.40
MEDIOAMBIENTAL	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00
DEMORA	1.00	0.00	0.50	1.00	1.00
SUMA TOTAL	7.69	7.35	8.00	5.44	8.14

Tabla 26 Calificaciones finales de la evaluación multicriterio.

Por lo que se decide que la opción E con una puntuación de 8,14 sobre 10 es la opción de trazado más ventajosa y la que por tanto se desarrollará.

6.3. DISEÑO HIDRÁULICO DE LA CONDUCCIÓN

Para poder finalmente decidir el material y el diámetro que se usará en las conducciones el primer paso es recopilar los máximos caudales que se habrán de trasegar y que provocarán las mayores pérdidas de carga. Se definen para ello en los siguientes esquemas las demandas de las 3 hipótesis de funcionamiento atendibles expuestas anteriormente para los meses de Marzo y Julio:



Figura 9. Envolvente de demandas Marzo.



Figura 10. Envolvente de demandas Julio.



Figura 11. Envolvente general de caudales.



Con dicha envolvente la única demanda que no se cubrirá, será la demanda íntegra del Sector 4 en su mes de máxima demanda (Julio). Aun así podrá satisfacer parte de sus necesidades en el mes de máxima demanda incluso cuando el Sector X esté satisfaciendo las suyas.

Una vez determinados los caudales máximos que circularan se diseñarán las conducciones con el diámetro suficiente y un material adecuado para que las pérdidas de carga sean inferiores a la diferencia de altura entre las soleras de las balsas.

6.3.1. Tanteos de pérdidas de carga y elección del material

A partir de la ecuación de Bernoulli sabemos que la energía potencial en el punto a es igual a la energía potencial en el punto b más las pérdidas de carga originadas por el flujo

$$z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{v_a^2}{2g} = z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{v_b^2}{2g} + \Delta h_x$$

Y si los términos energía y presión son los mismos a ambos lados podemos simplificar y despejar que

$$\Delta h_x = (z_a - z_b)$$

Posteriormente se considerará como se hace habitualmente en estos problemas que las pérdidas de carga por elementos como codos y bifurcaciones suponen un 15% de las pérdidas por fricción, por lo que el primer cálculo que se realiza es limitar las pérdidas de carga entre puntos provocadas por fricción a la diferencia entre alturas geométricas:

$$h_L = (z_a - z_b)$$

Las pérdidas de carga se obtienen por fricción de la ecuación de Darcy-Weisbach, que se expresan como:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Obteniéndose f mediante la fórmula de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{\epsilon/D}{3,71} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

A continuación se realiza un primer tanteo para decidir cuál será el material más conveniente con un par de diámetros para determinar el material idóneo a emplear en la conducción. Para ello se toma como ejemplo el caudal de 1,31 m³/s que tomaría el Sector 4 si tomara en solitario. En este caso sería necesario tener unas pérdidas de carga

inferiores a la diferencia de cota entre la balsa de reparto (81m) y la existente en el Sector 4 (cota 64), por lo que en total las máximas pérdidas de carga asumibles son de 17m.

$$h_L \leq (z_a - z_b) = 17 \text{ m}$$

Tanteando dicha opción en un trazado de unos 13.400 m y un caudal de 1,31 m³/s

	Diámetro [mm]	Area [m ²]	velocidad [m/s]	Re	ε [mm]	f	Δh [m]
Acero	1000	0.7854	1.67	1.67E+06	0.45	0.016	30.49
	1200	1.1310	1.16	1.39E+06	0.45	0.016	12.25
PEAD	1000	0.7854	1.67	1.67E+06	0.02	0.012	22.87
	1200	1.1310	1.16	1.39E+06	0.02	0.011	8.42
HORMIGÓN	1000	0.7854	1.67	1.67E+06	2	0.022	41.93
	1200	1.1310	1.16	1.39E+06	2	0.023	17.62

Tabla 27 Tanteo de diámetros, materiales y pérdidas de carga.

Como se ha destacado en la tabla sólo hay un material que por su baja rugosidad es capaz de transportar el agua con una pérdida de carga aceptable. Las pérdidas de carga localizadas se incorporan como el 15% de las de fricción como viene siendo tradicional en problemas como este donde no hay números giros de ángulos cerrados con codos, sino más bien una sucesión de alineaciones rectas. Se comprueba que efectivamente es capaz de trasegar el fluido salvando el desnivel:

$$\Delta h_x = h_L * 1,15 = 8,42 * 1,15 = 9,68 \leq 17 \text{ m} = (z_a - z_b)$$

Tras esta comprobación queda determinado que el material a utilizar en la conducción será el polietileno de alta densidad (PEAD).

6.3.2. Elección de diámetros

Se procede pues a elegir los diámetros adecuados con capacidad para trasegar el agua. Para ello se eligen diámetros capaces de transportar los caudales definidos anteriormente en la envolvente de caudales entre tomas con unas pérdidas de carga asumibles:



Figura 12. Envolvente general de caudales.

- Cálculo de diámetros del ramal norte

Dónde el tramo 1 va desde la balsa de reparto al punto de toma del sector IX, el dos va desde el anterior mencionado al punto de toma del sector X y el final de la conducción llega hasta el Sector 4. Como puede observarse en las dos últimas columnas $\sum \Delta h_x < \sum \Delta z$ en todo momento, asegurando el funcionamiento de la infraestructura.

RAMAL NORTE								
TRAMO	CAUDAL [m ³ /s]	LONGITUD [m]	DIAMETRO [mm]	f	h [m]	Δh_x	$\sum \Delta h_x$ [m]	$\sum \Delta z$ [m]
1	1,5	2.296,95	1.200	0,011	1,89	2,17	2,17	12
2	1,31	4.761,70	1.200	0,011	2,98	3,42	5,59	13
3	0,85	6.382,30	1.000	0,012	4,57	5,25	10,84	17

Tabla 28 Diametros y longitudes del ramal norte.

- Cálculo de diámetros de ramal sur

Como se ha comprobado en el anejo de cálculo de pérdidas de carga y optimización de diámetros, la conducción podría realizarse en todo este trazado con un diámetro de 800 mm, pero se ha optado por usar un diámetro mínimo de 600 mm en el último tramo para

abaratarse costes. Finalmente tras los cálculos se deduce que una longitud aceptable para las pérdidas de carga sería 1200 m (Anejo de estudio de optimización de diámetros del ramal sur).

De nuevo como en el caso anterior se definen 3 tramos:

- 1, de balsa de reparto a toma del sector San Rafael
- 2, de San Rafael a hasta 1200 m antes del fin de la conducción
- 3, últimos 1200 m de la conducción

Se resume en la tabla siguiente:

RAMAL SUR							
TRAMO	CAUDAL [m ³ /s]	LONGITUD [m]	DIAMETRO [mm]	f	h _x [m]	Δh_x [m]	$\sum \Delta z$ [m]
1	0,64	875,70	800	0,012	1,09	1,09	13
2	0,5	4.462,3	800	0,012	3,09	4,18	15
3	0,5	1.200	600	0,012	3,83	8,01	10

Tabla 29 Diametros y longitudes del ramal sur.

6.3.3. Elección de diámetros normalizados

Al trabajar con PEAD, los diámetros nominales dados por el fabricante son exteriores, no interiores por lo que se adaptan los diámetros de la realidad más próximos a los asumidos en los cálculos respetando siempre que el diámetro interior siempre sea el más parecido posible o superior para no tener mayores pérdidas de carga. Los espesores proporcionados por normativa DIN son:

DN [mm]	E [mm]	DI [mm]	D Cálculo [mm]
1.400	68	1.332	1.200
1.200	45,9	1.154,1	1.000
1.000	56,6	943,4	800
710	40,2	669,8	600

Tabla 30 Diametros Normalizados Adoptados



Figura 13. Envolvente general diámetros de cálculo.

6.3.4. Tiempos de cierres de válvulas

Los tiempos de cierre están calculados junto con la justificación de timbrajes en el anejo de cálculos hidráulicos. En la siguiente tabla resumen se muestran los tiempos de cierre de cada balsa que deberán regularse con electro válvulas motorizadas para no sufrir cavitaciones ni excesivas sobrepresiones en el sistema. También resultaría conveniente instalar una boya con sistema automatizado que no permitiera el funcionamiento de las bombas cuando el calado en la balsa de rotura de carga se encuentre por debajo de los 0,7 m, manteniendo así cebadas las bombas en todo momento.

	Tramo desde	Tramo Hasta	Tiempo de cierre
Impulsión	Balsa de rotura de carga	Balsa de Reparto	8,59 s
Ramal Norte	Balsa de Reparto	Balsa Sector IX	40 s
	Balsa de Reparto	Balsa Sector X	1 min 50 s
	Balsa de Reparto	Balsa Sector 4	2 min 48 s
Ramal Sur	Balsa de Reparto	Balsa Sector S.Rafael	10 s
	Balsa de Reparto	Balsa Sector S.J. Alginet	32 s
	Balsa de Reparto	Balsa Sector S. Nova Comunitat	51 s
	Balsa de Reparto	Balsa Sector S.J. Carlet	2 min 10 s

Tabla 31 Tiempos de cierre de válvulas de cada tramo.

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Como se detalla en el anejo de análisis económico teniendo en cuenta los costes de obra civil, equipos electromecánicos, de personal de mantenimiento y coste de la energía, el m³ de reutilización sale a unos 6 céntimos de euro, lo cual es un precio competitivo en el sector de la agricultura, donde suele variar entre los 10 y 1 céntimos. Los cálculos para la obtención de este precio están totalmente desarrollados en el anejo de análisis económico.

Coste de amortización de obras y equipos [€]	
Obra Civil	622.825,91
Equipos Electromecánicos	73.705,95
TOTAL	696.531,86

Tabla 32 Resumen de los costes anualizados de amortización de obra y equipos electromecánicos.

Gastos de explotación [€]	
Energía	148.948,80
Personal	24.390,09
Otros gastos de mantenimiento	34.667,78
TOTAL	208.006,67

Tabla 33 Resumen de los gastos de explotación anuales.



como la variación de la disponibilidad de otras fuentes del recurso y definitivamente el precio del mismo.

Coste total del m ³ de reutilización	
Coste de amortización de obras y equipos	696.531,86
Gastos de explotación [€]	208.006,67
TOTAL	904.538,53
Volumen Anual [m ³]	15.331.202,05
Coste TOTAL [€/m ³]	0,06

Tabla 34 Resumen del coste total del m³ de reutilización

8. INDICE DE PLANOS

1. TRAZADO
2. PERFIL LONGITUDINAL
3. BALSA ROTURA DE CARGA
4. BALSA REPARTO
5. BALSA S.J.ALGINET
6. BALSA NOVA COMUNITAT
7. BALSA S.J.CARLET
8. DETALLES

9. CONCLUSIONES FINALES

Durante este estudio se hemos observado la complejidad que supone realizar un estudio de soluciones debido a la gran cantidad de variables que se consideran en esta clase de trabajos. Especialmente en éste que ha resultado ser un estudio evolutivo, en el que se ha partido de unas bases mínimas de información y ha sido el propio estudio el que ha ido evolucionando y generando las incógnitas de qué solución adoptar en cada momento, gracias en parte a que no habían desde el primer momento una serie de opciones entre las que decidir cómo es más tradicional en los estudios de soluciones puros.

Finalmente la solución que inicialmente se perfilaba como simple y funcional (una impulsión en T) ha sido sustituida por una que ha dotado a las comunidades de regantes con una mayor versatilidad y capacidad de regulación posibilitando un funcionamiento dinámico y adaptable a las circunstancias que condicionan el sector de la agricultura