

OPTIMITZACIÓ DEL DIMENSIONAMENT DELS DIPÒSITS REGULADORS EN DISTRIBUCIÓ A LA DEMANDA. APLICACIÓ ALS REGS DE L'ALDEA- CAMARLES (BAIX EBRE)

Josep Maria Franquet Bernis

*Dr. Enginyer Agrònom EUR-ING. Universitat Nacional d'Educació a Distància (UNED).
Campus del Nord-est. Centre Associat de Tortosa (Tarragona). director@tortosa.uned.es.*

RESUM

Aquest regadiu d'Aldea-Camarles, situat a la comarca del Baix Ebre, permetrà inicialment la posada en reg d'una superfície de 4974 hectàrees netes (6687 hectàrees brutes), amb una dotació mitjana ponderada de 2382 m³/ha i any i uns 2300 propietaris afectats. Es preveu que posi en reg de suport 4241 hectàrees d'olivera i garrofers així com implantar cítrics de diferents varietats en 733 hectàrees que correspon a la part de cota més baixa, on la climatologia és més adequada. En el present treball s'han aplicat criteris objectius de dimensionament òptim de les basses reguladores de l'aigua al cas concret d'aquest projecte de regs, l'execució material de les obres i instal·lacions del qual encara no s'han iniciat. El càlcul de les dimensions òptimes i consegüent volum útil dels dipòsits reguladors pot fer-se tot seguint els mateixos principis ja exposats en aquest treball si ha de servir únicament per al bon govern de l'estació de bombament. D'aquí es dedueix que hi hauria prou amb efectuar una previsió d'emmagatzematge de 216468 m³ front els 361100 ó 368248 m³ oficialment projectats, la qual cosa representaria un estalvi econòmic certament important.

Paraules clau: concessió administrativa, zona regable, cabal, dipòsit regulador, pis de reg, impulsíó, bombament, necessitats hídriques.

RESUMEN

Este regadío de Aldea-Camarles, situado en la comarca del Bajo Ebro, permitirá inicialmente la puesta en riego de una superficie de 4974 ha netas (6687 ha brutas), con una dotación media ponderada de 2382 m³/ha y año para unos 2300 propietarios afectados. Se prevé un riego de soporte de 4241 ha de olivos y algarrobos, así como la implantación de 733 ha de cítricos de diferentes variedades en las cotas más bajas, donde la climatología resulta más adecuada. En el presente trabajo se han aplicado criterios objetivos de dimensionamiento óptimo de las balsas reguladoras del agua de este proyecto, cuya ejecución material de las obras e instalaciones todavía no se ha iniciado. El cálculo del dimensionamiento óptimo y el consecuente volumen útil de los depósitos reguladores puede llevarse a cabo siguiendo los mismos principios

expuestos en el presente trabajo si ha de servir únicamente para el buen gobierno de la estación de bombeo. Se deduce, en definitiva, que sería suficiente con efectuar una previsión de almacenamiento de 216468 m³ frente a los 361100 ó 368248 m³ oficialmente proyectados, lo que representaría un ahorro económico ciertamente importante.

Palabras clave: concesión administrativa, zona regable, caudal, depósito regulador, piso de riego, impulsión, bombeo, necesidades hídricas.

SUMMARY / ABSTRACT

This irrigation of Aldea-Camarles, located in the region of the Bajo Ebro, will initially allow the irrigation of an area of 4974 implementation ha net (6687 ha gross), with a weighted average strength of 2382 m³/ha and year to about 2300 affected owners. It is expected a 4241 support irrigation in olive trees and carob trees, as well as the implementation of 733 hectares of citrus fruits of different varieties at lower elevations, where the weather is more suitable. In the present work, it is applied objective criteria of optimal sizing of regulatory rafts of water of this project, whose material execution of the works and installations has not yet started. The calculation of the optimal dimensioning and the consequent volume of regulatory deposits can be carried out following the same principles contained in this work if it is to serve only for the good government of the pumping station. It follows, in short, that it would be enough to make a forecast of 216468 m³ against the 361100 or 368248 m³ officially projected storage, which would represent certainly significant economic savings.

Keywords: *administrative concession, area irrigable, flow, buffer tank, floor drive, pumping, irrigation, water needs.*

1. INTRODUCCIÓ

L'autorització de la concessió d'aigües del riu Ebre a la CRAC (Comunitat de Regants de l'Aldea-Camarles) fou aprovada l'any 1927 i es va publicar el 29 d'agost de 1934 al Butlletí Oficial de la Generalitat de Catalunya núm. 271. L'antic Projecte de regadiu del Canal Aldea-Camarles incloïa la zona delimitada pel canal principal de la marge esquerra de l'Ebre, la sèquia núm. 2 del sistema de regs de la Comunitat de Regants-Sindicat Agrícola de l'Ebre, la cota taquimètrica 80 m.s.n.m. i el barranc de Gilet. El cabal concedit a la CRAC a partir d'aquest document de concessió va ser de 1400 l/s. en cabal fictici continu des del riu Ebre. Després, al llarg del temps, s'han anat produint diferents modificacions en els projectes tècnics fins arribar a la situació actual. Algunes de les dades aquí exposades, doncs, poden variar en el moment de l'execució material de les obres i instal·lacions projectades; en qualsevol cas, el que es pretén mitjançant aquest estudi és posar de manifest un exemple prou il·lustratiu de com optimitzar la capacitat dels dipòsits de regulació de l'aigua de reg en qualsevulla inversió infraestructural d'aquestes característiques.

2. SUCCINTA CARACTERITZACIÓ DELS REGS DE L'ALDEA-CAMARLES

Aquest regadiu, situat a la comarca del Baix Ebre, permetrà inicialment la posada en reg d'una superfície de 4974 hectàrees netes (6687 hectàrees brutes), amb una dotació mitjana ponderada de 2382 m³/ha i any i uns 2300 propietaris afectats. Es preveu que posi en reg de suport 4241 hectàrees d'olivera i garrofers així com implantar cítrics en 733 hectàrees que correspon a la part de cota més baixa, on la climatologia és més adequada (RURALCAT, 2010). Es tracta d'una actuació que permetrà la fixació de la població en el territori i, juntament amb els regs del Xerta-Sénia, una millora notòria de l'economia agrària de les comarques meridionals de l'Ebre. L'import de les obres de la xarxa primària ascendeix a 36 milions d'euros i afecta els termes municipals de Tortosa, l'Aldea, Camarles, l'Ampolla i El Perelló. El pressupost global de l'obra ascendeix a 102 milions d'euros i, en una primera fase, es liciten 17 milions d'euros (que comprèn la captació des del riu Ebre i la impulsió a la primera bassa).

La sol·licitud ve acompanyada del projecte de rehabilitació de la concessió del canal de l'Aldea-Camarles (Baix Ebre), realitzat per la consultora AUDING i signat pels enginyers Josep Secanell i Nadales, Olga Castillo i Trilla i Jaume Sangrà Pascual en data març de 2006 i visat pel Col·legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya en data 27 de juny de 2006. L'estudi d'impacte ambiental del reg de l'Aldea-Camarles està realitzat per la consultora Gaena Entornament SLL i signat per la senyora Pilar Mallol Casals en data març de 2006. El 22-11-07 s'adjudicà a l'empresa Payma Cotas, el projecte constructiu per a la xarxa de distribució del primer pis, licitat el 7 de setembre del mateix any 2007 per un import de 232173 euros. Així doncs, s'anaven cremant etapes i l'any 2008 s'adjudicava el projecte de la xarxa primària dels pisos 2, 3, 4 i 5 (licitada en el més de març) a l'empresa Inypsa, Informes i Proyectos, S.A., per un import de 321654 euros. El dia 2 de desembre del 2008 es lliurava el segon projecte constructiu del reg del Pis 1. En una reunió amb Regsa i l'empresa

Payma Cotas, a qui se li havia adjudicat el projecte l'any anterior, es feien els últims retocs del que havia de ser la distribució de la xarxa de reg del primer nivell de l'àrea regable.

El Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat hi estava a sobre del tema i, sabent que la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre estava ultimant l'informe favorable per a la rehabilitació de la concessió, havent complert satisfactòriament el període d'exposició pública, va preparar un document amb el resum definitiu de les dades de la zona regable, atès que en l'acta de la visita de l'enginyer de la CHE, Sr. De Jaime, signada en data 4-12-08, hi havia alguna diferència quant a les dimensions de l'àrea regable. Així, un informe redactat en llengua castellana del 10-3-09 incrementava fins les 5295 les hectàrees netes de reg, fixant les necessitats hídriques mensuals i anuals, amb els 1400 litres per segon de cabal fictici continu, tal com resa la concessió de 1934, amb una distribució de quatre pisos de reg, des d'una cota mínima de 5 metres sobre el nivell del mar i una màxima de 252. Aquest informe, signat pel Subdirector General d'Infraestructures Rurals, Sr. Enjuanes Puyol, es lliurava a la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre en data 25-03-09, amb una còpia adreçada al president de la corresponent Comunitat de Regants (AGRONOMS, 2011).

El 23 de setembre del 2010 s'adjudicava la primera obra de les previstes, la captació del riu Ebre, impulsió i 1^a bassa de regulació, a l'empresa Comsa. Posteriorment, el 29 de novembre es feia l'adjudicació de la direcció d'obres a l'empresa Control y Geología, S.A. Més endavant, els tràmits administratius haurien de portar a començar l'obra a les primeries del 2011. En el conveni signat per Regsa, administradora dels plans de reg de la Generalitat de Catalunya, i Comsa, l'empresa contractista adjudicatària, es crea el compromís d'iniciar les obres el 15 de febrer del 2011, la qual cosa significa que després de quinze mesos (el termini d'execució que consta en el projecte constructiu de la primera obra), a partir del més de maig del 2012 estaria disponible l'obra inaugural del projecte de reg del Canal de l'Aldea-Camarles, exactament 85 anys després de l'autorització de la Comunitat per part del govern central aleshores presidit pel general Primo de Rivera, i 78 anys després de la concessió de l'aigua, per part també del govern central de la Segona República Espanyola. En aquests moments, però, aquest procés es troba paralitzat.

L'emplaçament de la captació d'aigües es troba situada al terme municipal de Tortosa, a la riba esquerra del riu Ebre, 3 km. aigües amunt a partir de l'autopista AP-7, al costat del lloc conegut com a "Mas del Quinto". Un canal de formigó conduirà l'aigua fins a la cambra de bombes, situada a 40 metres de la llera del riu i a partir d'aquest punt s'impulsarà cap a la zona regable. Aquesta s'ha dividit en quatre pisos de reg (A, B, C, D) atenent a la cota taquimètrica del terreny, de manera que el D és el pis que ocupa la franja de cota inferior de l'àrea a transformar en reg i el pis A la franja de cota superior (REGSA, 2011).

El pis de cota inferior (pis D) és en el que coexistirien el reg localitzat d'alta freqüència per al cultiu de cítrics i el reg de suport per al cultiu d'olivera, mentre que la resta de pisos es destinaria íntegrament al reg de suport del cultiu de l'olivera. El bombament d'aigua plantejat és successiu entre pisos, de forma

que des d'un pis de reg es bombaria l'aigua necessària al pis de reg següent. La xarxa de reg de cada pis s'alimentarà a través de la corresponent bassa reguladora ubicada en la cota taquimètrica adequada. Totes aquestes basses, de configuracions geomètriques diverses, estaran excavades un màxim de 10 metres i s'impermeabilitzaran amb làmines d'EPDM i geotèxtil. El projecte preveu, endemés, el moviment d'1.3 milions de metres cúbics d'excedents de terres.

A continuació es mostren les necessitats hídriques calculades, així com el cabal fictici continu i la dotació anual, tant per al reg de suport com per al reg de cítrics.

Taula 1. Necessitats hídriques de la zona regable.

	SUPORT	CÍTRICS
Superfície neta inicial	4241 ha	733 ha
Nec. hídriques anuals a parcel·la	1724 m ³ /ha	6189 m ³ /ha
Nec. hídriques mensuals a parcel·la (juny)	687 m ³ /ha	916 m ³ /ha
Nec. hídriques mensuals a parcel·la (juliol)	157 m ³ /ha	1263 m ³ /ha
Nec. hídriques mes màxim consum.	0.249 l/s·ha	0.362 l/s·ha
Demanda global a captació (juny)		

Cabal fictici continu en captació (juny): 1395 l/s < 1400 l/s. (concessió).

Com es pot veure, les necessitats hídriques màximes dels cítrics (fonamentalment tarongers i mandariners de diferents varietats) es produeixen durant el mes de juliol, mentre que l'olivera (*Olea europaea*, L.) i el garrofer (*Ceratonia siliqua*, L.) són en el més de juny. Donat que la superfície prevista d'olivera és molt més gran que la de cítrics, les necessitats hídriques mensuals màximes globals es donen, tanmateix, durant el més de juny. Es considera una eficiència del 97.5% en les basses de regulació.

La cota de reg, com s'ha dit, oscil·la entre els 5 i els 252 m.s.n.m., projectant-se 4 pisos de reg per tal d'optimitzar tant els costos d'explotació com d'inversió. Cadascun d'aquests pisos estarà dominat per una bassa de regulació, des de la qual s'abastarà la seva superfície regable per pressió natural. Es projecten 4 bombaments successius, des de la EB1, situada a la zona de captació, a les successives basses de regulació. Des de cada bassa de regulació s'abastarà el seu pis associat mitjançant una xarxa de distribució fins a cadascuna de les parcel·les regables, garantint una pressió en el goter situat en les condicions més desfavorables de 10 m.c.a. (1 atm = 1 bar = 1 kp./cm²).

A continuació es mostra la superfície de cadascun dels pisos de reg així com la capacitat o volum útil de les basses de regulació tot tenint en compte una regulació setmanal i un volum de reserva d'un dia de reg del mes de màximes necessitats hídriques (en la taula també s'inclou la cota de la solera de les basses). S'han previst dues estacions de bombament, a saber:

- Obra de captació i bombament principal.
- Estació de bombament a pisos superiors.

Els bombaments funcionaran 88 h/setmana pel reg de recolzament i 112 h/setmana pel reg de cítrics per tal de reduir els costos energètics i evitar el funcionament en hores de tarifa punta. Aquest fet implica que els 1.4 m³/s. concedits en cabal fictici continu caldrà permetre captar-los -un cop repercutides les diferents superfícies de reg- en 95 h/setmana durant el mes de màxim consum, la qual cosa representa un cabal màxim instantani de 2.53 m³/s. La resta d'impulsions s'efectuaran així: una des de la bassa del pis D impulsant el cabal corresponent als pisos C, B i A fins a la bassa del pis C i des d'aquesta bassa als pisos superiors B i A. En tractar-se d'un reg de recolzament, totes les impulsions -excepte la de la captació al riu Ebre- funcionaran 8 h/setmana (REGSA, 2011).

Altres dades d'aquest reg a la demanda són les següents:

- Capacitat total: 361100 (368248) m³
- Superfície estimada d'embassament: 10 ha.
- Capacitat de regulació: 5 dies (reg d'oliveres i garrofers) i 3 dies (reg de cítrics).
- Sistema d'impermeabilització: làmina d'EPDM de 1.5 mm. de gruix o similar.
- Amplada coronació de talús perimetral: 5 m.
- Alçada d'aigua en la bassa: 5 m.
- Resguard hidràulic: 1 m.

Taula 2. Volums de reserva i regulació.

Bassa	Sup. Reg Intensiu (ha)	Sup. Reg de recolzament (ha)	Capacitat (m ³)	Cota solera (m.s.n.m.)
A (4)	-	302	36700 (44673)	285
B (3)	-	749	81000 (80690)	238
C (2)	-	1519	118400 (112885)	180
D (1)	733	1671	125000 (130000)	115
TOTAL	733	4241	361100 (368248)	--

Nota: Les xifres entre parèntesis corresponen a la darrera actualització.

Les canonades d'impulsió previstes són d'acer soldat helicoïdalment (ASH) de timbratges variables oscil·lants de 6 a 16 bar i diàmetres superiors a 1500 mm (Franquet, 2005). Per a diàmetres compresos entre 800 i 1500 mm. el material previst és el formigó armat amb camisa de xapa d'acer (FACX) mentre que per diàmetres inferiors es preveu la utilització del PRFV (polièster reforçat amb fibra de vidre). Les seves principals característiques es resumeixen a la taula següent:

Taula 3. Caracterització de les impulsions.

Bombament	Pisos servits	Q (m ³ /s)	Diàmetre (mm.)	PN (bar)	Material
Impulsió a captació	A-B-C-D	2.53	1800	Fins a PN16	ASH
Impulsió a pisos de reg	A	0.14	400	Fins a PN16	PRFV
	B	0.35	600	Fins a PN10	PRFV
	C	0.71	900	Fins a PN6	PRFV

La canonada d'impulsió des del punt de captació situat a prop del "Mas de Quinto" a la partida de "Font de Quinto" (Campredó-Tortosa) ha d'ésser capaç per al transport, doncs, de 2.53 m³/s. en cabal fictici continu. Succeirà, no obstant això, que a certes hores i en moltes èpoques de l'any només siguin necessaris uns cabals menors. D'aquí es desprèn la necessitat de construir dipòsits reguladors que puguin servir d'intermediaris entre l'estació principal de bombeig i les demandes variables de la xarxa.

Pel que es refereix a les estacions projectades de bombament de l'aigua tenim les següents dades:

Taula 4. Caracterització de les estacions de bombament.

Bombament	Pisos servits	Q (m ³ /s)	Alçada (m.)	Potència (kW)	Potència instal·lada (kW)
EB captació	A-B-C-D	2.53	150	4640	6170
EB a pisos reg	A	0.14	160	275	366
	B	0.35	105	448	596
	C	0.71	50	433	575

Les potències s'han calculat preveient un rendiment del grup del 81% (90% del motor i 90% de la bomba) i la potència instal·lada preveient la instal·lació de tres equips i un de reserva.

Esquemàticament, es produirà una regulació mitjançant dipòsits elevats, intercalats entre l'estructura elevadora de capçalera i la xarxa de distribució a la zona regable, del tipus que es pot apreciar en la planta general d'aquella:

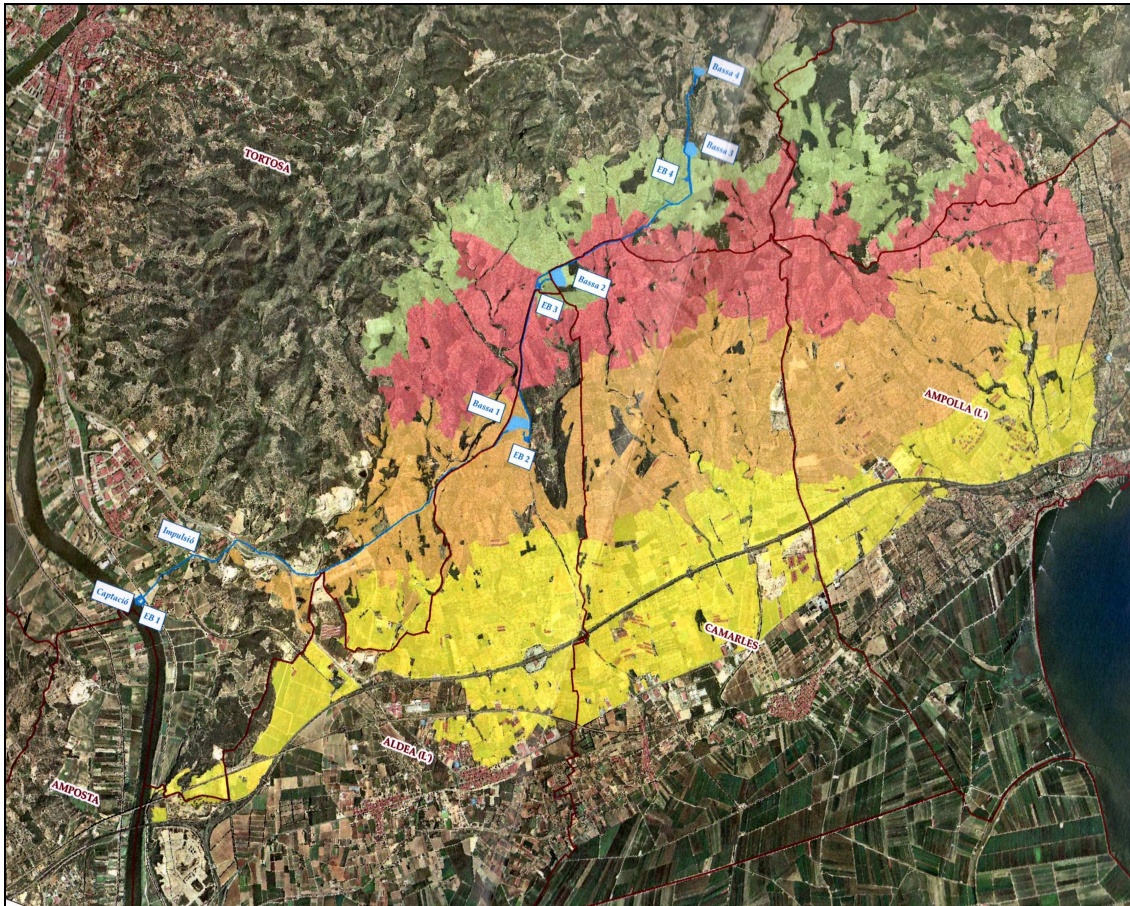


Fig. 1. Planta general de la zona regable.

3. METODOLOGIA D'OPTIMITZACIÓ DE LA CAPACITAT DE REGULACIÓ

Essent Q'' el cabal subministrat per les bombes de l'estació principal i Q_d el requerit en un moment donat per la xarxa de distribució, serà: $Q_d < Q''$, amb el que: $Q_d = a \cdot Q''$, $\forall a / 0 < a < 1$.

El temps d'omplida dels dipòsits T_i , entrant un cabal Q'' i sortint Q_d , essent V_u el seu volum útil (entre els nivells màxim h_2 i mínim h_1), serà (Gómez, 1981):

$$T_i = \frac{V_u}{Q'' - Q_d} = \frac{V_u}{Q'' - a \times Q''} = \frac{V_u}{Q''(1-a)}; \quad T_v = \frac{V_u}{Q_d} = \frac{V_u}{a \times Q''}.$$

Per al càlcul genèric del temps necessari de buidat de l'embassament es contempla un cas de flux variable d'interès pràctic, que és aquell en el qual el nivell baixa i es demana el temps que tarda en baixar una certa altura. Com sigui que la superfície del dipòsit descendeix molt lentament, l'errada que es comet en aplicar el principi de Bernoulli¹ és menyspreable.

¹ Com es recordarà, el **principi de Bernoulli**, també conegut com **equació de Bernoulli** o **trinomi de Bernoulli**, descriu el comportament d'un fluid que es mou al llarg d'una línia de corrent. Va ser anunciat per Daniel Bernoulli a l'obra *Hidrodinàmica* (1738) i expressa que en un fluid ideal (sense viscositat ni

El volum de líquid que surt per l'orifici en el temps dt serà $Q_s \cdot dt$ que equivaldrà a la reducció de volum de líquid en el dipòsit en el mateix temps $S \cdot (-dh)$, en què $S(h)$ és l'àrea de la superfície del líquid a l'altura h de l'orifici de sortida. Igualant les dues expressions anteriors resulta:

$$Q_s \cdot dt = -S \cdot dh; \quad dt = -\frac{S \cdot dh}{Q_s};$$

Separant el valor dt i integrant entre ambdós límits: $h = h_1, \forall t = 0$ i $h = h_2, \forall t = t$:

$$t = \int_0^t dt = -\int_{h_1}^{h_2} \frac{S \cdot dh}{Q_s}.$$

Altrament, el cabal que surt per l'orifici de buidat de la bassa és, com se sap:

$$Q_s = C_d \cdot S_0 \cdot \sqrt{2gh}, \quad \text{d'on: } t = -\frac{1}{C_d \cdot S_0 \cdot \sqrt{2g}} \int_{h_1}^{h_2} S \cdot h^{-1/2} \cdot dh.$$

Quan es coneix el valor de la funció $S = f(h)$ de l'embassament, la integral definida anterior pot calcular-se analítica o gràficament.

En el cas de que al dipòsit s'hi aporti un cabal (Q_e) menor que el que es desguassa per l'orifici de sortida (Q_s), tindrem ($Q_e < Q_s$):

$$-S \cdot dh = (Q_s - Q_e) dt,$$

d'on:

$$t = \int_{h_1}^{h_2} -\frac{S \cdot dh}{Q_s - Q_e} = \int_{h_1}^{h_2} \frac{S \cdot dh}{Q_e - C_d \cdot S_0 \cdot \sqrt{2gh}}.$$

Per a que el temps total: $T = T_1 + T_V$ es minimitzi, s'ha de verificar ($T =$ temps transcorregut entre 2 postes en marxa successives) que (Gómez, 1979):

$$\begin{aligned} T = T_1 + T_V &= \frac{V_u}{Q''(1-a)} + \frac{V_u}{a \times Q''} = \frac{V_u}{Q''-a \times Q''} + \frac{V_u}{a \times Q''} = \\ &= \frac{V_u \times a \times Q''}{(Q''-a \times Q'') \times a \times Q''} + \frac{V_u(Q''-a \times Q'')}{(Q''-a \times Q'') \times a \times Q''} = \frac{V_u \times Q''}{(Q''-a \times Q'') \times a \times Q''} = \\ &= \frac{V_u}{(1-a) \times Q'' \times a} = \frac{V_u}{Q''(a-a^2)}; \end{aligned}$$

fregament) que circula per un conducte tancat, l'energia que té el fluid es manté constant al llarg del recorregut. L'energia d'un fluid en qualsevol moment consta de tres components:

1. Cinètic: és l'energia deguda a la velocitat del fluid.
2. Potencial gravitatòria: és l'energia deguda a l'altitud que té el fluid.
3. Energia de flux: és l'energia que té el fluid degut a la pressió a la qual està sotmès.

La minimització d'aquesta funció exigeix com a condició necessària (o de 1er grau) que:

$$\frac{dT}{da} = -\frac{V_u \times Q''(1-2a)}{(Q'')^2 \cdot (a-a^2)^2} = \frac{V_u(2a-1)}{Q''(a-a^2)^2} = 0;$$

d'on $\Rightarrow 2a - 1 = 0$, o sigui: $a = \frac{1}{2} = 0'5$.

La condició suficient o de 2on. grau exigeix:

$$\begin{aligned} \frac{d^2T}{da^2} &= \frac{2V_u \times Q''(a-a^2)^2 - V_u(2a-1) \times Q'' \times 2(a-a^2) \times (1-2a)}{Q''^2 (a-a^2)^4} = \\ &= \frac{2 \times V_u \times Q''}{Q''^2 (a-a^2)^2} = \frac{2 \times V_u}{Q''(a-a^2)^2} = \frac{2 \times V_u}{Q'' \times \left(\frac{1}{16}\right)} = \frac{32 \times V_u}{Q''} > 0, \end{aligned}$$

com es volia demostrar.

Així doncs es tracta, efectivament, d'un mínim relatiu o local en el punt de coordenades cartesianes rectangulars:

$$\left(\frac{1}{2}, \frac{4 \times V_u}{Q''} \right). \text{ Amb tot això, el temps total serà:}$$

$$T = \frac{V_u}{Q'' \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4} \right)} = \frac{V_u}{Q'' \times \frac{1}{4}} = \frac{4 \times V_u}{Q''}; \text{ d'on també: } \boxed{V_u = \frac{T \times Q''}{4}}.$$

El temps transcorregut entre dues posades en marxa successives, serà:

$$T = T_I + T_v = \frac{V_u}{Q''(1-a)} + \frac{V_u}{a \times Q''} = \frac{V_u}{Q''} \left(\frac{1}{1-a} + \frac{1}{a} \right).$$

La representació de la funció anterior en uns eixos de coordenades cartesianes rectangulars (a, T) ofereix simetria respecte de la recta: $a = \frac{1}{2}$, per la qual cosa representa, efectivament, un mínim de T per a aquest valor.

En alguns casos d'omplida inferior de les basses reguladores, si la diferència existent entre els dos valors, superior (h_1) i inferior (h_2), de la bassa és important en relació amb l'alçada total del bombament, el cabal Q'' esdevé variable, tot disminuint en augmentar l'alçada manomètrica del bombeig. Per aquesta raó es pot prendre un valor intermedi de Q'' per tal de determinar el V_u . Altrament, en fixar V_u amb el cabal inicial de bombament, obtenim un volum superior al realment necessari. Serà precís, doncs, si volem afinar quelcom més els càlculs, determinar la corba de velocitats d'omplida, que està influïda

per la forma irregular de la bassa, i determinar el seu valor mitjà o promig integral.

En el nostre cas, a la vista de les dades aportades per aquest projecte, seria lògic assignar els següents valors dels paràmetres anteriors:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = 95 \text{ hores} = 5700 \text{ min.} \\ Q'' = 2.53 \text{ m}^3/\text{s.} = 151.8 \text{ m}^3/\text{min.} \end{array} \right.$$

amb la qual cosa, el **volum total** necessari dels dipòsits reguladors, seria:

$$V_u = \frac{5700 \times 151.8}{4} = 216315 \text{ m}^3.$$

En aquestes condicions, es tindria un temps d'omplida (o de funcionament del bombeig) de:

$$T_i = \frac{V_u}{Q''(1-a)} = \frac{216315}{151.8 \times (1-0.5)} = 2850' = 47.5 \text{ hores},$$

i també un temps de buidat de:

$$T_v = \frac{V_u}{a \times Q''} = \frac{216315}{0.5 \times 151.8} = 2850' = 47.5 \text{ hores.}$$

Tot això resulta factible per a una demanda de reg de:

$$Q_d = a \times Q'' = 0.5 \times 151.8 = 75.9 \text{ m}^3/\text{min.} = 1.265 \text{ m}^3/\text{s.}$$

Per a majors demandes, amb el mateix coeficient "a", s'haurien d'augmentar els cabals de bombament Q'' sense rebassar, en cap moment, el cabal màxim instantani ($2.53 \text{ m}^3/\text{s.}$) que compleixi amb les determinacions de la pertinent concessió administrativa atorgada al seu dia per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (CHE).

Altrament, encara que en instal·lacions com la projectada pugui tenir això molt poca influència, les basses de regulació han de prevenir els retards que es produeixen en la posada a ple règim dels corresponents grups impulsors. En efecte, tant si l'arrencada dels electromotors és temporitzada per estrella-triangle, per reòstat, per transformador, per volant d'inèrcia, en càrrega amb embragatge hidrodinàmic o bé per mecanisme variador de freqüència, la columna d'aigua de l'elevació posseeix una gran inèrcia i no assoleix la seva velocitat de règim fins després de transcorregut un cert període de temps. I mentrestant, la bassa segueix baixant de nivell i pot arribar a buidar-se totalment.

Si es tractés d'una estació de bombeig amb varies bombes i uns contactes seriatos que determinen la posada en marxa i parada de cadascuna, la distància entre els contactes d'arrencada ha de ser superior a la que determina el volum

d'aigua que aixeca la bomba en el seu temps d'arrencada. Endemés, per sota del darrer contacte ha d'existir també un volum d'aigua més gran que el volum bombejat durant un temps igual al que duri la seva arrencada.

En el supòsit de dimensionament anteriorment expressat, amb $N = 3$ grups motobombes de $q = 850$ l./s. de cabal unitari i una unitat de reserva de 100 l./s., totes les bombes arrencarien simultàniament. Tanmateix serà necessari decalar un cert temps cada grup del següent; el temps adoptat ha d'ésser superior a t i és prudent de prendre un valor $2t$ com a garantia, per la qual cosa caldrà incrementar el volum necessari fins ara calculat en:

$$V'_u = 2 \cdot N \cdot t \cdot q = 2 \times 3 \times 20 \times 0.85 = 102 \text{ m}^3,$$

en el qual hem suposat que els grups de bombeig triguen $t = 20$ segons en assolir el seu règim normal de funcionament.

Aquest volum, a la fi, hauria d'ésser incrementat en un marge superior per tal de poder instal·lar una alarma general i un sobreeixidor que actuïn en cas de fallida del sistema d'automatisme de parada, i un resguard inferior per a col·locar un dispositiu de seguretat que aturi totes les màquines en cas que el nivell de l'aigua continuï davallant per sota del contacte de marxa de la darrera bomba o grup impulsor (per ruptura de la xarxa de distribució o bé demanda no prevista). En tal cas, si assignem un temps de 20" a cadascun d'aquests resguards, tindrem unes necessitats complementàries de:

$$V''_u = 20 \times 3 \times 0.85 = 51 \text{ m}^3,$$

amb la qual cosa es precisarà un volum útil total de les basses a preveure en aquest projecte de:

$$V = V_u + V'_u + V''_u = 216315 + 102 + 51 = 216468 \text{ m}^3,$$

que resulta ser només d'un: $(216468/361100) \times 100 \approx 60\%$ del projectat, o fins i tot quelcom menys considerant una capacitat total de regulació de les basses de 368248 m^3 .

Cal tenir en compte que poden reduir-se els volums separadors dels contactes mitjançant dispositius de rellotgeria elèctrics o electrònics que retardin l'arrencada dels electromotors durant uns quants segons. Això evita, d'altra banda, que quan el nivell de l'aigua oscil·la relativament poc, l'onatge produït pel vent pugui posar en marxa un grup que tornaria a parar-se immediatament, en estar la demanda ajustada al nombre de bombes inferior en una unitat.

Les darreres dades de què disposem, quan encara no s'ha iniciat l'execució material de les obres i instal·lacions projectades, que suposen lleugeres modificacions en relació a les expressades, es poden resumir en la taula i figura següents:

RANGS DE FUNCIONAMENT DELS BOMBAMENTS			EIXOS CANONADA								
	Alçada manomètrica mínima	Alçada manomètrica al punt de funcionament	Alçada manomètrica	MATERIAL	DN	PN	Q	v	Long. (m)		
EB2	70 m	78 m	80 m	0	Canonada d'aspiració de la bassa 1	PRFV	1600 800	10 10	2.26 1.07	1.88 1.22	177,14
EB3	64 m	71 m	73 m	1	Canonada d'impulsió de bassa 1 a bassa 2	PRFV	900	10	1.19	1.88	2.402,27
EB4	48 m	55 m	59 m	2	Canonada de reg pis 2 + aspiració de bassa 2	ASH	1200	6	1.36	1.21	279,71
				3	Canonada de desguàs de la bassa 1	PRFV	800	6	0.90	1.80	456,83
				4	Canonada d'impulsió de bassa 2 a bassa 3	PRFV	700	10	0.63	1.64	3.262,20
				5	Canonada de reg pis 3 + aspiració de bassa 3	PRFV	800	6	0.78	1.56	341,71
				6	Canonada de reg pis 3 + desguàs bassa 3	PRFV	700	6	0.56	1.48	658,84
				7	Canonada de reg pis 4 + impulsió a bassa 4	PEAD	560	6	0.31	1.60	1.503,02
				8	Canonada de desguàs de la bassa 4	PEAD	500	6	0.34	2.05	26,80

Taula 5. Altres dades alternatives de la xarxa primària.

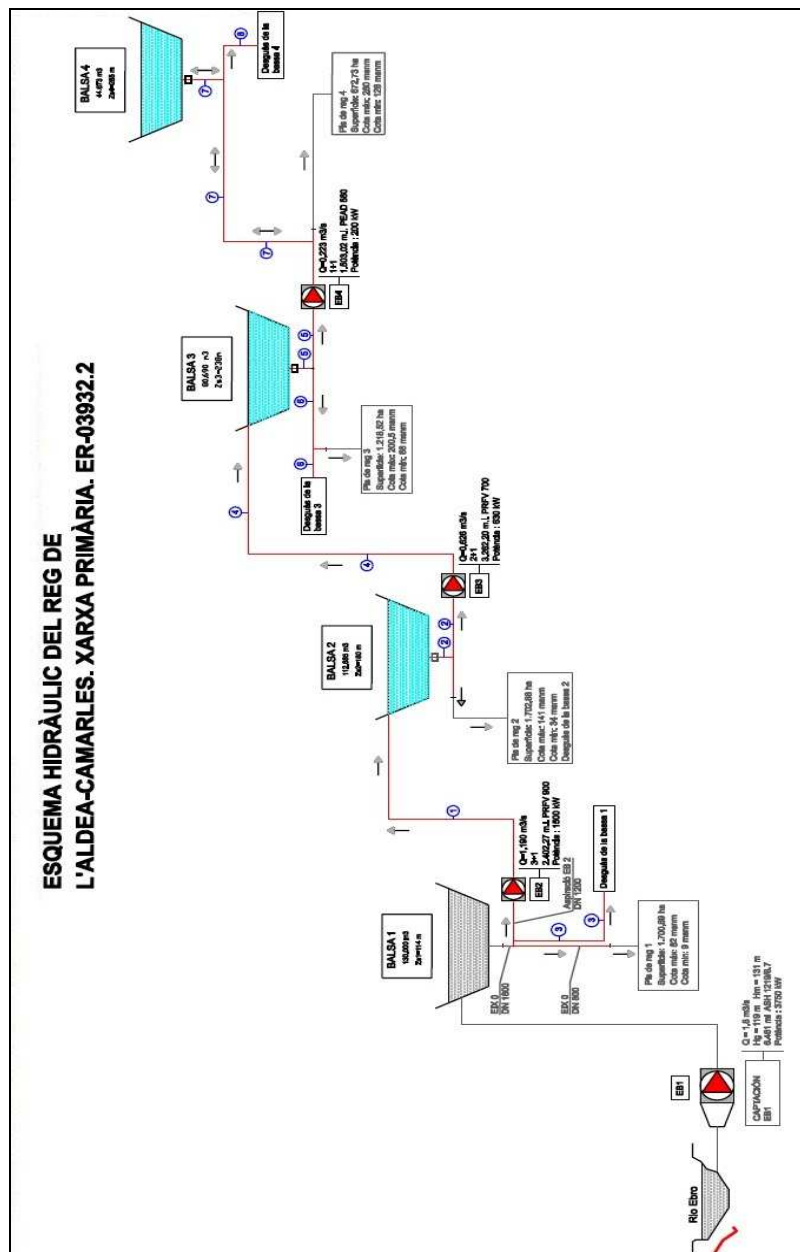


Fig. 2. Esquema hidràulic de la xarxa primària.

4. CONCLUSIÓ

A certes hores i en moltes èpoques de l'any solament seran necessaris uns cabals menors que els 2.53 m³/s. del màxim instantani. D'aquí es desprèn la necessitat de construir dipòsits reguladors que puguin servir d'intermediaris entre l'estació de bombeig i les demandes variables de la xarxa de distribució en funció de l'època de l'any, la tipologia dels conreus o la climatologia.

En definitiva, el càlcul de les dimensions òptimes i consegüent volum útil dels dipòsits reguladors pot fer-se tot seguint els mateixos principis ja exposats en aquest treball si ha de servir únicament per al bon govern de l'estació de bombament. D'aquí es dedueix que hi hauria prou amb efectuar una previsió d'emmagatzematge de 216468 m³ front els 361100 ó 368248 m³ projectats, la qual cosa representaria un estalvi econòmic certament important. Nogensmenys, també pot fer-se l'estimació calculant el cabal horari màxim i multiplicant pel número d'hores que desitgem tenir de reserva (s'ha tingut en compte una regulació setmanal i un volum de reserva d'un dia de reg del mes de màximes necessitats hídriques), tot acomplint una altra finalitat perfectament respectable que sembla ser la que s'ha considerat en el projecte definitiu; en aquest segon cas, la canonada d'alimentació dels grups d'impulsió fins als dipòsits reguladors (si més no fins al primer d'ells) hauria de tenir el mateix calibre en tot el seu recorregut (Ø 1800 mm. en ASH per a un cabal de 2.53 m³/s. o bé Ø 1600 mm. en PRFV per a un cabal de 2.26 m³/s.).

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- 1) AGRONOMS. Barcelona, març de 2011. *On line*:
<http://www.agronoms.org/base-coneixement/articles/view.php?ID=32>
- 2) FRANQUET BERNIS, J.M. *Cálculo hidráulico de las conducciones libres y forzadas (Una aproximación de los métodos estadísticos)*. Ed. Bibliográfica Internacional, S.L. – Universitat Internacional de Catalunya. Tortosa, 2005.
- 3) GÓMEZ POMPA, P. *Riegos a presión, aspersión y goteo*. Biblioteca agrícola Aedos. Barcelona, 1979 (2^a edición).
- 4) GÓMEZ POMPA, P. *Técnica y tecnología del riego por aspersión*. Serie Técnica. Ministerio de Agricultura. Secretaría General Técnica. Madrid, 1981.
- 5) REGSA, S.A.U. Projecte refós del canal Aldea-Camarles. Clau: ER-03932.R. Lleida, juliol de 2011.
- 6) RURALCAT. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Generalitat de Catalunya (gencat.cat). Maig de 2010. *On line*:
http://www.ruralcat.net/web/quest/noticia-/journal_content/2002/10136/721602/regadius-l-aldea-camarles-i-conca-de-tremp-051210

