

# REVESTIMENT I MILLORA DE LES SÈQUIES DE REG. APLICACIÓ AL DELTA DE L'EBRE (TARRAGONA)

**JOSEP MARIA FRANQUET BERNIS**

DR. INGENIERO AGRÓNOMO, EUR-ING.

DR. CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

ACADÉMICO NUMERARIO DE LA REAL ACADEMIA EUROPEA DE DOCTORES

## ÍNDIX

	<u>Pàg.</u>
Resum / Resumen / Summary .....	3
<b>1. Introducció. El delta de l'Ebre .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Problemàtica actual i objectius de millora .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Conceptualització d'una zona regable per sèquies a cel obert.....</b>	<b>8</b>
3.1. La zona regable.....	8
3.2. Les sèquies de reg .....	9
3.2.1. Concepte .....	9
3.2.2. Problemàtica de la xarxa de reg amb lleres terrisses .....	10
3.2.3. Utilitat dels revestiments.....	12
3.2.4. Els avantatges aportats pel revestiment.....	13
3.2.5. Automatització del sistema.....	14
3.2.6. Planificació prèvia .....	15
<b>4. Metodologia .....</b>	<b>16</b>
4.1. Capteniment hidràulic a les corbes .....	16
4.1.1. Pèrdua de càrrega.....	16
4.1.2. Elevació del nivell de la làmina d'aigua en el parament exterior .....	19
4.2. Corba de capacitat d'una sèquia .....	21
4.3. Estudi teòric de la secció semicircular de la sèquia .....	23
4.4. Comprovació hidràulica de la sèquia construïda .....	25
4.5. Flux no uniforme a la sèquia. Fenòmens locals o transicions .....	27
4.5.1. Introducció.....	27
4.5.2. Energia específica en una secció transversal .....	27
4.5.3. Règim del corrent i el número de Froude .....	28
4.5.4. Cas d'una sèquia de secció rectangular.....	30
<b>5. Succinta descripció de les obres i instal·lacions precises .....</b>	<b>31</b>
5.1. Condicionants de disseny.....	31
5.1.1. Topografia .....	31
5.1.2. Geologia i geotècnia.....	32
5.1.3. Delimitació geofísica de la zona regable .....	32
5.1.4. Paràmetres de disseny.....	32
5.2. Estudi d'alternatives .....	33
5.3. Descripció de les obres .....	36

	<u>Pàg.</u>
5.3.1. Introducció.....	36
5.3.2. Enderrocs de la sèquia existent .....	36
5.3.3. Moviment de terres.....	36
5.3.4. Col·locació de la canaleta prefabricada.....	37
5.3.5. Arquetes i comportes.....	37
5.3.6. Obres especials.....	38
5.3.7. Accessos a les parcel·les .....	39
5.4. Serveis afectats.....	39
5.5. Expropiacions i altres afeccions .....	39
5.5.1. Introducció.....	39
5.5.2. Criteris adoptats .....	39
5.6. Conceptualització hidràulica.....	39
<b>6. Conclusions.....</b>	<b>41</b>
Referències bibliogràfiques i fons documentals .....	43
Relació de figures / Relació de taules .....	44
<b>Annex d'informació complementària .....</b>	<b>45</b>

## RESUM

Des de fa molts anys, i per als sistemes de reg per gravetat de les Comunitats de Regants, SAT's i finques particulars, s'ha vingut emprant la disposició de sèquies revestides o bé prefabricades de formigó o altres materials en el cas d'horts, plantacions fruitals o explotacions agràries en general, tot aprofitant l'orografia del terreny de les zones regables, preferentment planes, per a la conducció i distribució de l'aigua, que conformen una vasta xarxa de ramals secundaris i terciaris a partir de la sèquia principal o canal. Malgrat que molts d'aquests regadius han estat progressivament substituïts per sistemes a pressió, amb majors possibilitats de control i estalvi d'aigua, encara resulten útils en determinades circumstàncies, podent-se trobar molts d'ells en l'actualitat i en diferents zones de la geografia agrària del nostre país.

**Paraules clau:** sèquia, formigó, llera, canaleta, ramal, gravetat, filtració, cabal, talús, revestiment, arqueta, comporta, pendent, nivell, capacitat, ona, transició.

## RESUMEN

Desde hace muchos años, y para los sistemas de riego por gravedad de las Comunidades de Regantes, SAT's y fincas particulares, se ha venido empleando la disposición de acequias revestidas o prefabricadas de hormigón u otros materiales en el caso de huertos, plantaciones arbóreas o explotaciones agrarias en general, aprovechando la orografía del terreno de las zonas regables, preferentemente planas, para la conducción y distribución del agua, que conforman una vasta red de ramales secundarios y terciarios a partir de la acequia principal o canal. Aunque muchos de estos regadíos han sido progresivamente substituidos por sistemas a presión, con mayores posibilidades de control y ahorro del agua, aún resultan útiles en determinadas circunstancias, pudiéndose encontrar muchos de ellos en la actualidad y en distintas zonas de la geografía agraria de nuestro país.

**Palabras clave:** acequia, hormigón, cauce, canaleta, ramal, gravedad, filtración, caudal, talud, revestimiento, arqueta, compuerta, pendiente, nivel, capacidad, onda, transición.

## *SUMMARY / ABSTRACT*

For many years, and for the gravity irrigation systems of the Irrigation Communities, SAT's and private farms, the arrangement of ditches lined or prefabricated with concrete or other materials has been used in the case of orchards, tree plantations or farms. agricultural in general, taking advantage of the orography of the terrain of the irrigable areas, preferably flat, for the conduction and distribution of water, which make up a vast network of secondary and tertiary branches from the main irrigation ditch or canal. Although many of these irrigation systems have been progressively replaced by pressure systems, with greater possibilities of control and water savings, they are still useful in certain circumstances, and many of them can be found today and in different areas of the agricultural geography of our country.

**Key words:** ditch, concrete, channel, gutter, branch, gravity, filtration, flow, slope, lining, manhole, gate, slope, level, capacity, wave, transition.

## 1. INTRODUCCIÓ. EL DELTA DE L'EBRE

El delta de l'Ebre es troba situat a la part més meridional de Catalunya, ocupant la part oriental de les comarques tarragonines del Baix Ebre i Montsià, concretament entre els paral·lels 40° 38' i 40° 48' de latitud Nord i entre els meridians 4° 16' i 4° 34' de longitud Est. Com mostra la figura adjunta (Fig. 1), el Delta té la forma aproximada d'un triangle la base del qual és, aproximadament, la Carretera Nacional 340 (Cadis-Barcelona) i el vèrtex oposat del qual, configurat per les Illes de Buda i de Sant Antoni -antic cap de Tortosa-, s'endinsa uns 25 km al mar mediterrani. De fet, les darreres terrasses del Quaternari disminueixen una mica més la seva superfície, que queda perfectament delimitada des del punt de vista visual i geomorfològic.

La superfície total del delta de l'Ebre és d'uns 320 km<sup>2</sup>, que es distribueixen de la manera següent:

Delta Esquerre.....	11512 ha	
Punta Esquerra (Badia del Fangar).....	410 ha	
<b>Total Delta Esquerre.....</b>		<b>11922 ha</b>
Delta Dret.....	16199 ha	
Punta Dreta (Badia dels Alfacs).....	2447 ha	
<b>Total Delta Dret.....</b>		<b>18646 ha</b>
<b>TOTAL PARCIAL.....</b>		<b>30568 ha</b>
Illa de Buda.....	1231 ha	
Illa de Gràcia.....	123 ha	
Illa de S. Antoni.....	133 ha	
Illa de S. Didac.....	4 ha	
<b>TOTAL ILLES.....</b>		<b>1491 ha</b>
<hr/> <hr/>		
<b>TOTAL DELTA DE L'EBRE.....</b>		<b>32059 ha</b>

La topografia del delta de l'Ebre és extremadament plana, només un 10% de la seva superfície supera els 2 m d'alçada sobre el nivell del mar, un 30% té una altitud compresa entre 1 i 2 m, i la resta, és a dir, el 60%, té una altitud inferior a 1 m. Els sòls no són uniformes; així, mentre que les riberes del riu i les zones de costa tenen la textura sorrenca, la major part del delta està formada per terres de caràcter llimós, havent més extenses zones on predominen les torbes, especialment ubicades al delta dret.

Com és ben sabut, el Delta constitueix una zona humida de categoria internacional amb un Parc Natural, està adscrit al conveni de Ramsar, ubicat en una zona que fou declarada Reserva Mundial de la Biosfera per la UNESCO el maig de 2013, que inclou zones ZEPA (especial protecció per a les aus) i de la Xarxa Natura 2000. L'espai PEIN ocupa gran part del seu territori, constituint un conjunt amb funcionament equilibrat pel que fa al moviment i control de les seves aigües, tant pel reg estacional de les hortes i els arrossars, com pel manteniment dels mateixos espais inundats a l'hivern, com per al maneig de les aigües a totes les xarxes de desguàs que es troben connectades, en una infinitat de punts, amb les llacunes (Canal Vell -Balses de l'Illot i l'Estella-, Olles i Garxal a l'hemidelta esquerre; i Encanyissada, Tancada, Platjola i Aufacada a l'hemidelta dret) i canyissars al centre i llevant del Parc Natural. Amb això, es

manté un control adequat, tant de la circulació de les aigües com dels nivells més convenients per al cultiu agrícola i per a l'ecosistema de les llacunes, on ja s'han obert, en els darrers anys, diversos punts de entrada d'aigua procedent dels canals amb un control dirigit per comportes, algunes d'elles situades als desguassos.

La direcció i el control de les aigües de reg (Figs. 2 i 3), així com les circulants per la xarxa de desguassos, està en mans de les Comunitats de Regants d'ambdós marges del riu Ebre (la Comunitat General de Regants del Canal de la Dreta de l'Ebre i la Comunitat de Regants – Sindicat Agrícola de l'Ebre). Hi ha una bona relació de gestió i col·laboració entre totes les parts implicades per beneficiar el delicat equilibri de l'ecosistema deltaic, sense perjudicar cap dels legítims interessos que hi han de conviure (Franquet *et al.*, 2017).

El resultat de l'actuació antròpica ha estat la seva notable artificialització, creant camps de conreu de tipus arrossar i algunes hortes, incrementant-se l'actuació en els darrers 40 anys pel revestiment de la xarxa de canals principals i sèquies amb formigó per canalitzar millor els regs, evitant el manteniment de les lleres de terra que es trobaven molt afectades pels deterioraments causats per l'acció del cranc vermell americà (*Procambarus clarkii*, Girard, 1852) i, sobretot, per justificar les aportacions econòmiques a les comunitats de regants esmentades provinents de l'anomenat “minitransvasament” a municipis i indústries del Camp de Tarragona com a conseqüència de la Llei 18/1981 a què ens hem referit amb motiu d'altres Articles del present llibre. Això va donar peu al transvasament sota la premissa de recuperar els metres cúbics transvasats - fins 4 m<sup>3</sup>/s- amb els que presumiblement es perdien per les filtracions que es produïen als antics canals de terra.



Fig. 1. El delta de l'Ebre.

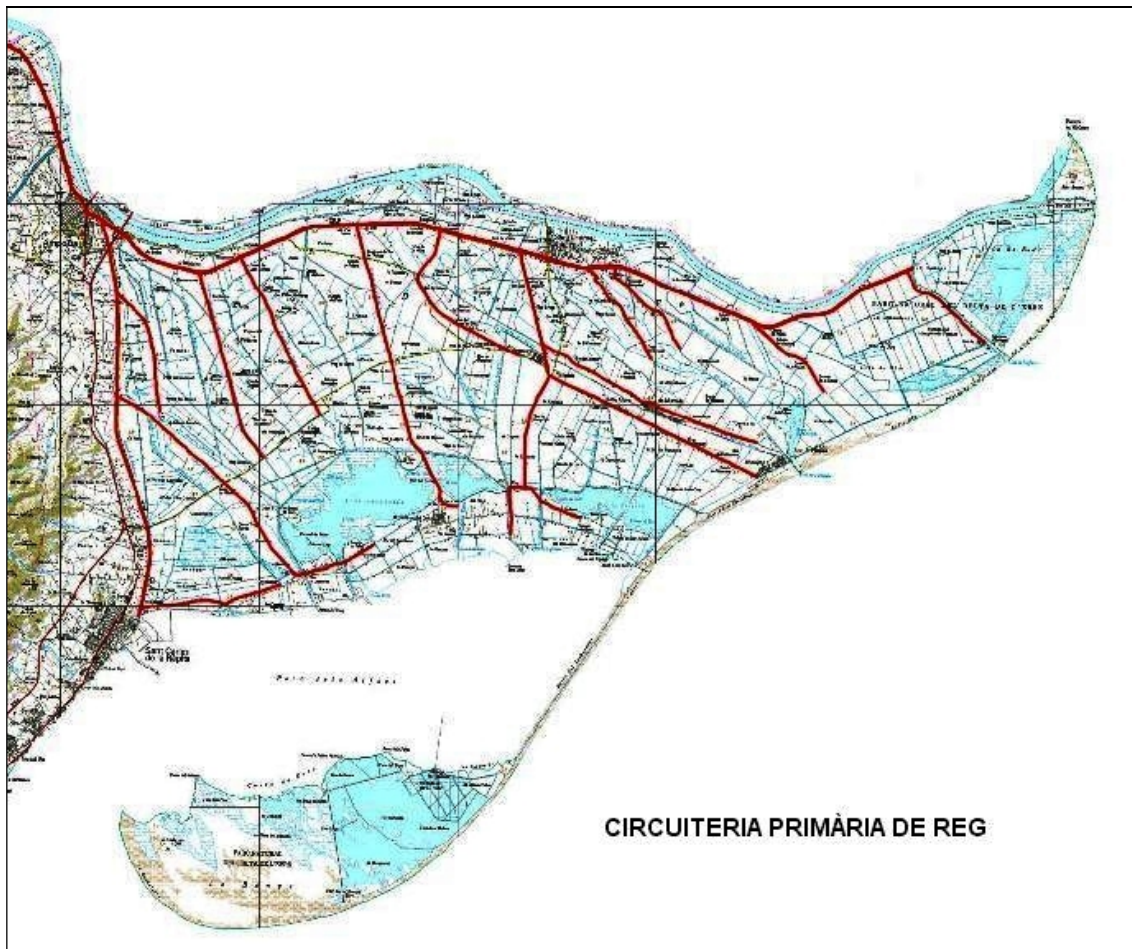


Fig. 2. Xarxa de reg en el Delta dret.



Fig. 3. Xarxa de reg en el Delta esquerre.

## 2. PROBLEMÀTICA ACTUAL I OBJECTIUS DE MILLORA

Els problemes generals que afecten gairebé la totalitat de la zona són el deteriorament progressiu de les sèquies existents, el despreniment dels talussos per l'erosió hidràulica i la proliferació d'algues que obstrueixen les conduccions terrisses reduint la seva capacitat de conducció i la funcionalitat de les preses de les parcel·les. Es tracta d'un espai pràcticament pla, on per al correcte funcionament del reg per gravetat el desnivell més petit assoleix una gran importància. Es produeixen moltes pèrdues per filtracions a la conducció de l'aigua. Per tot plegat, es considera el revestiment de les sèquies estudiades com la solució més apropiada.

L'objectiu és la modernització del reg existent. Amb aquesta actuació es pretenia realitzar les actuacions necessàries per millorar l'eficiència de distribució del sistema de reg per gravetat i reduir els costos derivats de la neteja i el manteniment de les sèquies existents. L'aigua emprada en el reg de cadascuna d'aquestes sèquies procedeix del riu Ebre, i és derivada mitjançant ambdós canals principals de l'Esquerra i Dreta del riu i els seus diferents braços.

Aquesta modernització cerca una dinamització de l'activitat agrària, potenciant el rol del regadiu dins d'una agricultura sostenible adreçada a un aprofitament racional i eficient dels recursos hídrics disponibles. El cultiu de l'arròs és gairebé l'exclusiu en aquestes zones, on en menor mesura, també s'hi conreen hortícoles. Per tant, podem considerar que el 95% de la superfície afectada és regada per inundació.

Dins l'objectiu de la modernització de regadius les dues Comunitats de Regants pretenen abordar la modernització integral del sistema, és a dir, actuar sobre la xarxa de transport, la xarxa de distribució i, finalment, la xarxa de desguassos.

a) Concretament, la xarxa de transport principal del Canal de l'Esquerra, inaugurada el 5 de maig de 1912 en el seu format de terra i revestida de formigó entre els anys 1982-87, amb pràcticament un nul manteniment a excepció de la neteja dels àrids sedimentats i petites accions puntuals menyspreables, necessita d'una revisió urgent de les juntes a l'avantcanal de 344.21 m de llargària, seguint des del seu origen a l'assut de Xerta-Tivenys fins Tortosa amb 13182.12 m, de Tortosa a l'Aldea amb 13652.57m, i ja al Delta les sèquies núm. 1, 2 i 3 amb 19748.26 m, 11756.42 m i 6156.70 m, respectivament, amb una longitud total de més de 64 km. Semblant problemàtica afecta a l'hemidelta dret o meridional.

Igual de necessària és la modernització, motorització, monitorització i automatització de les comportes de regulació del canal principal, i de les descàrregues al riu; la millora i manteniment dels túnels; la creació d'un fals túnel; l'adequació de bombes i cargols helicoidals d'Arquímedes per al desguàs al mar; el recreixement de certs trams del canal principal; les millores i reparacions als camins de servei i, a la fi, l'adequació del canal per a les emergències que es puguin produir.

b) La xarxa de distribució, configurada bàsicament per sèquies a cel obert, amb menys del 20% revestida a la data de redacció del present Article, està caracteritzada per grans pèrdues d'aigua i amb problemes d'abastament de reg a les zones més baixes, per la qual cosa necessita d'actuacions ràpides per tal d'optimitzar l'ús de l'aigua al conjunt de la plana deltaica. **El seu estudi constitueix l'objecte del present Article.**

c) Per últim, la xarxa de desguassos és molt important i sovint oblidada en els diferents planejaments i propostes realitzades fins la data. Precisa d'actuacions urgents de control de nivell per tal d'uniformitzar la capacitat de desguàs de les diferents subzones, mitjançant comportes automàtiques de regulació, tot evitant desguassos massa ràpids que potencien el consum excessiu i ajudant a desguassar àrees de cota taquimètrica baixa que, actualment, tenen dificultats per fer-ho. També és necessari fixar, mitjançant mesures toves o mixtes, les lleres per tal de minimitzar el seu manteniment i maximitzar llur capacitat.

### 3. CONCEPTUALITZACIÓ D'UNA ZONA REGABLE PER SÈQUIES A CEL OBERT

#### 3.1. La zona regable

En primer lloc, a fi d'aclarir alguns conceptes que puguin fer més entenedor allò que es desenvolupa a continuació, convé tenir present algunes definicions d'interès. A saber (Franquet, 2019):

- “Zona regable”: Superfície que té dret a l'ús de les aigües atorgades per una concessió per a reg.
- “Espai hidràulic”: Terres agrícoles amb una fisiografia i pendents adequats per ser dominats, bé per gravetat o bé per tècniques d'elevació, des dels sistemes de reg amb què s'articula.
- “Districte de reg”: Seria la zona regable administrada per una comunitat d'usuaris regants.

Les inquietuds socials pel que fa a l'ús de l'aigua com a recurs cada cop més car i escàs, i suport dels ecosistemes, adquireixen més rellevància cada dia davant dels perills que aventura el canvi climàtic. Pel que fa al recurs hídric, presenta, doncs, un interès excepcional. Primerament cal dur a terme una avaluació integral de la zona regable; el clima, el sòl, l'aigua, els cultius, les infraestructures existents i la qualitat del reg. S'introdueix un estudi d'indicadors mediambientals i d'impacte visual-paisatgístic, així com un estudi socioeconòmic. Cal estudiar l'evolució dels nivells piezomètrics de l'aqüífer des del qual s'abasteix la zona regable (si aquest és el cas) o, alternativament, de la tensió hídrica induïda als grans sistemes de distribució superficial a causa de la detracció de l'aigua, i de l'altra, la caracterització d'aquesta zona, a partir de les avaluacions de reg en parcel·la i del sistema emprat de distribució de l'aigua.



Pel que fa als aspectes estrictament legals vigents a Espanya, vegem que en virtut del que disposa l'art. 15 bis del Reial decret 849/1986, d'11 d'abril, pel qual s'aprova el Reglament del domini públic hidràulic. que desenvolupa els títols preliminar, I, IV, V, VI, VII i VIII del text refós de la Llei 29/1985, de 2 d'agost, d'Aigües (publicada al BOE núm.: 189, de 8 d'agost), aprovat pel Reial Decret Legislatiu 1/2001, de 20 de juliol, es tenen les següents definicions:

“w) *Superfície amb dret a reg*: quantitat màxima de superfície que es pot regar anualment en virtut del títol habilitant; aquesta quantitat serà sempre menor o igual a la superfície regable.

x) *Superfície regable*: extensió de terreny constituït, per una o diverses parcel·les, en què es pot exercir el dret a reg establert en la pertinent concessió administrativa i que inclou les superfícies que, alternativament o successivament, es poden regar, o bé el perímetre màxim de superfície dins del qual el concessionari podrà regar unes superfícies o unes altres.”

En un procés normal, la Comunitat d'Usuaris ha de tramitar el corresponent procediment de licitació i adjudicació de les obres i instal·lacions contemplades al projecte de modernització de la zona regable, així com garantir la plena disposició dels terrenys a l'empresa adjudicatària dels treballs abans de l'inici de la seva execució. A més, ha de complir les consignacions pressupostàries establertes i les condicions exigibles per al pagament de les subvencions procedents.

L'ampliació de la superfície regable autoritzada està considerada una infracció pel Reial Decret Legislatiu 1/2001, de 20 de juliol, pel qual s'aprova el text refós de la Llei d'Aigües (BOE núm. 176, de 24/07/ 2001). En aquest sentit, disposa l'article 116, que són accions constitutives d'infracció, "c) L'incompliment de les condicions imposades en les concessions i autoritzacions administratives a què fa referència aquesta Llei, sens perjudici de la seva caducitat, revocació o suspensió." Alhora, amb data 6 de juny de 2003, es va publicar el Reial decret 606/2003, de 23 de maig, pel qual es va modificar l'esmentat R.D. 849/1986 mitjançant el canvi del contracte de cessió de drets a l'ús privatiu de les aigües públiques i regulant, així mateix, la manera de tramitar i inscriure les corresponents concessions administratives.

## **3.2. Les sèquies de reg**

### **3.2.1. Concepte**

Una sèquia (de l'àrab hispà “assàqya”, i aquest de l'àrab clàssic “alsāqiyah”, irrigadora) és una rasa o canal a cel obert construït per al regadiu, proveïment urbà, industrial o similars. Normalment es revesteixen de formigó armat *in situ* o bé a base de peces prefabricades mollejades. Amb un especial desenvolupament en la cultura àrab, aquestes construccions tenen afinitats d'ús amb els aqüeductes romans, si bé la seva ocupació principal és el reg d'horts, plantacions o explotacions agràries, aprofitant l'orografia del terreny de les zones regables, preferentment planes, per a la distribució i la conducció de l'aigua, formant una vasta xarxa de ramals secundaris i terciaris a partir de la

sèquia principal o canal. En funció de l'orografia del terreny poden anar excavades al terra o sobreelevades mitjançant murs o pilons, protegides en aquest últim cas per sengles paraments de contenció o "caixers" que encarrilen l'aigua i n'impedeixen la seva dispersió (Franquet, 2019).

### 3.2.2. *Problemàtica de la xarxa de reg amb lleres terrisses*

Per tal d'endinsar-nos més eficaçment en la problemàtica que planteja una xarxa de sèquies de terra, analitzarem, en principi, les deficiències principals d'aquesta xarxa de reg existent, que es poden concretar en les tres següents:

#### *1a. Seccions insuficients i inadequades de les sèquies de reg.*

Cal tenir present, en enfocar el problema en qüestió, que les sèquies van ser projectades al seu dia per al reg de determinades extensions de terra. Posteriorment, en augmentar la superfície regada, com a conseqüència (per exemple) de la posada en cultiu de terrenys erms o pantanosos, les seccions d'algunes lleres resulten després insuficients.

#### *2a. Parets i fons de terra.*

Les conseqüències més importants s'exposen a continuació:

##### a) Pèrdues d'aigua:

Considerant que una bona part dels terrenys travessats per les sèquies de reg poden ser de textura sorrenca i, consegüentment, d'elevada permeabilitat i escassa compactació, l'aigua es perd per percolació cap a les capes profundes del subsòl. La localització i la quantificació de les pèrdues de la xarxa de reg, per exemple, poden ser objecte d'un estudi per diverses empreses o organismes com ara el prestigiós Centre d'Estudis Hidrogràfics del CEDEX<sup>1</sup>,

---

<sup>1</sup> El Centre d'Estudis Hidrogràfics és un dels òrgans en què s'estructura el Centre d'Estudis i Experimentació d'Obres Públiques (CEDEX), actualment integrat al Ministeri per a la Transició Ecològica i el Repte Demogràfic del govern d'Espanya. D'acord amb l'Estatut del CEDEX, el Centre d'Estudis Hidrogràfics té les funcions següents, en l'àmbit de les aigües continentals i les infraestructures naturals o artificials:

- Realitzar activitats d'obtenció, investigació, experimentació i gestió de dades relatives a recursos i fenòmens de la natura.
- Definir, dissenyar, millorar i, si escau, avaluar i certificar les característiques dels materials, elements, tècniques, mètodes i sistemes, així com fomentar-ne la normalització.
- Proposar, estudiar i elaborar, directament o en col·laboració, reglamentacions, normes i, en general, qualsevol mena d'especificacions tècniques.
- Desenvolupar projectes de recerca, desenvolupament tecnològic i innovació, tenint en compte les directrius contingudes als plans europeus i nacionals i als programes a què fa referència l'apartat anterior o a iniciativa pròpia.
- Prestar assistència tècnica especialitzada tant al sector públic com al privat, amb atenció prioritària als departaments ministerials de què depèn funcionalment.
- Difondre i transferir la tecnologia espanyola en els àmbits nacional i internacional, fent publicacions, tallers, jornades, seminaris, simposis i cursos, així com mitjançant la creació i el manteniment de portals temàtics d'informació a través de xarxes de comunicació.

mitjançant la utilització de traçadors radioactius. Els resultats d'aquest tipus d'estudis mostren, finalment, que les pèrdues per filtració a les diferents sèquies de terra d'algunes zones regables, poden oscil·lar entre el 30 i el 90%, valors aquests que fan insostenible, sovint, la seva explotació.

b) Elevat cost de manteniment:

A les sèquies es produeixen aterraments la neteja dels quals cal efectuar anualment, així com el desbrossament o eliminació de les nombroses plantes aquàtiques que proliferen a les lleres terrisses.

Aquestes netes, la realització de les quals de manera manual i/o mecànica impedeix l'ús normal d'aquestes lleres mentre duren les tasques pertinents, la qual cosa representa una part considerable del cànon anual de reg de la corresponent comunitat d'usuaris.

c) Trencaments a les lleres:

Consisteixen, principalment, en desprendiments de talussos per descalç dels mateixos. Les seves reparacions són, així mateix, costoses i de difícil execució, ja que s'han de fer en el breu període de parada de reg. Per si no n'hi hagués prou, aquest problema pot agreujar-se extraordinàriament en alguns casos, ja que en prescindir del reg continu dia i nit, i en establir-se torns de reg, el cabal de les sèquies tindrà un règim irregular, i les oscil·lacions del nivell de la làmina d'aigua facilitaran, òbviament, l'erosió i el desprendiment dels talussos.

### *3a. Altres deficiències.*

Algunes zones regables, establertes en zones marismàtiques o pantanoses, reguen amb aigües procedents dels desguassos, ja sigui mitjançant elevacions electromecàniques o bé prèvia la col·locació, en aquells desguassos, d'unes certes retencions o "parades" que eleven el nivell de l'aigua, aigües amunt de les mateixes, per tal de poder captar per gravetat l'aigua per a reg. Això dificulta el bon funcionament del desguàs, i resultarà inadmissible en aquelles zones que siguin d'aiguamolls, ja que els desguassos portaran aigües freàtiques carregades de sals procedents de la xarxa de drenatge, que resulten decididament perniciosos per als conreus.

D'altra banda, aquesta interposició d'obstacles a la lliure circulació de l'aigua, per tal d'evar-ne el nivell i permetre'n l'accessibilitat a tots els punts de les parcel·les a regar, també es realitza actualment en moltes zones regables a base de sèquies terrisses, amb tots els greus perjudicis que això comporta per als regants i els propis serveis de manteniment de la Comunitat d'Usuaris.

- 
- Col·laborar i fomentar la col·laboració amb altres òrgans de les administracions públiques i amb institucions nacionals i internacionals en activitats d'assistència tècnica, experimentació, investigació, desenvolupament tecnològic i innovació i transferència de tecnologia.
  - Dictar laudes arbitrals en casos litigiosos, quan oficialment sigui requerit per fer-ho.

### 3.2.3. Utilitat dels revestiments

La transformació ocorreguda durant les últimes dècades al sector agrícola espanyol i llatinoamericà no hauria estat possible sense l'adequada modernització dels seus regadius. En aquest context, els elements prefabricats de formigó, especialment les sèquies i els seus accessoris (lloses de pas, arquetes, comportes i portelles metàl·liques o de formigó...) han estat les peces clau d'aquesta millora contínua. Des del punt de vista de les propietats hidràuliques d'una conducció a cel obert, com les que aquí hem exemplificat, la secció més convenient és aquella que amb una àrea, pendent i rugositat de les parets donades, té una capacitat de transport màxima (secció de màxim rendiment o radi hidràulic). D'entre totes les figures geomètriques possibles, el cercle és el que té menor perímetre o contorn mullat per a una àrea donada, per la qual cosa una sèquia semicircular conduirà més aigua que qualsevol altra forma de secció, a igualtat dels altres tres factors anteriors, encara que, en la pràctica, les seccions transversals emprades també poden ser quadrades, rectangulars, trapezials, parabòliques o d'altres, amb unions encadellades o per testa.

Són elements prefabricats imprescindibles en la canalització d'aigua per als regs per gravetat. Amb freqüència, la traça en planta es correspon amb la ja existent de la primigènia sèquia tèrria, per la qual cosa la seva instal·lació no suposa la necessitat d'efectuar noves afectacions a l'entorn o a la propietat. En la majoria dels regadius moderns, el seu disseny de peces encadellades permet un ràpid i senzill muntatge al seu lloc d'ús, aconseguint un perfecte assemblatge que resulta necessari per aconseguir la seva estanquitat i alineació (vegeu l'annex amb el reportatge fotogràfic). Aquestes peces es poden cobrir, si cal, tant amb reixa de fosa dúctil com amb llosa de formigó armat.

La impossibilitat material d'eixamplar la llera terrissa en diversos sectors de les sèquies estudiades, o bé d'augmentar-ne el calat i els pendents de la solera, planteja a la Comunitat d'Usuaris, previ l'estudi de totes les solucions possibles (nous bombaments, derivacions d'altres sèquies o desguassos, etc.) la necessitat ineludible del seu revestiment, per tal de permetre el pas d'un cabal d'aigua més gran, major cota taquimètrica de la làmina d'aigua mitjançant l'ús dels pendents més adequats i la disminució de les pèrdues de càrrega i les filtracions laterals a camins i terres de conreu.

Ara bé, cal tenir present que l'efectivitat d'aquests revestiments (o, alternativament, l'establiment de noves sèquies prefabricades elevades sobre murets o pilars) està en funció directa -a banda de la millora implícita i immediata que això ja suposa- del manteniment de cotes taquimètriques concretes d'aigua a les sèquies principals, de manera constant i regular, al llarg de tota la campanya de reg.

En el present Article es posa de manifest l'experiència de l'autor, al llarg del seu dilatat exercici professional com a enginyer, en diverses obres projectades i dirigides a diversos municipis de les províncies de València i Tarragona.

### 3.2.4. Els avantatges aportats pel revestiment

Es pot afirmar que, dels tres grans grups de deficiències esmentats a l'expositiu anterior, és el segon (parets i fons de terra) el que resulta bàsicament defugit per l'establiment de les sèquies prefabricades.

En efecte, a més de reduir-se o anul·lar-se a la pràctica les pèrdues d'aigua a les sèquies revestides que ens ocupen, de facilitar la natural circulació de l'aigua mitjançant la supressió dels obstacles que actualment s'hi oposen (aqüeductes, ponts antics...), de disminuir notòriament el cost de manteniment i conservació de les seves lleres i salvar les nombroses dificultats, de tota mena, que en planteja el seu trencament, el revestiment de les sèquies a cel obert proporcionarà, a terminis diversos, els següents avantatges d'ordre tècnic:

A) *Elevació de la rasant de la solera de la llera*, la qual cosa implica, d'una banda, una accessibilitat més gran de l'aigua de reg a qualsevol punt de les parcel·les, i de l'altra, una major facilitat per als canvis futurs de cultiu que exigeixin modificar el pendent dels terrenys agrícoles.

B) *Consecució d'un cabal major per al reg dels terrenys*, ja que la secció revestida permet el pas d'un cabal més gran (volum d'aigua per unitat de temps), en reduir notablement les pèrdues de càrrega que es produeixen pel fregament del fluid amb les parets i solera. Amb tot això, els terrenys en qüestió podran ser atesos amb un nombre menor d'hores, i amb un mòdul de reg molt superior a l'actual.

C) *Les noves seccions seran menors que les actuals*, a igualtat de requeriments superficials a servir i de tipus de cultiu, de manera que l'aprofitament dels predis i camins millorarà. Altrament, els malacons existents entre la sèquia de reg i els desguassos podran ser còmodament ampliat i reforçats, amb els avantatges que això reporta per a les despeses de la Comunitat d'usuaris en el seu capítol de conservació de desguassos.

D) *El reg es pot fer per sectors*, especialment a les zones d'horta i arbres fruiters, atès que les sèquies revestides permeten, mitjançant comportes i tancaments transversals d'obra previstos, el subministrament d'aigua a les parcel·les o subzones que així ho exigeixin, sense necessitat de perllongar el reg més enllà de la parcel·la en qüestió. Simultàniament, i en aquestes subzones, el revestiment atindrà les necessitats de reg de cultius especialment necessitats per la seva estacionalitat, com són els hortofructícoles, de manera que experimentin mínimament els efectes oscil·latoris del cabal, així com les pèrdues d'aigua per filtracions al terreny.

E) *No es produeix elevació de la cota ni reducció en la càrrega hidràulica de la presa de les sèquies principals*, de manera que l'efectivitat del reg per la llera revestida té lloc independentment de la possible elevació o disminució de la solera de les grans lleres que es puguin modificar en un futur.

F) *Les preses o comportes de derivació de l'aigua a les parcel·les resultaran perfeccionades amb el revestiment*, ja que gaudiran d'unitat i estanqueïtat amb

els paraments projectats, cosa que no succeeix, actualment, amb les lleres terrisses, en què les pèrdues per filtracions són importants, arribant a constituir, en alguns casos, a més, seriosos problemes de consolidació en els camins i camps limítrofs.

G) *Permet, de cara al futur, efectuar l'estudi i la comprovació empírica dels nous sistemes constructius*, l'anàlisi dels pendents i les seccions més adequades, la verificació de la resistència, la qualitat i l'adaptació dels materials i mecanismes emprats, etc.

H) *Permet la implantació d'un sistema computeritzat per al control de la xarxa hidràulica*, consistent en una estructura que aplica el concepte d'intel·ligència distribuïda, utilitzant terminals remots microprogramats comunicats mitjançant una línia compartida o *wifi* amb un Centre de Control dotat del sistema informàtic més adequat. Aquesta estructura està concebuda per al control de xarxes hidràuliques de proveïment i regadius en què la dispersió geogràfica dels diferents òrgans de la xarxa és important respecte de la localització de l'expressat Centre de Control, que es pot ubicar a les mateixes oficines centrals de la corresponent Comunitat d'usuaris.

### 3.2.5. Automatització del sistema

L'automatització del funcionament del canal principal i el sistema de sèquies revestides comportarà els següents avantatges:

#### a) *Major flexibilitat*

A diferència dels rígids programes de reg com ara les rotacions o torns, l'aigua es lliura als regants segons les seves necessitats (a la demanda) ja que aquesta es transfereix de manera automàtica des del tram del canal proper aigües a dalt del regant en lloc de des d'allunyades capçaleres del sistema de canals.

#### b) *Repartiment més equitatiu*

Tots els regants reben la mateixa qualitat de servei: un cabal abundant i constant a la demanda, independentment de si les seves finques estan situades cap al principi o al final del canal.

#### c) *Menys fuites*

Si es compta amb dades precises en temps real sobre els nivells hídrics de les conduccions, és més fàcil detectar les fuites i infiltracions que puguin succeir als diferents trams de les mateixes. També es redueixen els vessaments operacionals que solen tenir lloc en el seu funcionament. El control de les fuites millora molt des del revestiment de moltes sèquies de la xarxa de distribució.

#### d) *Major productivitat*

El fet que les parcel·les comptin amb cabals d'aigua abundants i constants suposa regs per superfície més breus, menys lixiviació de nutrients com a conseqüència d'infiltracions i menys asfíxia radicular i malalties fúngiques a causa dels negaments.

e) *Millor control*

L'automatització fluídica basa el seu funcionament en l'ús d'una sèrie de dispositius que s'activen en entrar en contacte amb el fluid en determinades condicions. Es caracteritza per l'ús de les comportes com a element regulador del cabal de la sèquia a cada instant. Per aconseguir aquesta regulació, s'incorpora a la comporta un dispositiu anomenat flotador, el qual s'encarrega de controlar i mantenir el nivell del fluid als paràmetres preestablerts mitjançant el corresponent càlcul hidràulic. Els sistemes d'automatització de canals i sèquies permeten la regulació del flux en funció de diverses variables: cabal (cabalímetres) i nivell de la làmina d'aigua (electrosondes de màxim i mínim).

f) *Adaptació als canvis de cultiu*

L'automatització permet adaptar-se a nous conreus amb diferents dotacions hídriques, com el que es pretén amb el Pla de Sanejament del Delta que ja esmentem a l'epígraf 12.4 de l'Article 8 d'aquest mateix manual, en què el rebaixament de la capa freàtica salina permetrà la transformació de moltes terres del Delta, com ja es va preveure al seu dia.

g) *Sala de comandaments i estalvi econòmic*

On se centralitza el pilotatge i control del sistema, amb un estalvi considerable del maneig humà (regadors, zeladors, guarda canals,...).

### 3.2.6. *Planificació prèvia*

El primer pas consisteix a detectar on és l'origen de l'aigua, que normalment és un canal principal. Posteriorment, cal anar instal·lant diferents peces per derivar l'aigua. Per això s'utilitzen "partidors" que van des del canal principal al ramal primari corresponent, o bé d'aquest a una sèquia secundària, fins que s'arriba al final on rega directament el terreny corresponent.

Ahora, totes les sèquies incorporen comportes per mantenir el nivell d'aigua més adequat. Al llarg del traçat de la sèquia s'instal·laran diferents arquetes (de regadiu i de drenatge) per anar racionalitzant l'ús de l'aigua. Hi ha alternatives elèctriques amb un basament per realitzar la instal·lació més adequada. És possible controlar-ne el funcionament automàtic de manera remota i agilitzar, així, l'ús del sistema de sèquies<sup>2</sup>.

Com a complement a les sèquies, es poden instal·lar dipòsits d'aigua per tal d'acumular tant la de la pluja com la de la pròpia sèquia i així disposar del líquid en qualsevol moment. L'ús del formigó està justificat perquè es tracta d'un material resistent a la humitat, adaptable i d'enorme durabilitat.

---

<sup>2</sup> La possibilitat de conèixer el consum d'aigua de reg individualitzat a cada parcel·la suposa un canvi important, en visibilitzar-se una informació que abans quedava emmascarada i possibilitar una anàlisi de l'eficiència de l'ús de l'aigua de reg. Així, s'intenta canalitzar el potencial de la informació generada pel sistema de telecontrol de les comunitats de regants per oferir nous serveis als agricultors que els facilitin aquesta anàlisi. L'aplicació de càlcul de balanç desenvolupada a la fase inicial de aquest projecte generarà, per a cada parcel·la, un registre diari amb més de 30 camps d'informació, com ara: estat fenològic, integral tèrmica activa acumulada, precipitació absoluta i efectiva, reg aportat, drenatge, consum hídric del cultiu, estat hídric del sòl, hores de reg fins a la capacitat de camp, etc.

Es poden adquirir al mercat especialitzat totes les peces anteriors i altres complementàries que es precisen, com ara les voltes, els complements per als marcs, els marcs i les casetes per preservar del medi ambient els possibles sistemes elèctrics que s'utilitzin.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Capteniment hidràulic a les corbes

#### 4.1.1. Pèrdua de càrrega

En el cas d'una corba en la traça d'una sèquia de reg (Fig. 4), les partícules d'aigua, per la seva inèrcia, continuen el moviment en la direcció primitiva, abans de seguir la nova. Aquest fet implica, com a conseqüència, una secció contreta, seguida d'un eixamplament que, segons va deduir Borda, produeix una certa pèrdua de càrrega. De fet, tant la tendència a la separació del flux com els corrents secundaris condueixen a pèrdues d'energia més grans.

Si ara es representa per  $b$  l'amplada, per  $h$  la fondària (uniforme), per  $\beta$  l'angle d'ambdues direccions, per  $C_1$  y  $C_2$  dues constants, i per  $\nu$  un petit número, Boussinesq<sup>3</sup> calculà les següents expressions:

- Distància de la secció contreta al punt d'intersecció dels eixos =  $C_1 \frac{b}{\beta} \left(\frac{b}{h}\right)^{1-\nu}$ .

- Distància de la secció contreta fins la paret =  $C_1 b \left(\frac{b}{h}\right)^{1-\nu}$ .

- Distància des del punt d'intersecció dels eixos fins la zona on els filets líquids

tornen a ser paral·lels =  $C_2 \frac{b}{\beta} \left(\frac{b}{h}\right)^{1-\nu}$ .

A partir d'aquí, Boussinesq (Forchheimer, 1935-1950) considera un tram corb de canal o de sèquia com una successió continua de colzes als que aplica les anteriors expressions, assolint la conseqüència de que la pèrdua de càrrega, per unitat de longitud de la conducció lliure, pot expressar-se de la forma:

$$\tau = \frac{V^2}{h} \sqrt{\frac{b}{\rho}} \left(\frac{b}{h}\right)^{\frac{1-3\nu}{2}},$$

en la que  $(1-3\nu)$  és un nombre força petit,  $\tau$  una constant i  $\rho$  el radi de curvatura del filet mitjà (aproximadament coincident amb l'eix hidràulic). En conseqüència, essent vàlida l'expressió clàssica de Chèzy per als trams rectes:

<sup>3</sup> *Eaux courantes*, pàg. 602; J. de math. (3) 9 (1883), pàg. 129.



$V = C\sqrt{h \cdot I}$  (tot considerant, en lleres suficientment amples,  $h \approx R$ ), per als trams corbs resultarà l'expressió:

$$I = \frac{V^2}{h} \left( \frac{1}{C^2} + \tau_1 \sqrt{\frac{b}{\rho}} \right),$$

essent  $\tau_1$  una nova constant que, segons els estudis de W. Lahmeyer<sup>4</sup> (Forchheimer, 1935-1950), val aproximadament  $\frac{3}{4} \times \frac{1}{C^2}$ , o sigui, que té les dimensions  $m^{-1}s^2$  ( $L^{-1} \cdot T^2$ ). La representació gràfica seria la següent:

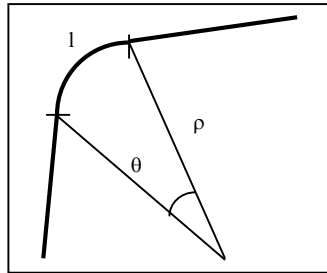


Fig. 4. Planta de la traça en tram corb de una sèquia de reg.

D'aquesta manera, considerant més correctament, per a una conducció lliure qualsevol, el valor del radi hidràulic en comptes de la profunditat, la fórmula anterior quedaria expressada així:

$$I = \frac{V^2}{R} \times \frac{1}{C^2} \left( 1 + \frac{3}{4} \sqrt{\frac{b}{\rho}} \right),$$

que, escrita en funció del coeficient de Fanning (1902), ofereix l'expressió:

$$I = \frac{V^2 \times \lambda}{R \times 2g} \left( 1 + \frac{3}{4} \sqrt{\frac{b}{\rho}} \right),$$

corresponent el primer terme a les pèrdues de càrrega en els trams rectes i el segon a l'efecte de la curvatura de la traça de la llera. Només en canals o sèquies suficientment amples, la profunditat  $h$  és equivalent al radi hidràulic mitjà.

Considerant, alhora, la fórmula multivariant proposada per aquest autor per a totes les categories de rugositat (Franquet, 2003), es tindrà que:

$$V^2 = 19.6249 \times I \times R^{1.3559} \times e^{6.3388 - 0.2674 \cdot K},$$

i igualant-la a la expressió anterior, s'obté que:

<sup>4</sup> Allgemeine Bauzeitung 17 (1852), pàg. 153.

$$\frac{l \times R \times 2g}{\lambda \times \left(1 + 0.75 \sqrt{\frac{b}{\rho}}\right)} = 19.6249 \times l \times R^{1.3559} \times e^{6.3388 - 0.2674K}, \text{ o sigui:}$$

$$\frac{R}{R^{1.3559} \times \lambda \left(1 + 0.75 \sqrt{\frac{b}{\rho}}\right)} = e^{6.3388 - 0.2674K}; \text{ i aleshores:}$$

$$R^{-0.3559} = \lambda \left(1 + 0.75 \sqrt{\frac{b}{\rho}}\right) \times e^{6.3388 - 0.2674K}, \quad \frac{1}{R^{0.3559}} = \lambda \left(1 + 0.75 \sqrt{\frac{b}{\rho}}\right) \times \frac{e^{6.3388}}{e^{0.2674K}};$$

d'on es dedueix, finalment, que:

$$R^{0.3559} = \frac{e^{0.2674K}}{566.11656 \times \lambda \left(1 + 0.75 \sqrt{\frac{b}{\rho}}\right)}.$$

Així, l'increment de la pèrdua de càrrega total a causa d'un tram corb de longitud  $l$ , serà, tot considerant que:  $l = \rho \cdot \theta$  (expressant l'angle de curvatura  $\theta$  en radians):

$$\Delta l = \frac{0.75 \times V^2 \times \lambda \left(\sqrt{\frac{b \times \theta}{l}}\right) \times l}{R \times 2g} = \frac{0.038 \times V^2 \times \lambda}{R} \times \sqrt{b \times \theta \times l}.$$

En tot cas, la formulació multivariant més ajustada al cas (Franquet, 2003), amb un coeficient de rugositat  $K = 2$  (sèquia en servei), presenta l'expressió:

$$V^2 = 19.6249 \times l \times R^{1.3006} \times e^{5.7396} = 6102 \times l \times R^{1.3006}; \quad V = 78.12 \times (l \times R^{1.3006})^{1/2}$$

que, com no podria ésser d'una altra manera, resulta força coincident amb la funció potencial simple:

$$V = 78.29 \times R^{0.63455} \times l^{0.5}, \text{ també deduïda als nostres estudis esmentats.}$$

Sovint se suposa que el nombre de Froude  $F_r$  al qual ens hem referit amb especificitat a l'Article 9 d'aquest mateix manual recopilatori, té influència sobre les característiques del flux en una corba, només per al flux supercrític  $F_r > 1$ . Es pot demostrar, però, que el  $F_r$  efectivament no varia gaire amb el cabal per a una determinada corba en flux subcrític, de tal manera que es pot considerar que la pèrdua d'energia depèn només dels paràmetres geomètrics del problema. No obstant això, si es comparen dues corbes geomètricament similars però amb números de Froude diferents, cal esperar, en general, diferents coeficients de pèrdua, encara que el flux sigui subcrític ( $F_r < 1$ ).

Com que la determinació exacta de la pèrdua d'energia a cada corba individual d'una conducció lliure resulta difícil, i que interessa més l'estudi d'una sèrie de

meandres amb aquestes corbes, Hayat (1965) va investigar la influència de  $F_r$  sobre aquestes pèrdues en un canal de secció rectangular amb sis corbes de  $90^\circ$ , cadascuna a continuació de l'altra (Rouse, 1965). La presentació dels resultats obtinguts va mostrar clarament que l'efecte de la gravetat o de les ones superficials, caracteritzat per  $F_r$ , es presenta efectivament per a  $F_r < 1$  i només arriba a ser insignificant conforme es fa petita la relació ample-profunditat de la llera en estudi.

#### 4.1.2. Elevació del nivell de la làmina d'aigua en el parament exterior

Un canvi de direcció o corba en una sèquia de reg produeix un canvi local en la distribució de les velocitats del flux. Se sol produir aquesta circumstància a les sèquies que transcorren paral·leles als camins. Això unit necessàriament a una inclinació de la superfície lliure de l'aigua, a la generació de fluxos secundaris i a pèrdues locals d'energia que s'acaben de estudiar. Aquest canvi en la direcció de la velocitat exigeix una força normal o perpendicular, dirigida cap al centre de curvatura que, en el cas de les sèquies s'origina arran de la sobreelevació de la superfície lliure de l'aigua al marge exterior (còncav) i el descens de la mateixa a la riba interior (convexa). Conseqüentment, amb aquest canvi al nivell de la superfície lliure del fluid, la velocitat disminueix a la part exterior i s'incrementa a l'interior, especialment en sèquies de secció transversal rectangular quan s'ignora l'efecte de la viscositat (Naudascher, 2001).

Per descomptat, l'efecte de la viscositat no és pas insignificant. Si es considera una distribució de velocitats en el flux d'aproximació diferent de la suposada velocitat  $V = \text{constant}$ , resulta llavors una sobreelevació més gran de la superfície lliure de l'aigua que la corresponent a l'obtinguda pel procediment que s'exposa a continuació. No obstant això, les diferències no són més grans del 20% encara per a diferències extremes. L'efecte de la viscositat sobre el recorregut de les línies de corrent i les relacions d'energia resulta més important. Per efecte de la viscositat, la velocitat s'anul·la pràcticament, tant a les parets exteriors com al fons de la sèquia; en relació amb aquest fet apareixen corrents secundaris i separacions del flux quan se sobrepassa cert valor en la desaceleració del corrent.

Als trams corbs, el punt més baix o profund de la secció transversal de la llera de la sèquia es troba necessàriament proper a la riba o parament exterior (còncav) i en aquest punt, el nivell de la làmina d'aigua és més elevat. Sobre un filet líquid animat de la velocitat  $V$ , a la superfície d'una corba de la llera actuen

els esforços següents: el pes  $G$  i la força centrífuga:  $\frac{G}{g} \times \frac{V^2}{x}$ .

Llavors, la superfície de nivell ha de ser normal a la resultant de la composició de les dues forces i té, per tant, la següent inclinació:

$$\frac{dz}{dx} = -\frac{X}{Z} = \frac{\frac{G}{g} \times \frac{V^2}{x}}{G} = \frac{V^2}{g \times x}; \text{ o sigui:}$$

$g \times dz = V^2 \times \frac{dx}{x}$ ; que és una senzilla equació diferencial ordinària de variables separables que, un cop integrada per una quadratura, ofereix la solució general:

$$g \cdot z = V^2 \cdot \ln x + C.$$

Al punt corresponent del parament convex ( $x = R_1$ ), l'elevació del nivell de l'aigua serà nul·la ( $z = 0$ ), a saber:  $0 = V^2 \cdot \ln R_1 + C$ , amb la qual cosa, coneixent el valor de la constant d'integració, s'obté la solució particular següent:

$$g \cdot z = V^2 \cdot \ln x - V^2 \cdot \ln R_1 = V^2 \cdot \ln \frac{x}{R_1};$$

raó per la qual s'obté com equació de la línia de nivell -si admetem que la velocitat  $V$  està repartida uniformement per la secció- l'expressió:

$$z = \frac{V^2}{g} \times \ln \frac{x}{R_1} .$$

La màxima elevació del nivell de l'aigua es produirà al parament exterior o còncav ( $x = R_2$ ), que és el que pot resultar més afectat, amb la qual cosa:

$$h = \frac{V^2}{g} \times \ln \frac{R_2}{R_1} = 2.3 \times \frac{V^2}{g} \times \log \frac{R_2}{R_1} = K \times V^2 = f(V) ,$$

essent:

$g$  = acceleració de la gravetat = 9.807 m/s<sup>2</sup>.  
 $R_1$  = radi de curvatura del parament interior (m).  
 $R_2$  = radi de curvatura del parament exterior (m).  
 $K$  = constant.  
 $x$  = abscissa.  
 $\rho$  = radi de curvatura mitjà =  $\frac{R_1 + R_2}{2}$  (m).

De la deducció teòrica anterior s'infereix que aquesta elevació és funció no només dels radis de curvatura dels dos paraments de la sèquia, sinó també de la velocitat de l'aigua que, com ja s'ha explicat anteriorment, pot augmentar com a conseqüència de l'estrenyiment de la llera, la sortida d'un túnel o aqüeducte, obstacles submergits, etc. També cal tenir en compte l'efecte de l'onatge pel vent.

Observeu, d'altra banda, l'especial gravetat que comporta el fet que la velocitat figuri en termes quadràtics en l'expressió anteriorment calculada, cosa que provocaria, v. gr., que a un augment perfectament admissible del 20% (per efecte de les obres de fàbrica o obstacles esmentats) en la velocitat de l'aigua correspondria un increment del nivell al parament exterior de:

$$h' = K \cdot V'^2 = K \cdot (1.20 \cdot V)^2 = K \cdot 1.44 \cdot V^2 = 1.44 \cdot h ,$$

cosa que implica un augment notable del 44% en l'elevació del nivell de l'aigua al parament còncau, molt superior al resguard hidràulic del 20% del calat màxim  $h$  que se sol preveure en aquest tipus d'obres. Aquestes variacions de nivell de la superfície lliure influeixen sobre la llei del moviment del líquid al revolt, ja que el pendent, i per tant la velocitat, augmenten al final d'un parament còncau i disminueixen al final d'un convex.

Quan les sèquies transcorren junt a les particions de les finques o de les parcel·les interiors de les mateixes, és més normal efectuar els canvis de direcció bruscs mitjançant arquetes com la representada a la fotografia 16 de l'annex d'informació complementària d'aquest mateix Article, la qual cosa obvia les consideracions metodològiques anteriors, encara que incrementant lleugerament la pèrdua de càrrega.

#### 4.2. Corba de capacitat d'una sèquia

Pot ser interessant, per a l'enfocament i la resolució de certs casos pràctics, d'altra banda, l'obtenció de l'anomenada "corba de capacitat d'una sèquia de reg", o corba de cabal d'una sèquia en funció del calat. Es tracta d'una característica o corba limnimètrica del cabal, ja que l'altura mitjançant la qual es deduirà aquesta variable hidràulica es llegeix en una regla graduada que es pot observar en alguns punts d'aquestes conduccions lliures (proximitat de comportes, derivacions, estacions foronòmiques, etc.) denominada *limnìmetre*.

En una sèquia de secció transversal donada, l'àrea  $S$  i el radi hidràulic  $R$  són funció del calat  $h$ , i es pot calcular el cabal de la conducció, per a cada nivell del calat, mitjançant alguna de les expressions relacionades als epígrafs anteriors. Si tenim en compte, per exemple, per a una determinada categoria de rugositat:  $K = 1$  (sèquia nova), la formulació proposada (Franquet, 2005) és:

$$Q = 86.85 \cdot S \cdot R^{0.6215} \cdot I^{0.5} \quad (1)$$

O sigui:

$$\frac{Q}{86.85 \cdot I^{0.5}} = S \times R^{0.6215} \quad (2)$$

expressió en la que el segon membre és una funció de calat  $h$  per a cada secció transversal, i en ser proporcional al cabal, s'anomena "capacitat de la secció", designant-se per  $K$ , així:

$$K = S \cdot R^{0.6215} = K(h); \text{ d'on: } Q = 86.85 \cdot K(h) \cdot I^{0.5}.$$

Es pot admetre, ordinàriament, que:

$$K(h) = C_0 \cdot h^{n/2} \quad (3)$$

essent  $C_0$  una constant i  $n$  un paràmetre designat per Bakhmeteff (Franquet, 2003) amb la denominació de "exponent hidràulic", amb la qual cosa:

$$Q = 86.85 \cdot C_0 \cdot h^{n/2} \cdot I^{0.5} = C_1 \cdot h^{n/2} \quad (4)$$

en què:  $C_1 = 86.85 \cdot C_0 \cdot l^{0.5}$ ; aleshores:  $\log C_1 = 1.939 + \log C_0 + (\log l)/2$ .

Les corbes de capacitat de la sèquia, representades en paper doblement logarítmic, es poden substituir, si més no en trams determinats, per la funció resultant de prendre logaritmes decimals o neperians en la expressió anterior (4):  $\log Q = \log C_1 + n/2 \cdot \log h$ , d'on es dedueix que:

$$\log Q = 1.939 + \log C_0 + \frac{\log(l \times h^n)}{2}$$

emprant, en tot moment, logaritmes decimals.

La relació (3) es pot obtenir per interpolació en paper logarítmic. L'expressió (4) revela que la corba limnimètrica és de característiques similars a una paràbola, la constant  $C_1$  de la qual queda determinada, a la pràctica, amb un parell de mesures del cabal.

Aquesta expressió ofereix la funció derivada:

$$Q' = \frac{dQ}{dh} = \lim_{\Delta h \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta h} = C_1 \times \frac{n}{2} \times h^{\frac{n-2}{2}},$$

de forma que si  $n/2$  es més gran que la unitat, el pendent de la corba en qüestió augmenta contínuament conforme ho fa  $h$ , mentre que si  $n/2$  es troba entre 0 y 1, el pendent decreix contínuament, tal com s'indica a la Fig. 5 següent:

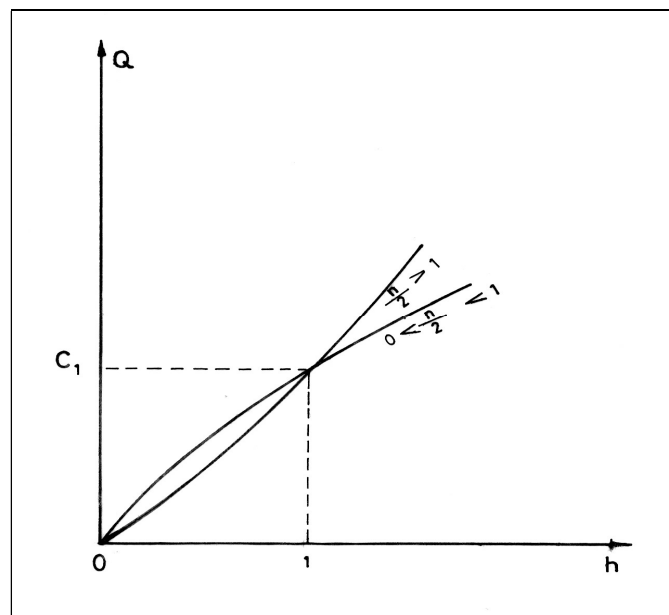


Fig. 5. Diferents formes de la "corba de capacitat" d'una sèquia.

Per un o altre valor de  $n/2$ ,  $Q$  tendeix a infinit quan  $h$  tendeix a infinit. En aquest cas, l'elasticitat funcional o derivada elàstica de  $Q$  en relació a  $h$  vindrà donada per:

$$\frac{EQ}{Eh} = \frac{h}{Q} \times Q' = \frac{h}{C_1 \times h^{n/2}} \times C_1 \times \frac{n}{2} \times h^{\frac{n-2}{2}} = \frac{n}{2},$$

que és, tot just, la meitat del valor del “exponent hidràulic” de Bakhmeteff (1932).

De la investigació de les branques infinites d'aquesta funció, es dedueix que:

$$\lim_{h \rightarrow \infty} \frac{Q}{h} = \lim_{h \rightarrow \infty} \frac{C_1 \times h^{n/2}}{h} = \lim_{h \rightarrow \infty} C_1 \times h^{\frac{n-2}{2}}$$

i poden produir-se els següents casos:

**per a:  $n > 2$**  → el límit anterior és  $+\infty$ , amb la qual cosa es té una branca parabòlica cap a dalt (vertical), segons l'eix 0Q.

**per a:  $n = 2$**  → és una recta que passa per l'origen de coordenades.

**per a:  $n < 2$**  → el límit anterior és 0, i es tracta d'una branca parabòlica horitzontal (segons l'eix 0h).

En ambdós casos, per a:  $h = 1 \Rightarrow Q = C_1$ , i també, per a:  $n = 0 \Rightarrow Q = C_1$ .

### 4.3. Estudi teòric de la secció semicircular de la sèquia

Ara tenim una sèquia semicircular (es tracta, en realitat, d'un segment circular) com moltes de les fotografiades a l'annex del procés constructiu d'aquest mateix Article, representada a la Fig. 6 següent, i admetem una alçada d'aigua plena fins al nivell *ac*, amb l'angle  $\theta$  expressat en radians. Aquesta secció resta determinada per dos elements fonamentals: el radi *r* i l'angle  $\theta$ .

Evidentment, des del punt de vista estricte geomètric, s'acomplirà que:

Àrea segment circular *abc* (*S*) = Àrea sector circular *aocb* (*S*<sub>1</sub>) – Àrea triangle *aoc* (*S*<sub>2</sub>),

o sigui:  $S = S_1 - S_2$ , però es compleix que:

$$S_1 = \frac{1}{2} r \cdot r\theta = \frac{1}{2} r^2\theta$$

$$S_2 = \frac{1}{2} ac \times od = \frac{1}{2} 2r \cos \frac{\theta}{2} \times r \sin \frac{\theta}{2} = r^2 \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2}$$

i tenint en compte que:

$$\sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} = \frac{1}{2} \sin \theta, \text{ quedarà: } S_2 = \frac{1}{2} r^2 \sin \theta$$

i, en conseqüència:

$$S = S_1 - S_2 = \frac{1}{2}r^2\theta - \frac{1}{2}r^2\sin\theta = \frac{1}{2}r^2(\theta - \sin\theta)$$

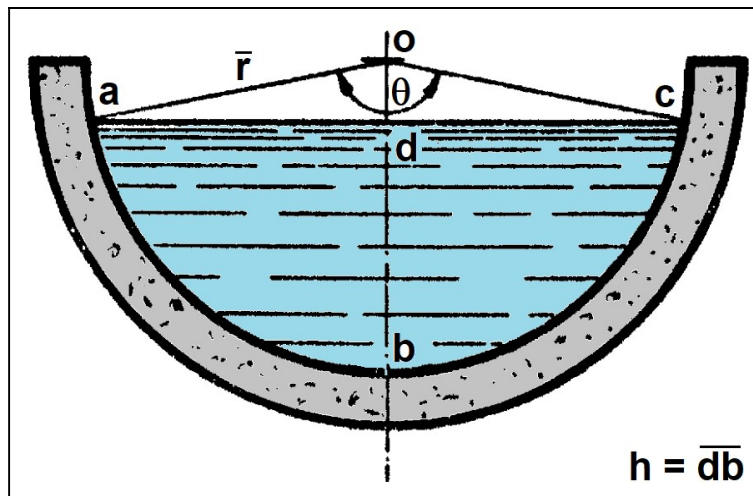


Fig. 6. Secció transversal d'una sèquia de reg en segment circular.

El perímetre o contorn mullat, val:  $c = r \cdot \theta$ , amb la qual cosa, el radi hidràulic mitjà o quocient  $S/c$  serà:

$$R = \frac{1}{2}r^2(\theta - \sin\theta) : (r\theta) = r \frac{\theta - \sin\theta}{2\theta} = r/2 \times [1 - \sin(\theta)/\theta]$$

Aquest radi hidràulic serà màxim (cosa que oferirà un cabal màxim) quan es trobi un valor de  $\theta$  tal que anul·li la derivada primera (condició necessària o de primer grau) de l'expressió trigonomètrica:  $\frac{\theta - \sin\theta}{2\theta}$ . La seva resolució ens donaria, per a  $\theta$ , el valor de l'angle pla de  $180^\circ = \pi$  radians, és a dir, que el radi màxim s'aconsegueix quan el nivell d'aigua passa pel punt **o** (URALITA, 1966), la qual cosa implicaria el desbordament de la sèquia.

A més, com que de les diverses seccions poligonals el semicercle és la de perímetre mínim, aquesta forma de secció resulta la més avantatjosa. En qualsevol cas, encara que aquesta secció transversal és la que posseeix una secció mullada més gran per a un perímetre determinat, no sol ser gaire utilitzada en els revestiments de sèquies terrisses efectuats *in situ*, bàsicament per dificultats constructives i de la seva conservació o manteniment.

Es proposa adoptar un valor aproximat de l'angle  $\theta = 160^\circ = 8\pi/9$  radians, per tal de deixar un cert resguard hidràulic a la sèquia i evitar el seu sobreiximent. Aleshores, amb aquest angle d'adopció en el disseny, quedarà:

$$R = \frac{r(\theta - \sin\theta)}{2\theta} = 0.43876 \cdot r, \text{ i també: } r = \overline{od} + h, \text{ d'on el calat màxim serà:}$$

$$h = r - \overline{od} = r - r \cdot \cos(\theta/2) = r(1 - 0.174) = 0.826 \cdot r$$



amb una amplada de la làmina d'aigua de:

$$\overline{ac} = 2 \times \overline{ad} = 2 \cdot r \cdot \sin(\theta/2) = 1.97 \cdot r$$

Tenint en compte que  $\cos(\theta/2) = 0.174$ , això suposa un resguard hidràulic de:

$$\overline{od} = 0.174 \cdot r,$$

i segons la fórmula de la secció mullada, resulta:

$$S = \frac{r^2}{2} (\theta - \sin\theta) = 1.225 \cdot r^2$$

#### 4.4. Comprovació hidràulica de la sèquia construïda

Usarem, successivament, les diverses formulacions que han estat objecte d'estudi en aquest Article del nostre llibre. Partirem, doncs, de les fórmules següents:

$$S = \frac{r^2}{2} (\theta - \sin\theta) \quad (5)$$

$$R = \frac{r(\theta - \sin\theta)}{2\theta} \quad (6)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \times l^{\frac{1}{2}} \text{ (Manning-Strickler)}$$

Per a una rugositat:  $n = 0.011$ , es tindran els següents valors de la velocitat i el cabal circulant:

*Manning-Strickler:*

$$V = 91 \times l^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{r(\theta - \sin\theta)}{2\theta} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (7)$$

$$Q = V \times S = 45.5 \times l^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{r(\theta - \sin\theta)}{2\theta} \right]^{\frac{2}{3}} \times r^2 (\theta - \sin\theta) \quad (8)$$

*Bazin:* Amb  $\gamma = 0.06$  (parets llises), es té:

$$V = \frac{87 \times \sqrt{R}}{1 + \frac{0.06}{\sqrt{R}}} \times l^{1/2} = \frac{87 \times R}{\sqrt{R} + 0.06} \times l^{1/2} \quad (9)$$

$$\text{amb } R = \frac{r(\theta - \sin\theta)}{2\theta}.$$

*Franquet*: Amb una categoria de rugositat  $K = 1$  (sèquia nova), es té (Franquet, 2003):

$$V = 86.85 \times R^{0.6215} \times l^{1/2} = 86.85 \times \left[ \frac{r(\theta - \sin \theta)}{2\theta} \right]^{0.6215} \times l^{1/2} \quad (10)$$

$$Q = V \times S = 43.42 \times \left[ \frac{r(\theta - \sin \theta)}{2\theta} \right]^{0.6215} \times r^2(\theta - \sin \theta) \times l^{1/2} \quad (11)$$

Tanmateix, amb una rugositat  $K = 2$  (sèquia usada o en servei, per aplicació del principi de prudència es tindrà, alternativament):

$$V = 78.29 \times R^{0.63455} \times l^{1/2} = 78.29 \times \left[ \frac{r(\theta - \sin \theta)}{2\theta} \right]^{0.63455} \times l^{1/2} \quad (12)$$

$$Q = V \times S = 39.15 \times \left[ \frac{r(\theta - \sin \theta)}{2\theta} \right]^{0.63455} \times r^2(\theta - \sin \theta) \times l^{1/2} \quad (13)$$

Alternativament:

$$Q = 78.29 \times c \times R^{1.63455} \times l^{1/2} = 78.29 \times c \times \left[ \frac{r(\theta - \sin \theta)}{2\theta} \right]^{1.63455} \times l^{1/2} \quad (13')$$

essent  $c$  el contorn o perímetre mullat de la sèquia.

També es poden fer les comprovacions precises amb les altres formulacions contemplades als nostres estudis (Franquet, 2003), com ara les de Ganguillet y Kütter (simplificada), Koechlin, Forchheimer i Biel (1907).

*Knauff*: A Alemanya ha estat d'ús corrent tradicionalment la formulació de Knauff (URALITA, 1966) per aquest tipus de sèquies, amb una velocitat i un cabal respectius de:

$$V = \frac{114 \times R}{\sqrt{R + 0.2565}} \times l^{1/2} \quad (14)$$

$$Q = V \times S = \frac{57 \times R}{\sqrt{R + 0.2565}} \times r^2(\theta - \sin \theta) \times l^{1/2} \quad (15)$$

En examinar les diverses fórmules esmentades, s'observa que existeix, en els coeficients de rugositat emprats, un cert grau d'indeterminació en la seva elecció. Endemés, interessa acotar, per a la seva aplicació i la d'altres fórmules empíriques, que el cas en estudi es trobi dins del límits experimentals de cadascuna d'elles, malgrat que no sempre són prou coneguts. Endemés, la fricció amb les parets canvia amb el transcurs del temps i no sempre aquesta important circumstància es té en compte.

Per totes aquestes consideracions, i per tal de fer front a aquesta problemàtica de disseny que ens trobem en el camp de l'enginyeria hidràulica, hem basat les nostres propostes de dimensionament (Franquet, 2003) d'aquest tipus de conduccions lliures en un estudi complet que subsumeix el capteniment de la majoria d'elles, oferint uns resultats equilibrats i aplicables en gairebé tots els casos que es poden presentar a la pràctica, i que han estat específicament exposats a l'Article 3 d'aquest mateix manual.

#### **4.5. Flux no uniforme a la sèquia. Fenòmens locals o transicions**

##### *4.5.1. Introducció*

El flux no uniforme es caracteritza pel fet que la superfície lliure no és paral·lela a la solera. Per a l'estudi teòric, es classifica en flux gradualment no uniforme i flux amb variació ràpida, no existint a la pràctica una línia de separació ben definida entre tots dos.

Si el flux varia gradualment, el canvi de les condicions del mateix es verifica al llarg d'una longitud considerable, i cal tenir en compte el fregament amb les parets de la llera. A la majoria dels casos, el flux als rius és d'aquesta naturalesa, a causa de la irregularitat de la secció i del pendent del llit.

Al flux amb variació ràpida, la secció del mateix canvia bruscament en una curta distància. A aquests fenòmens que es presenten en una longitud de sèquia petita se'ls anomena "fenòmens locals o transicions de la llera". En aquest cas, les pèrdues per fregament amb la llera són relativament menyspreables en comparació amb les originades per la turbulència, i per a l'estudi teòric del moviment, es prescindeix del fregament i es considera la solera horitzontal, o el que és igual, se suposa que la component del pes degut al pendent de la solera, es compensa amb les forces de fregament.

Generalment, s'admet que la distribució de velocitats és uniforme, llevat de casos excepcionals. Això simplifica l'estudi teòric, particularment quan el calat  $h$  i, en conseqüència, la distribució exacta, són desconeguts "a priori". L'error que es comet en acceptar aquest supòsit és admissible per a les aplicacions pròpies de l'enginyeria hidràulica (Torres, 1970).

##### *4.5.2. Energia específica en una secció transversal*

L'energia per unitat de pes,  $H_0$ , prenent com a origen d'alçada la solera de la sèquia, s'anomena "energia específica":

$$H_0 = h + \frac{V^2}{2g} \quad (16)$$

essent  $h$  el calat. L'equació anterior (16) es pot expressar en funció del cabal unitari  $q$  (cabal per unitat d'ample) d'una sèquia de secció rectangular:

$$V = \frac{Q}{l \times h} = \frac{q}{h}; \text{ essent } q = \frac{Q}{l}, \text{ d'on:}$$

$$H_o = h + \frac{q^2}{2gh^2} \quad (17)$$

O bé:

$$q = \sqrt{2g(h^2 \times H_o - h^3)} = h\sqrt{2g(H_o - h)} \quad (18)$$

Quan el flux és uniforme  $H_o$  és constant i la línia d'energia és paral·lela a la solera. En els corrents no uniformes,  $H_o$  varia entre dues seccions qualsevol.

El concepte d'energia específica va ser introduït l'any 1911 per Bakhmeteff (1932), i és la base de la teoria actual sobre el flux no uniforme. L'energia específica també pot representar-se així:

$$H = h_c + \frac{h_c}{2(n+1)}, \text{ i per tant: } h_c = \frac{2n+2}{2n+3} \times H, \text{ aleshores:}$$

- Per a  $n = 0$  (sèquia rectangular), resulta:  $h_c = \frac{2}{3} \times H$
- Per a  $n = 1/2$  (sèquia parabòlica):  $h_c = \frac{3}{4} \times H$
- Per a  $n = 1$  (sèquia triangular):  $h_c = \frac{4}{5} \times H$

#### 4.5.3. El règim del corrent i el número de Froude

Sabem que en els valors de l'energia específica  $H$  intervenen dos sumands,  $h$  i  $V^2/2g$ . Quan els calats són petits, el terme  $V^2/2g$  supera a  $h$  però si creix aquest valor arriba aviat a ser més gran que l'altura de velocitat.

Per tenir una idea de la major o menor rapidesa d'un corrent, comparada amb el seu calat, podria formar-se el quocient entre ambdues magnituds lineals, així:

$$(F_r)^2/2 = \frac{V^2/2g}{h},$$

amb la qual cosa obtindríem un número sense dimensió que, quant major fos, indicaria una preponderància més acusada de l'energia cinètica sobre la potencial del corrent.

No és freqüent, en canvi, definir aquest número en la forma que ho acabem de fer, sinó que se sol formar l'arrel quadrada del doble del mateix, i així resulta:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

expressió, que representa un paràmetre adimensional, denominat "número de Froude" (en realitat és més aviat una forma del número de Froude), que també s'ha contemplat específicament a l'Article 9 d'aquest mateix manual.

Quan el calat del corrent és el corresponent al règim crític, és a dir, si  $h = h_c$  (calat crític), llavors:

$$F_r = \frac{V_c}{\sqrt{gh_c}} = 1$$

Cal advertir que aquesta velocitat crítica no té cap relació amb l'altra velocitat, també anomenada crítica, que separa el flux laminar del turbulent, el valor de la qual és força més baix.

Resulta significatiu el fet que la quantitat  $c = \sqrt{g \times h_m}$  equival a la celeritat o velocitat de propagació d'una petita ona de gravetat i superficial (de petita altura) que es produïu en una sèquia estant el líquid en repòs.

Efectivament, a la figura 7a), es mostra una ona solitària que avança per una sèquia amb la celeritat  $c$ . A la figura 7b), hem substituït la situació anterior per un cas equivalent en el flux permanent, en el que l'ona roman estàtica mentre que el flux penetra amb una velocitat  $V_1 = -c$ .

Aplicant el teorema de Bernoulli entre les dues seccions transversals de la sèquia 1 i 2 (amb  $z_1 = z_2$ ;  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ , i menyspreant la fricció), tenim:

$$h + \frac{Q^2}{2gS^2} = h + \frac{Q^2}{2gS^2} + dh \times \left(1 - \frac{Q^2}{gS^3} \times l\right)$$

essent  $dh$  l'altura de l'ona. Endemés:

$$\frac{Q^2 \times l}{gS^3} = 1; \quad \frac{Q^2}{S^2} = g \frac{S}{l}$$

D'on:

$$c = \frac{Q}{S} = \sqrt{g \times h_m}$$

En el règim lent la velocitat del corrent a la sèquia és inferior a la celeritat de l'ona, per la qual cosa les ones produïdes per qualsevol pertorbació (transició o fenomen local) poden desplaçar-se aigües amunt i aigües avall del punt de localització.

Altrament, al règim ràpid la velocitat del corrent és superior a la celeritat de l'ona, i les ones produïdes per qualsevol pertorbació solament poden desplaçar-se aigües avall.

Tot això es pot veure reflectit a la següent figura en secció longitudinal de la sèquia (Torres, 1970):

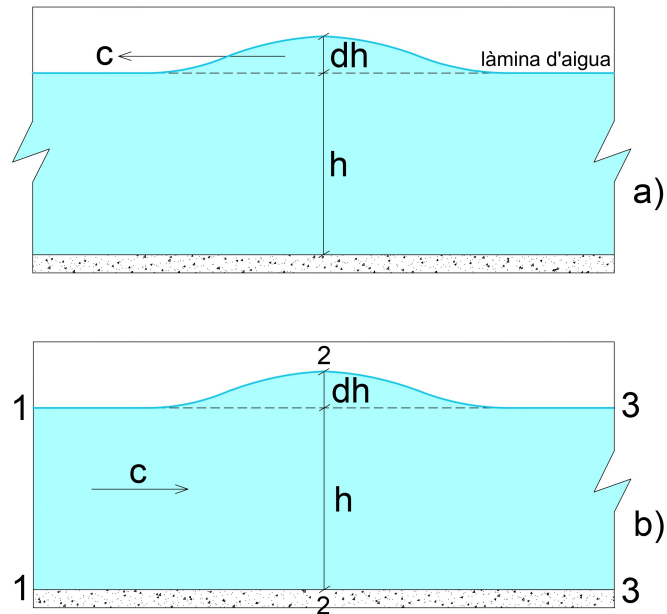


Fig. 7. Ona solitària o solitó en sèquia.

El **solitó** és una ona solitària que es propaga sense deformar-se en un mitjà no lineal. Es troba present en fenòmens físics com a solució d'equacions diferencials no lineals. El fenomen associat fou descrit, per primer cop, per l'escocès John Scott Russell (1808-1882), qui l'observà inicialment en la propagació d'una ona al llarg d'un canal d'aigua l'any 1834 (Scott, 1844).

Òbviament, caldrà assegurar que el resguard hidràulic previst de la sèquia sigui igual o superior a  $dh$  per tal d'evitar desbordaments de la mateixa.

#### 4.5.4. Cas d'una sèquia de secció rectangular

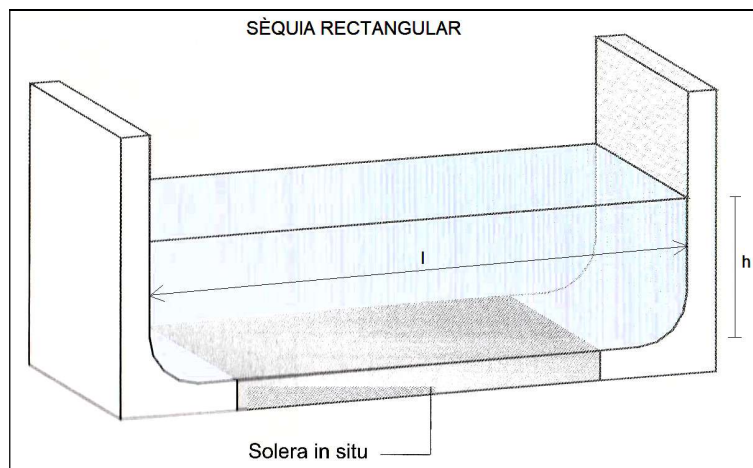


Fig. 8. Sèquia de secció rectangular.

En una sèquia rectangular d'ample constant  $l$ , el cabal unitari és:  $q = \frac{Q}{l} = V \times h$ .

L'energia específica serà:

$$H = h + \frac{V^2}{2g} = h + \frac{q^2}{2gh^2} \quad (19)$$

Per a la cerca d'extremes d'aquesta funció, derivant l'expressió (19) respecte a h, i igualant a zero (condició necessària o de primer grau):

$$\frac{dH}{dh} = 1 - \frac{q^2 \times 2h}{2gh^4} = 1 - \frac{q^2}{gh^3} = 0, \text{ d'on s'obté:}$$

$$q^2 = gh^3 \quad (20)$$

La condició suficient o de segon grau exigeix:

$$\frac{d^2H}{dh^2} = \frac{q^2 \times 3h^2 \times g}{g^2 \times h^6} = \frac{q^2 \times 3}{g \times h^4}; \text{ substituint } q^2 = g \times h^3 \text{ es té:}$$

$$\frac{d^2H}{dh^2} = \frac{3g \times h^3}{g \times h^4} = \frac{3}{h} > 0, \text{ o sigui, es tracta d'un mínim relatiu o local.}$$

El calat crític  $h_c$  valdrà:  $h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$ . Substituint ara aquest valor a (19):

$$H = h_c + \frac{gh_c^3}{2gh_c^2} = h_c + \frac{h_c}{2} = \frac{3}{2}h_c$$

El valor corresponent de la velocitat crítica s'obté de l'expressió (20):

$$q^2 = V_c^2 \times h_c^2 = g \times h_c^3, \text{ d'on: } V_c = \sqrt{g \times h_c}$$

O el que és igual:

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{h_c}{2}$$

I així, en sèquies rectangulars en règim crític, l'altura de la velocitat és tot just la meitat del calat crític corresponent.

## 5. SUCCINTA DESCRIPCIÓ DE LES OBRES I INSTAL·LACIONS PRECISES. EXEMPLIFICACIÓ

### 5.1. Condicionants de disseny

#### 5.1.1. Topografia

Per la seva ubicació al delta de l'Ebre, la zona d'estudi presenta uns pendents el terreny molt suaus que condicionen clarament el disseny hidràulic de la solució. El pendent mitjà del braçal a reparar és de 0.00015 m/m aproximadament i s'adopta una solució amb un pendent variable entre 0.0002 i de 0.0001 m/m.

### 5.1.2. Geologia i geotècnia

La zona d'estudi es troba sobre formacions pertanyents a l'edat del quaternari, sobre la unitat fisiogràfica al·luvial denominada "Plana Deltaica".

La plana deltaica ha estat formada per sediments pertanyents a tres ambients sedimentaris principals diferents:

- *Fluvial*, que comprèn els "levees" o dics naturals, canals del riu, canals abandonats i distribucions de reg abandonades.
- *Palustre - Lacustre*, que comprèn els ambients de llacunes, maresmes, planes de sorres i canals de corrent.
- *Fluviomari*, que inclou platges, barres i fletxes litorals.

Els materials que es troben a la zona són, des del punt de vista textural, sorres mitjanes i llims. Localment contenen capes de torba, especialment a l'hemidelta dret. S'interpreten com a dipòsits de llit fluvial abandonat.

### 5.1.3. Delimitació geofísica de la zona regable

Per tal d'establir les necessitats d'aigua en els diferents trams s'ha delimitat la superfície regable. En aquest exemple, la Comunitat de Regants del Marge Esquerre de l'Ebre ha proporcionat la superfície regable tributària del tram de sèquia a revestir. La Comunitat també ha proporcionat un document on s'indica, per a cadascuna de les parcel·les de reg, la situació de les preses i dels accessos a la parcel·la, amb l'autorització preceptiva de cadascun dels regants implicats.

### 5.1.4. Paràmetres de disseny

Els paràmetres de disseny són els següents:

Dotació de càlcul: ( $\times 2$ )	3.0 l/s/ha
Dotació de punta: ( $\times 3$ )	4.5 l/s/ha
Pressió mínima en servei:	20 cm
Diferència de cota entre terreny i presa de reg:	10 cm
Resguard hidràulic mínim:	20 cm
Velocitat màxima:	1.0 m/s
Coefficient de rugositat de Manning:	$n = 0.014$
Coefficient de rugositat de Bazin:	$\gamma = 0.16$
Coefficient de rugositat de Franquet:	Tipus K = 2.

La dotació per la qual es dimensiona òptimament aquesta canaleta es per a 3 l/s/ha, tot i que som conscients que si dividim el total de l'aigua que entra al Delta pel canal de conducció -aproximadament uns 17 m<sup>3</sup>/s entre 11300 ha de terreny aproximat a regar- ens dona una dotació de 1.5 l/s/ha. Per motius dels sistemes dels tractaments fitosanitaris que es realitzen als arrossars al llarg de la campanya, en moments puntuals es necessiten fins i tot cabals superiors per



inundar amb menys temps algunes parcel·les, per la qual cosa hem calculat si amb dotacions puntuals màximes, per a certs moments i trams, de l'ordre del 300% de la dotació anual mitjana, o sigui de 4.5 l/s/ha, les canaletes dissenyades tenen suficient capacitat per absorbir aquests cabals puntuals sense que apareguin sobreeximents.

Així mateix la canaleta mínima a executar es la del tipus C-230. Aquests criteris de disseny, marcats per la pròpia Comunitat de Regants, peticionaria de l'actuació, per una part donen uns resguards hidràulics en les canaletes superiors i per l'altra incrementen la dificultat de gestió de tot el sistema de reg.

A l'hora de dissenyar les diferents seccions es proposa adoptar un coeficient de Manning de  $n = 0.014$  (coincident també amb l'adoptat a la formulació general de Ganguillet i Kütter), aplicant en tot moment el criteri de prudència, degut a que quan les sèquies estiguin en servei, pel creixement de vegetació disminuirà la capacitat lliscant de les seccions de formigó des de valors 0.013 en seccions prefabricades ben acabades a 0.015 en seccions construïdes *in situ*.

A nivell d'estudi comparatiu, en l'annex corresponent s'han fet els càlculs hidràulics amb diferents formulacions: la de Manning-Strickler (1890), Bazin (1897) i Franquet (2003).

## 5.2. Estudi d'alternatives

Per arribar a la definició de la solució adoptada s'han analitzat els diferents elements que conformen el projecte per tal de determinar la idoneïtat de la seva configuració, material o procés de construcció. De cada element s'han considerat les diferents alternatives i s'han avaluat els seus costos, així com els avantatges i inconvenients tècnics.

Els aspectes analitzats han estat els següents:

- Tipologia de la secció; aquesta pot ser a cel obert (alternativa 1) o entubada (alternativa 2). Les sèquies a cel obert tenen una sèrie de petits inconvenients enfront a les seccions entubades, com ara la major quantitat de pèrdues, la major possibilitat de contaminació o l'embrutiment de l'aigua i la possibilitat de desbordament. D'entre els avantatges, cal indicar el seu menor cost, la major accessibilitat, la facilitat de neteja i reparació i la facilitat del procés constructiu.

L'avaluació dels costos s'ha fet considerant el preu metre lineal de canonada o secció a cel obert d'àrea equivalent a la canonada, tenint en compte el cost d'execució, transport i junts equivalents. El resultat és que resulta més barat a làmina lliure.

- Execució, *in situ* (alternativa 1) o prefabricada (alternativa 2).

L'amplia experiència en l'ús de seccions parabòliques<sup>5</sup> o semicirculars prefabricades demostra el seu bon funcionament en el revestiment de sèquies, amb un major radi hidràulic R. Aquest tipus de seccions tenen un pes menor que permet reduir els assentaments i es fabriquen amb junts emmetxats de tal manera que es redueix el nombre de fuites i els assentaments diferencials.

Els acabats de les seccions prefabricades són de major qualitat que els de les seccions construïdes *in situ*, el que té com a conseqüència una menor rugositat i, per tant, un millor funcionament hidràulic. Aquest funcionament també es millor a causa de la major eficiència de la secció hidràulica.

En general les condicions d'execució són més senzilles en el cas de les seccions prefabricades. Tot i així, les seccions efectuades *in situ* tenen alguns avantatges de caràcter constructiu, com són el menor nombre de junts necessaris, la major adaptabilitat als canvis de secció o la no necessitat de peces especials. Per últim, un dels principals avantatges de les seccions prefabricades és el seu menor cost.

A la taula següent es resumeixen els inconvenients i avantatges de les dues alternatives considerades, a saber:

Taula 1. Alternatives d'execució de les sèquies.

<b>Característiques</b>	<b>Aspecte</b>	<b>Alternativa 1 (<i>in situ</i>)</b>	<b>Alternativa 2 (prefabricades)</b>
Característiques hidràuliques	Rugositat	Major	Menor
	Pendent	Menys fàcil de garantir	Més fàcil de garantir
	Eficiència de la secció	Menor	Major
Característiques constructives	Acabats	De menor qualitat	De major qualitat
	Condicions d'execució	Procés constructiu poc eficient	Eficients
	Junts	Menor nombre de junts	Necessita juntes d'unió entre les diferents peces
	Peces especials	No són necessàries	Són necessàries en les preses de reg i en els canvis de secció
	Flexibilitat	S'adapta millor als canvis de secció	Menys flexibilitat
	Pes	Major pes	Menor pes
Altres	Cost	Major cost	Menor cost
	Experiència	Normal	Gran experiència en el correcte funcionament

<sup>5</sup> En realitat, el perímetre o contorn mullat d'aquestes seccions ateny millor la configuració geomètrica de la catenària, que és la forma que adopta una corda o cadena quan es penja de dos punts i només suporta el seu propi pes. La paràbola, tanmateix, és la forma que adopta una corda o cadena penjada de dos punts i suportant una càrrega uniformement distribuïda al llarg de la horitzontal. La major diferència existent entre ambdues corbes correspon a les seves respectives tangents, ja que en la catenària el valor de la tangent tendeix a la verticalitat mentre que en la paràbola aquest valor tendeix a una constant.

La solució adoptada, en definitiva, ha estat l'alternativa 2 (sèquia prefabricada) tenint en compte els seus majors avantatges tècnics, rapidesa d'execució i el menor cost.

A continuació, es poden veure alguns tipus i elements propis de les sèquies prefabricades d'ús més comú, que poden anar recolzades al terreny per on discorria l'antiga sèquia terrissa o bé sobre pilons formats de blocs de formigó vibropressat i moldejat (Figs. 9, 10 i 11).

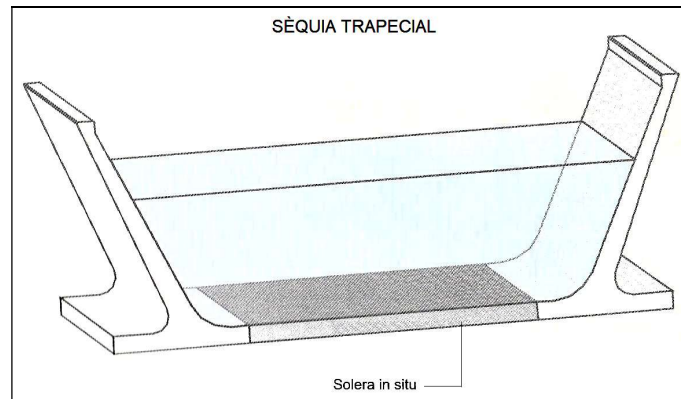


Fig. 9. Sèquia de secció trapezial.

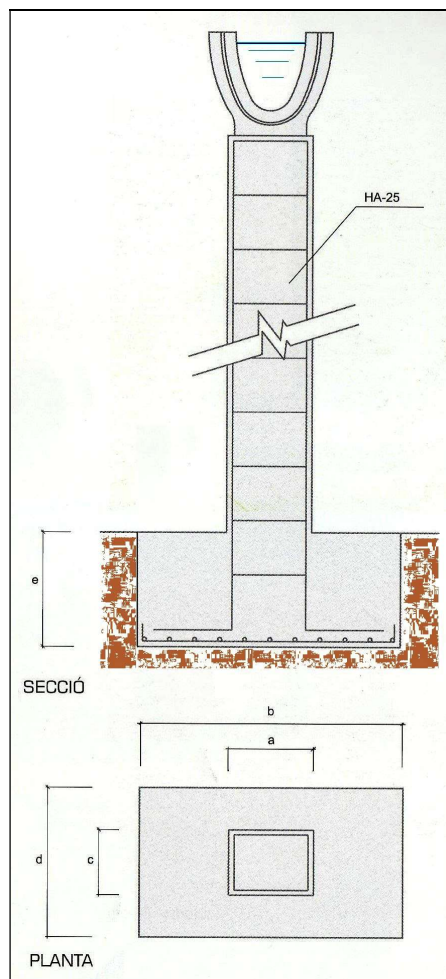


Fig. 10. Sèquia parabòlica elevada sobre pilons.

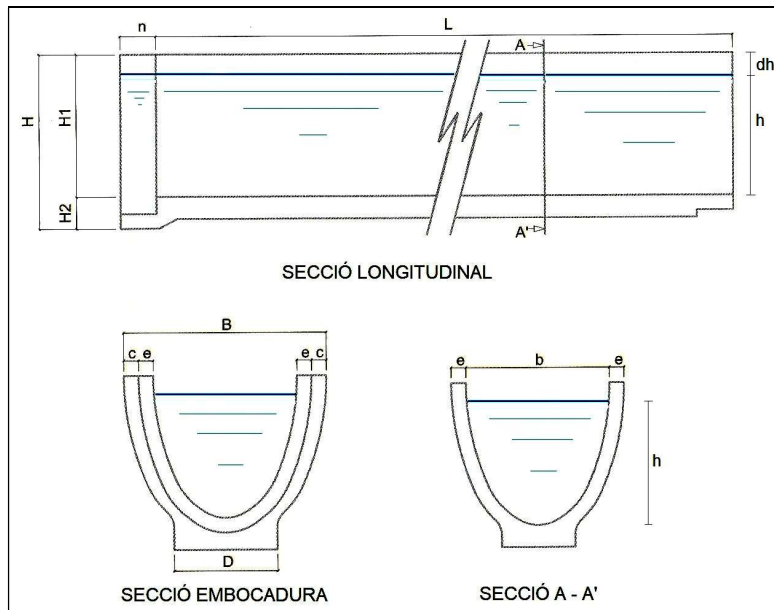


Fig. 11. Sèquia de secció parabòlica.

### 5.3. Descripció de les obres

#### 5.3.1. Introducció

Les obres que a continuació es descriuen consisteixen, bàsicament, en la millora d'una sèquia prefabricada "standard" amb l'objecte d'eliminar els problemes existents amb les pendents i l'acumulació de material calcari i per la millora del funcionament de les preses de reg i les comportes. L'actuació inclou la millora del revestiment, les preses de reg, les obres de regulació, les obres especials i l'execució de passos superiors per l'accés a les diverses parcel·les de conreu.

Les unitats d'obra a executar seran les següents:

- Enderrocs.
- Moviments de terra.
- Col·locació del canal prefabricat de reg.
- Preses de reg, entroncaments i comportes.
- Sobreexidor.
- Accessos superiors a les parcel·les de conreu.

#### 5.3.2. Enderrocs de la sèquia existent

Aquesta actuació comprèn l'enderroc d'algun tub o pas/pont existent al llarg del braçal, mitjançant medis mecànics o manuals, i el corresponent transport a l'abocador.

#### 5.3.3. Moviment de terres

Aquesta actuació comprèn les tasques d'esbrossada del terreny, l'excavació i el replè de les rases per a la formació de la secció definitiva de la sèquia. La

seqüència de l'actuació serà la següent per a les canaletes tipus de C-1250 a C-230:

- Esbrossada del terreny, excavació de rasa, col·locació d'una làmina de geotèxtil, estesa d'una capa de drenatge d'àrid 20/40 mm, de 80 cm de gruix, formigó pobre o de neteja (a base de 100/150 kg/m<sup>3</sup> de ciment Portland artificial P-350) de 10 cm de gruix, suport de formigó en massa de 0.20 m d'alçada, col·locació de la canaleta, i replè dels laterals de la canaleta amb material adequat, compactat al 95% del Proctor Modificat (PM).
- A les seccions d'unió el suport de formigó serà armat.

#### 5.3.4. Col·locació de la canaleta prefabricada

Per a portar a terme la col·locació de la canaleta, cada cinc metres aproximadament, es col·locarà sobre la rasa una làmina de geotèxtil que evitarà la contaminació de la capa de grava abans esmentada pel terreny, permetent el drenatge. Sobre la capa de grava s'executarà un suport de formigó pel recolzament de les canaletes que, en els punts d'unió, serà de formigó armat en comptes de formigó en massa.

Per últim, es portarà a terme la col·locació i perfecta alineació de la canaleta prefabricada, omplint amb material adequat els laterals de la mateixa.

#### 5.3.5. Arquetes i comportes

- Arquetes de preses de reg

Aquestes unitats seran arquetes de formigó armat HA-25 recolzades sobre una base de grava amb comportes murals circulars prefabricades de diàmetre 200 mm, amb talladeres d'acer inoxidable i accionament manual mitjançant volant (Fig. 12).

L'escomesa a cada parcel·la es farà mitjançant un tub de HDPE de 200 mm de diàmetre, protegit per una capa de formigó HA-20 i una malla d'acer.

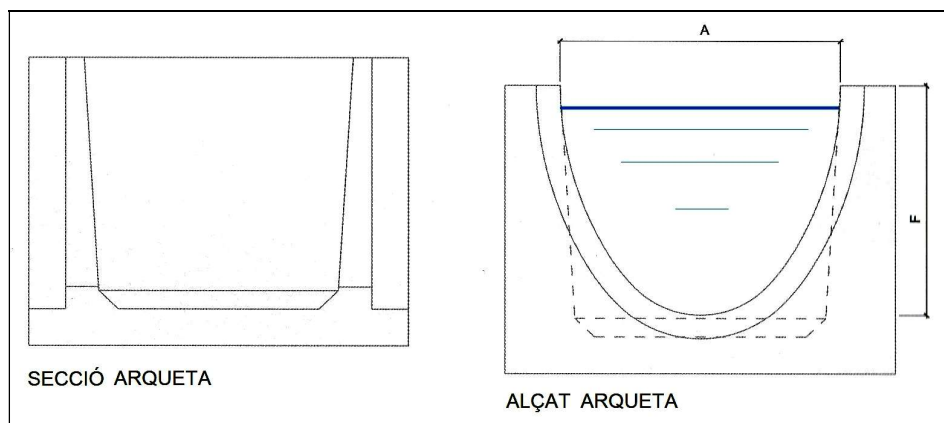


Fig. 12. Arqueta de reg.

- Arquetes d'entroncament

Aquestes unitats seran arquetes de formigó armat recolzades sobre una capa de 10 cm de formigó de neteja amb tapa d'acer formada per pletines encreuades tipus trànex o similar. Les dimensions són variables en funció del tipus de canaleta. Disposaran de comportes (Fig. 13) de tipus talladera d'acer inoxidable d'accionament manual. Les comportes es col·locaran a l'inici del braçal.

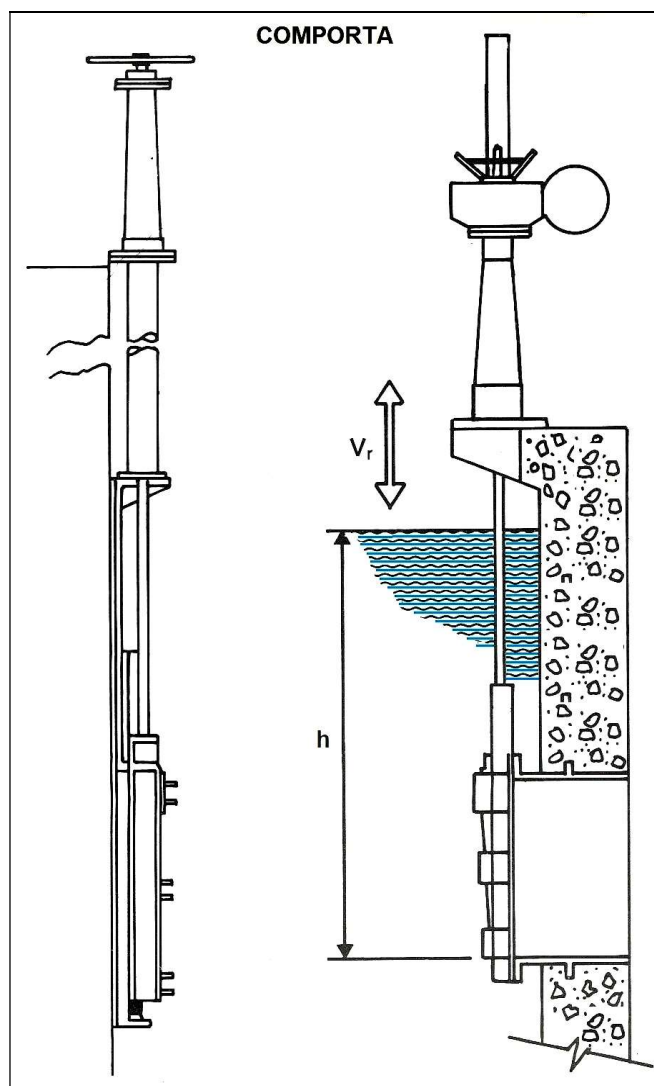


Fig. 13. Detall de comporta.

### 5.3.6. Obres especials

Es construiran sobreeixidors de descàrrega de llavi fix, tot seguint les indicacions de la propietat. Són descàrregues de fons que abocaran les aigües a un col·lector de 300 mm de diàmetre que les conduirà cap als respectius canals de descàrrega o desguassos, com a mínim al final de cada ramal.

Es col·locarà una rampa per ànecs i altres aus de forma que permeti la sortida d'aquests animals de la sèquia.

### 5.3.7. Accessos a les parcel·les

L'accés a les parcel·les de conreu es farà amb un calaix de formigó armat HA-25/P/20/IIa recolzat sobre una base de grava de  $\varnothing$  5 a 15 mm, amb una capa superior de formigó d'anivellament HA-20.

A la part superior, cobrint la canaleta es recolzarà una llosa de formigó armat HA-25/P/20/IIa de 25 cm de gruix. L'amplada d'aquesta llosa i el calaix de formigó serà de 9.50 m o bé de 6.50 m, de forma que permeti el pas còmode de recol·lectores, camions, tractors i remolcs agrícoles.

### 5.4. Serveis afectats

S'ha consultat a les companyies i organismes corresponents sobre l'existència de serveis en l'àmbit del projecte.

Dins la zona del projecte no hi ha serveis afectats.

No s'ha previst cap partida pressupostària al respecte, ja que es preveu que no hi haurà cap servei afectat.

### 5.5. Expropiacions i altres afeccions

#### 5.5.1. Introducció

Per tal de definir les expropiacions i servituds associades a les obres del projecte, s'ha procedit a localitzar les dades cadastrals de les finques afectades.

#### 5.5.2. Criteris adoptats

Per l'execució de l'actuació es tindran en compte tres tipus d'ocupacions:

- Expropiacions: no s'ha considerat, en aquest cas, cap mena d'expropiació.
- Servituds: no s'ha considerat cap mena de servitud de pas o aqüeducte.
- Ocupacions temporals: les ocupacions temporals són les franges necessàries per l'execució material de les obres, pel pas de la maquinaria, l'aplec de materials i/o desviaments del trànsit rodat. S'ha considerat d'una amplària de 8.00 metres, repartits als dos costats de la sèquia.

### 5.6. Conceptualització hidràulica

En el nostre cas, per a una sèquia que es projecta amb canaleta prefabricada de formigó del tipus C-1250 i amb un pendent de  $I = 0.0001$  m/m (en el cas del tram estudiat més desfavorable), la corba de capacitat resultant (Fig. 14), tot tenint en compte els vint punts limnimètrics considerats cada 2 cm d'alçada, és la següent en funcionament normal:

Taula 2. Dades dels punts limnimètrics de la sèquia.

Punts	Q (l/s)	h (m)
1	101.2	0.46
2	105.4	0.48
3	115.4	0.50
4	124.8	0.52
5	132.5	0.54
6	138.1	0.56
7	145.3	0.58
8	154.1	0.60
9	167.1	0.62
10	170.6	0.64
11	186.4	0.66
12	196.0	0.68
13	204.0	0.70
14	210.6	0.72
15	218.9	0.74
16	237.7	0.76
17	242.0	0.78
18	252.9	0.80
19	264.2	0.82
20	277.0	0.84
<b>Mitjana</b>	<b>182.21</b>	<b>0.65</b>

La expressió de la corba potencial d'ajust minimoquadràtic per regressió no lineal ("corba de capacitat" de la sèquia) és la següent segons (4):

$$Q = 369.56 \times h^{1.6836}, \text{ on } C_1 = 369.56,$$

amb un  $r = 0.999$  (coeficient de correlació no lineal) i  $R = r^2 = 0.998$  (coeficient de determinació o crític), ambdós valors molt elevats, que posen de manifest la bonesa de l'ajust estadístic portat a terme (correlació perfecta).

Tenint en compte que el pendent és  $I = 0.0001$  m/m, es tindrà:

$$C_0 = \frac{C_1}{78.29 \times I^{0.5}} = \frac{369.56}{78.29 \times \sqrt{0.0001}} = 472.04$$

D'aquesta manera, la "capacitat de la secció" donada per l'expressió (3) serà, en aquest cas:

$$K(h) = C_0 \times h^{n/2} = 472.04 \times h^{1.6836}$$

L'exponent hidràulic de Bakhmeteff (1941) assolirà el valor:

$$n = 1.6836 \times 2 = 3.3672.$$

Gràficament, es representa així:



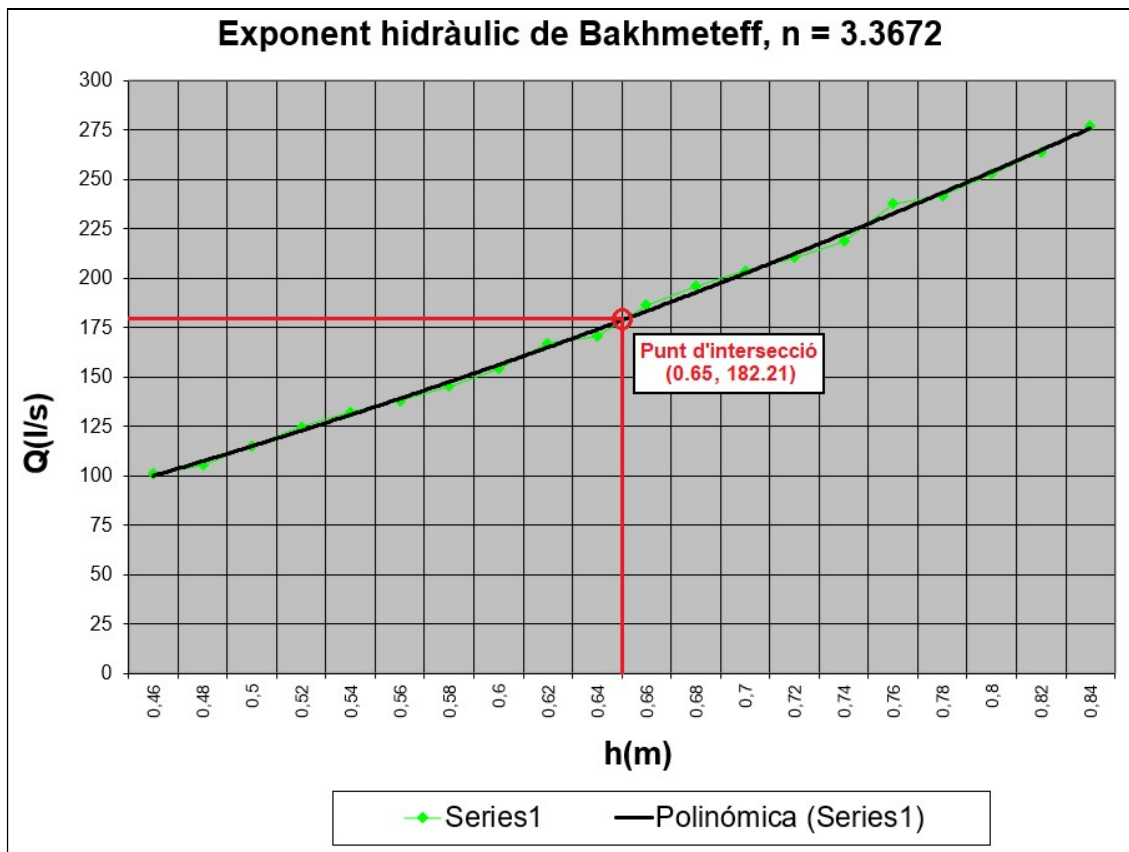


Fig. 14. Corba de capacitat de la sèquia.

## 6. CONCLUSIONS

1a) L'aportació que ara tractem constitueix una continuació dels nostres llibres intitulats “Cinc temes d’Hidrologia i Hidràulica”, “Càlcul hidràulic de les conduccions lliures i forçades” i “Model estadístic de distribució espacial de les sèquies en una zona regable”, publicats respectivament al març del 2003, novembre del 2005 i agost del 2019 sota els auspicis de la Universitat Internacional de Catalunya (UIC), l’Associació d’Enginyers Agrònoms de Catalunya (AEAC) i la Universitat Nacional d’Educació a Distància (UNED), que han gaudit de gran acceptació entre el públic especialitzat.

2a) Contemplem el nostre treball amb el desig de la seva utilitat pràctica, tant per als alumnes i professors de les Escoles Tècniques d’Enginyers i Arquitectes com per als graduats universitaris en l’exercici públic o privat de la seva professió. Els estudiants hi trobaran la manera de resoldre les seves dificultats relacionades amb alguns temes concrets i els professionals el recordatori dels coneixements adquirits i l’obertura de noves perspectives per tal d’aprofundir en altres.

3a) Des de la reflexió i l’estudi de molts anys, però també des de l’exercici lliure de la meua professió d’enginyer i des de la docència que vaig tenir l’honor d’impartir de les assignatures “Hidràulica i Regs” i “Projectes” del Pla d’Estudis de l’Escola Universitària d’Enginyeria Tècnica Agrícola de la Universitat

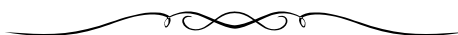
Internacional de Catalunya (UIC), es presenten diverses qüestions relacionades amb la matèria dels regs per gravetat mitjançant sèquies revestides *in situ* o prefabricades, partint del tractament clàssic però també des d'una perspectiva nova i cercant nous plantejaments i solucions.

4a) Les sèquies terrisses a cel obert presenten nombroses deficiències, como ara les pèrdues d'aigua per filtracions, l'elevada despesa de manteniment per la regular eliminació de plantes i despreniments de talussos, l'erosió i trencament de les lleres, l'ocupació d'espai amb perillositat per a persones i animals, la dificultat d'automatització i control, etc.

5a) El revestiment de les sèquies permet el pas d'un cabal d'aigua més gran, aconseguir major cota taquimètrica de la làmina d'aigua mitjançant l'ús dels pendents més adients i la disminució de les pèrdues de càrrega i les filtracions. Altrament, els elements prefabricats de formigó, especialment les sèquies i els seus accessoris (lloses de pas, arquetes, comportes, reixes de cobriment...) han estat les peces clau d'aquesta millora contínua pel que es refereix a la disminució de les despeses de manteniment i la seva automatització i control.

6a) Cal tenir cura, en el disseny de les noves conduccions lliures, de les pèrdues de càrrega que es produeixen a les corbes de la traça i a l'elevació del nivell de la làmina d'aigua al parament exterior o còncav de la sèquia, per tal d'evitar desbordaments i modificacions negatives del seu règim hidràulic, sense oblidar l'estudi específic del fenomen local o transitori d'un flux no uniforme.

7a) El treball presentat es complementa amb un annex fotogràfic del procés constructiu de les sèquies prefabricades de diferents seccions transversals, que és representatiu del sistema de distribució del reg que aquí s'exemplifica i que, junt amb les pertinents referències bibliogràfiques i documentals, pretenen conferir-li un caràcter més il·lustratiu i pràctic.



## REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES I FONDS DOCUMENTALS

ALBACAR, M. A. y FRANQUET, J.M. (2007). “Projecte bàsic i executiu de millora de la sèquia Cava Toll”. Comunitat de Regants – Sindicat Agrícola de l'Ebre. Tortosa.

BAKHMETEFF, B. A. (1932). *Hydraulics of open channels flow*. Ed. McGraw-Hill. 1st edition. New York.

BAKHMETEFF, B. A. (1941). *The Mechanics of Turbulent Flow*. Ed. Princeton University Press.

BAZIN, H. (1897). *Annales des ponts et chaussées* (7).

BIEL, R. (1907). *Druckhöhenverlust bei der Fortleitung tropfbarer und gasförmiger Flüssigkeiten (On the Head Loss in the Transfer of Liquid and Gaseous Fluids)*. Berlin: Julius Springer.

DARCY, H. Y BAZIN, H. (1865). *Recherches hydrauliques entreprises par M. Henry Darcy continuées par M. Henri Bazin. Deuxième partie. Recherches expérimentales relatives au remous et à la propagation des ondes*. Tomo II. Paris, Imprimerie impériale.

FANNING, J. T. (1902). *A practical treatise on hydraulic and water-supply engineering: relating to the hydrology, hydrodynamics, and practical construction of water-works, in North America*. D. Van Nostrand, New York.

FORCHHEIMER, P. (1935). *Tratado de hidráulica*. Ed. Labor, S.A. Barcelona, 1935-1950. 628 p.

FRANQUET, J.M. (2003). *Cinco temas de hidrología e hidráulica*. Ed. Bibliográfica Internacional, S.L. – Universitat Internacional de Catalunya (UIC). Tortosa. 594 p.

FRANQUET, J.M. (2005). *Cálculo hidráulico de las conducciones libres y forzadas (Una aproximación de los métodos estadísticos)*. Ed. Bibliográfica Internacional, S.L. – Universitat Internacional de Catalunya (UIC). Tortosa. 590 p.

FRANQUET, J. M.; ALBACAR, M. A. y TALLADA, F. (2017). “Problemática del río Ebro en su tramo final”. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Colección CADUP Estudios. Tortosa. 350 p.

FRANQUET, J.M. (2019, a). *Dimensionamiento y distribución de las conducciones hidráulicas*. Ed. Centro Asociado de la UNED. Colección Cadup-Estudios. Tortosa. 970 p.

FRANQUET, J.M. (2019, b). *Modelo estadístico de distribución espacial de las acequias en una zona regable*. Ed. Centro Asociado de la UNED. Colección Cadup-Estudios. Tortosa. 150 p.

HAYAT, S. (1965). The variation of Loss coefficient with Froude Number in an Open-Channel Bend. Iowa: University of Iowa. M.S. Thesis. January.

KÜTTER, W. R. (1870). Allgemeine Bauzeitung, 35.

NAUDASCHER, E. (2001). *Hidráulica de canales*. Ed. Limusa (Noriega editores). Colección "Textos politécnicos. Serie construcción". 384 p.

ROUSE, H. (1965). Engineering Hydraulics. John Wiley & Sons.

SCOTT, J. (1844). "Report on waves". *Fourteenth meeting of the British Association for the Advancement of Science*.

STRICKLER, A. (1923). "Sektionschef des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft", Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauigkeitszahl für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. Mitteilungen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft. Bern (Schweizer).

TORRES, J.E. (1970). Apuntes de hidráulica general y agrícola. Primera y Segunda Parte. Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Valencia.

URALITA, S.A. (1966). *Manual general*. Ed. Dossat, S.A. Madrid. 958 p.



## RELACIÓ DE FIGURES

Fig. 1. El delta de l'Ebre.

Fig. 2. Xarxa de reg en el Delta dret.

Fig. 3. Xarxa de reg en el Delta esquerre.

Fig. 4. Planta de la traça en tram corb de una sèquia de reg.

Fig. 5. Diferents formes de la "corba de capacitat" d'una sèquia.

Fig. 6. Secció transversal d'una sèquia de reg en segment circular.

Fig. 7. Ona solitària o solitó en sèquia.

Fig. 8. Sèquia de secció rectangular.

Fig. 9. Sèquia de secció trapezial.

Fig. 10. Sèquia parabòlica elevada sobre pilons.

Fig. 11. Sèquia de secció parabòlica.

Fig. 12. Arqueta de reg.

Fig. 13. Detall de comporta.

Fig. 14. Corba de capacitat de la sèquia.

## RELACIÓ DE TAULES

Taula 1. Alternatives d'execució de les sèquies.

Taula 2. Dades dels punts limnimètrics de la sèquia.

# **ANNEX D'INFORMACIÓ COMPLEMENTÀRIA**

**FOTOGRAFIES DEL PROCÉS CONSTRUCTIU**

**EXTRETES DE FRANQUET (2019, b)**

Foto 1: Canaletes prefabricades dipositades al lateral de la sèquia terrissa antiga.



Foto 2: Preparació i anivellat del seient de la sèquia prefabricada.



Foto 3: Sabates del seient ja encofrades i plenes.



Foto 4: Sabates de cimentació ja enllestides.



Foto 5: Anivellant les graves existents entre les sabates de formigó armat.



Foto 6: Dipòsit de les canaletes al costat de l'obra i el camí.





Foto 7: Detall de la confrontació d'un pont amb la canaleta prefabricada semicircular.



Foto 8: Detall de l'alineació recta de la canaleta prefabricada de formigó armat.



Foto 9: Unió de la canaleta amb un pont. S'ha senyalitzat el nivell per tal de reomplir de formigó la solera del pont per tal que es trobi a la mateixa cota taquimètrica que el fons de la canaleta.



Foto 10: Detall de rampa per a ànecs i d'altres aus anàtids.



Foto 11: Pont amb llosa de formigó armat, de 9 m de longitud i 25 cm de gruix, sobre una sèquia de secció semicircular, per l'accés a finca des del camí de servei.



Foto 12: Detall del recolzament d'una canaleta de secció parabòlica en una sabata.



Foto 13: Pas superior amb llosa de formigó armat a finca sobre sèquia de secció parabòlica.



Foto 14: Comporta metàl·lica de reg en l'arqueta de derivació a parcel·la.



Foto 15: Detall d'arqueta simple de formigó armat amb sortida de tub corrugat a finca.



Foto 16: Detall d'arqueta d'unió de dos trams de sèquia a 90°.



Foto 17: Detall d'arqueta i sengles comportes metàl·liques de regulació i servei a finca.

