

3. ENFOCAMENT DE L'ESTUDI

3.1. Introducció

En aquest capítol s'establiran les bases per a l'estudi experimental de la distribució de cabals en condicions de règim lent. En una primera part es discutirà la possible resolució teòrica del problema, treballant amb algunes de les idees emprades per altres autors en temes similars, exposades en la revisió de l'estat del coneixement.

En la segona part es descriurà detalladament el problema a estudiar, definint les variables involucrades i aplicant un seguit d'hipòtesis simplifícatives que reduiran la complexitat de l'estudi.

3.2. Aplicació al problema del principi de conservació de l'energia

A l'apartat 2.4 s'ha comentat la possibilitat de resoldre xarxes de canals mitjançant el principi de conservació de l'energia, tal com proposa Chaudhry al seu llibre *Open Channel Flow* (1993). Un encreuament tal com el plantejat al present estudi no és més que un cas concret de xarxa de canals, i per tant es podria resoldre mitjançant aquest sistema. No obstant, les característiques peculiars de l'escorrentiu en una xarxa de carrers, especialment pel que fa a l'alta relació d'aspecte que s'hi observa, suposen un desconeixement sobre si aquest mètode reflecteix fidelment el que succeeix en un encreuament de carrers.

El problema principal de l'aplicació d'aquest principi és que l'energia és un valor escalar, i, per tant, no permet considerar la direcció en la que el flux entra a l'encreuament. Així, si es planteja un esquema numèric per resoldre l'encreuament (com el que s'emprarà més endavant, concretament a l'apartat 6.2.1), les característiques del flux al nus es redueixen a un nivell d'energia únic per a tota la massa d'aigua, de tal manera que l'encreuament es considera com un dipòsit. Aleshores, el repartiment de cabals depèn exclusivament de les condicions de contorn aigües avall, ja que no hi ha diferenciació entre la massa d'aigua que entra a l'encreuament en una o altra direcció.

En el cas de canals, on els calats són elevats, no sembla molt desencaminat aproximar que tot el nus presenta un mateix nivell d'energia. Però en el cas que ens ocupa, amb relacions d'aspecte molt més elevades i un seguit de fenòmens bi o tridimensionals originats en el xoc de les dues masses d'aigua, és molt més discutible l'assignació d'un únic nivell d'energia a tot l'encreuament. En base a això, no sembla a priori òptim emprar el principi de conservació de l'energia per a resoldre encreuaments de carrers.

Un cop realitzada la campanya experimental i obtingut el patró de distribució corresponent, es discutirà fins a quin punt aquest plantejament és vàlid per a la resolució del problema (veure apartat 6.1).

3.3. Aplicació al problema del principi de conservació de la quantitat de moviment

Com ja s'ha comentat amb anterioritat, per tal de determinar el comportament de l'escolament en una xarxa de carrers, serà necessari disposar d'un model numèric que resolgui les equacions del moviment variable unidimensionals (o de Saint-Venant) a cadascun dels carrers que la formen. Això no presenta cap problema ja que existeixen mètodes relativament senzills i d'eficàcia provada per fer-ho. El problema és que aquests models no permeten descriure correctament el comportament del flux a l'encreuament, donat que, com s'ha explicat, en aquest no es compleixen les condicions d'unidimensionalitat, de tal manera que cal resoldre'ls d'alguna altra manera.

De l'anàlisi dels plantejaments dels diferents autors per a la resolució del problema de combinació i divisió de flux en unions i bifurcacions, s'observa que en la majoria de casos s'empra el principi de conservació de la quantitat de moviment, a més del de continuïtat i, en moltes ocasions, de campanyes experimentals per verificar la teoria. Per tant, sembla lògic intentar aplicar aquest principi al problema de l'encreuament de carrers. La formulació des del punt de vista de la quantitat de moviment té l'avantatge sobre la basada en la conservació de l'energia que és capaç de considerar la direcció, i per tant sembla més apropiada per l'estudi del nus, on segons s'ha comentat a l'apartat anterior és possible a priori que pugui influir la direcció en la que arriba l'aigua.

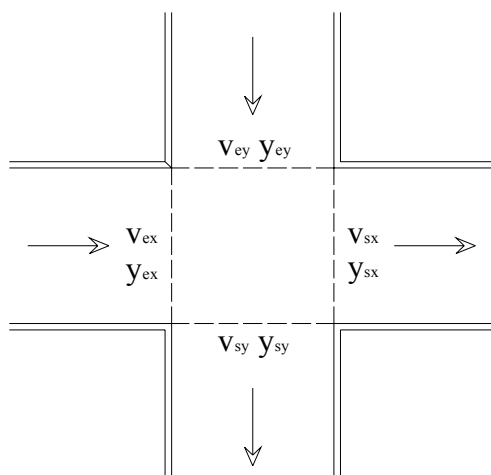


Figura 3-1. Esquema de l'encreuament i incògnites involucrades al problema.

Es considera un encreuament de carrers perpendiculars i d'amples iguals, tal com l'esquematzat a la figura 3-1. Si s'accepta la hipòtesis d'uniformitat, les incògnites del problema són vuit; els calats i les velocitats a la darrera secció dels carrers d'aproximació i a la primera secció dels de sortida. Aplicant el principi de continuïtat podem obtenir una equació:

$$v_{ex}y_{ex} + v_{ey}y_{ey} - v_{sx}y_{sx} - v_{sy}y_{sy} = 0 \quad (3-1)$$

Es poden extreure dues equacions més aplicant el principi de conservació de la quantitat de moviment al volum de control format per la intersecció entre els dos carrers; una per la direcció x i l'altra per la direcció y :

$$\begin{aligned}\frac{B\gamma}{2}(y_{ex}^2 - y_{sx}^2) &= B\rho(v_{ex}y_{ex} - v_{sx}y_{sx}) \\ \frac{B\gamma}{2}(y_{ey}^2 - y_{sy}^2) &= B\rho(v_{ey}y_{ey} - v_{sy}y_{sy})\end{aligned}\tag{3-2}$$

Del mètode emprat en la resolució del flux als carrers (per exemple, el de les característiques rectes explícites) podem extreure quatre equacions més, una per a cadascun dels punts, tenint en compte que el règim als quatre carrers és subcrític. Per tant, es disposa d'un total de set equacions, una menys que el nombre d'incògnites. D'aquesta manera, es pot concloure que l'aplicació del principi de conservació de la quantitat de moviment no permet la resolució teòrica del problema.

És interessant destacar que el principi de conservació de la quantitat de moviment només és vàlid per a resoldre problemes d'unions o bifurcacions quan conflueixen tres carrers, tal com en els casos analitzats a la revisió de l'estat del coneixement. En aquests casos, les incògnites són 6 (2 incògnites a cadascun dels tres carrers), i es disposa també de sis equacions: l'equació de continuïtat, dues provinents del principi de conservació de la quantitat de moviment (una per cada direcció) i 3 equacions que procedeixen del model numèric. Per a nusos amb més carrers confluents (de quatre cap amunt) això no és possible, ja que per a cada nou carrer s'afegeixen 2 incògnites (calat i velocitat) i una única equació (la corresponent al mètode emprat en la resolució del flux als carrers).

3.4. Plantejament experimental de l'estudi

Donat que, com s'ha establert als apartats 3.2 i 3.3, no és possible abordar d'una forma teòrica el problema de repartiment de cabals en un encreuament de carrers, es planteja en aquest treball l'estudi experimental del flux a l'encreuament, de tal manera que es pugui determinar la distribució de cabals a la sortida d'aquest i per tant realitzar el càlcul de la xarxa. Per fer-ho es suposarà que el flux entra en forma unidimensional a l'encreuament i també en surt, la qual cosa s'anomena hipòtesi d'uniformitat.

Com en el cas de canals, en la circulació d'una massa d'aigua per la xarxa de carrers, es pot donar tant flux subcrític com supercrític. El patró de repartiment de cabals per a fluxos en condicions de règim ràpid ja va ser estudiat per Nanía Escobar en la seva tesi doctoral (1999), de la qual, com ja s'ha dit, parteix el plantejament de l'actual tesina. En aquest estudi, doncs, s'estudiarà el flux a l'encreuament en condicions de règim subcrític, emprant el mateix dispositiu experimental que va utilitzar Nanía Escobar variant-ne les característiques necessàries per que es doni el règim lent.

A pesar que el flux que es dona als carrers durant successos de precipitació és variable, l'estudi experimental de la divisió de cabals a l'encreuament es realitzarà en condicions de règim permanent. Aquesta simplificació no serà després un inconvenient per a l'aplicació dels resultats, donat que en els models numèrics per a règim variable es realitza una discretització en el temps i s'espera que la variació del flux en el temps sigui suau, de tal manera que es pot entendre cada pas de temps com un problema en permanent.

3.4.1. Variables involucrades

Existeixen tres grans grups pel que fa a les variables involucrades en un encreuament de carrers: les relatives a la geometria de l'encreuament, les relacionades amb les característiques del flux i les corresponents a les característiques del fluid que hi circula. Les variables que fan referència a la geometria són essencialment les següents:

- Ample dels carrers d'entrada a l'encreuament en les dues direccions (b_{ex} i b_{ey}).
- Ample dels carrers de sortida de l'encreuament en les dues direccions (b_{sx} i b_{sy}).
- Angle que formen els eixos dels dos carrers (θ).
- Coeficient de Manning dels carrers i de l'encreuament (n).
- Grau de suavització de les cantonades (δ).

D'altra banda, les variables hidràuliques que caracteritzen el flux són:

- Velocitats mitges del flux a l'entrada en ambdues direccions (v_{ex} i v_{ey}).
- Velocitats mitges del flux a la sortida en ambdues direccions (v_{sx} i v_{sy}).
- Calats mitjos del flux a l'entrada en ambdues direccions (y_{ex} i y_{ey}).
- Calats mitjos del flux a la sortida en ambdues direccions (y_{sx} i y_{sy}).

Tant aquestes últimes variables com les relatives a la geometria de l'encreuament es poden apreciar a la figura 3-2.

Pel que fa a les propietats del fluid, cal considerar:

- Densitat (ρ).
- Viscositat dinàmica (μ).

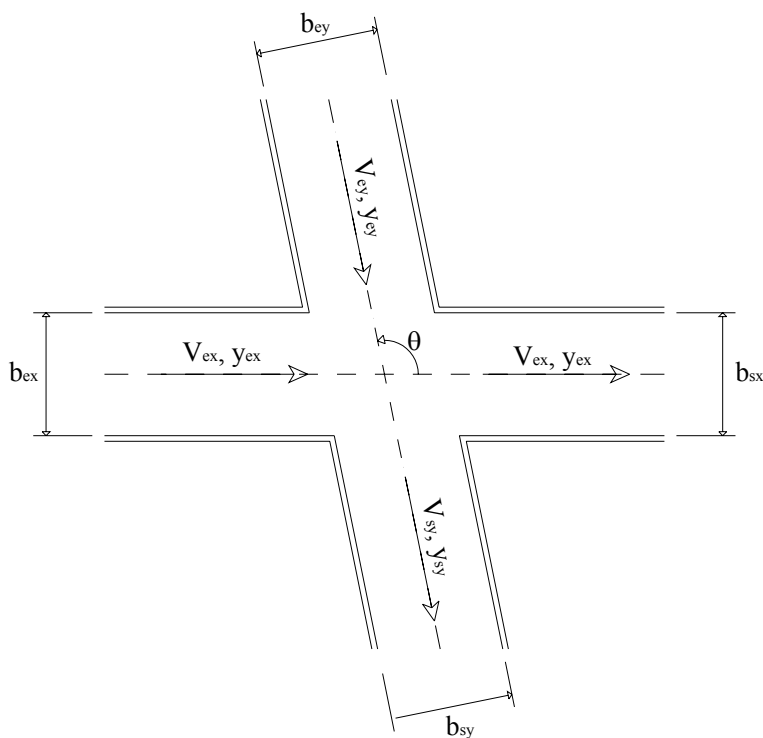


Figura 3-2. Esquema d'un encreuament de carrers genèric, amb les variables geomètriques i hidràuliques que el defineixen.

Tal com exposa Nanía Escobar (1999), es pot realitzar un anàlisi dimensional que demostra que existeix, per al cas més general, una relació entre totes les variables esmentades:

$$f\left(\frac{Q_{ex}}{Q_{ey}}, \frac{Q_{sx}}{Q_{sy}}, F_{ex}, F_{ey}, R_{ex}, R_{ey}, \frac{b_{ex}}{b}, \frac{b_{sx}}{b}, \frac{b_{ey}}{b}, \frac{b_{sy}}{b}, \frac{y_{sx}}{b}, \frac{y_{sy}}{b}, \theta, \frac{n}{b^{1/6}}, \delta\right) = 0 \quad (1-3)$$

On Q_{ex} i Q_{ey} són els cabals d'entrada en les direccions x i y , Q_{sx} i Q_{sy} els cabals de sortida corresponents, F_{ex} i F_{ey} són els números de Froude del flux a la entrada en les dues direccions, R_{ex} i R_{ey} els números de Reynolds a l'entrada de l'encreuament en les direccions x i y , mentre que b és una longitud característica necessària per adimensionalitzar les variables. Cal esmentar que és igualment vàlid utilitzar qualsevol altra combinació que consideri totes les variables del flux, i de fet durant l'anàlisi dels resultats experimentals s'empraran combinacions de les variables esmentades.

En general, es considera que el flux presenta un elevat grau de turbulència (números de Reynolds alts), de tal manera que la influència de R_{ex} i R_{ey} es pot considerar menyspreable. D'aquí en endavant, per tant, no es consideraran com a variables del problema.

3.4.2. Hipòtesis simplificatives

Com que el dispositiu experimental on s'ha dut a terme la campanya experimental és el mateix que es va fer servir per als estudis de Nanía, s'han assumit les mateixes hipòtesis simplificatives relatives a la geometria que en el seu treball. Aquestes són:

- L'angle en planta dels carrers que formen l'encreuament és de 90° . Aquesta hipòtesis es basa en el fet que normalment els encreuaments de carrers tendeixen a ser en angle recte, o en el seu defecte, en angles que s'aproximen bastant a aquest. En el cas de flux subcrític, que és el que ens ocupa, aquesta variable perd possiblement importància, donat que l'aigua circula a una menor velocitat, i per tant l'efecte que una massa d'aigua empenyi l'altre en una determinada direcció no serà tant accentuat com en el cas de règim ràpid, on s'assolien velocitats elevades.
- L'ample dels carrers serà constant i igual en tots ells ($b_{ex} = b_{ey} = b_{sx} = b_{sy} = b$). L'assumpció que el carrers d'entrada i de sortida en una mateixa direcció presenten el mateix ample és prou lògica tenint en compte que la majoria de carrers presenten un ample similar a cantó i cantó de l'encreuament per facilitar el tràfic. En canvi, la hipòtesis d'igualtat d'amples en direccions perpendiculars és més agosarada i sens dubte no s'acomplirà en molts casos. D'aquesta manera, l'estudi del comportament del flux en condicions de règim lent i per a amplex diferents queda per a propers estudis.
- La superfície formada per la intersecció dels carrers es considera horitzontal. Aquesta suposició s'assumí bàsicament per facilitar constructiva del model, i també per la dificultat de caracteritzar l'encreuament de qualsevol altra manera.
- Les cantonades estan formades per l'aresta de la intersecció dels plans verticals que formen els calaixos dels carrers, sense considerar xamfrans ni suavitzacions de cap tipus. Aquesta hipòtesis s'assumí també per facilitar constructives i per ser la tipologia més generalitzada, però és molt probable que influeixi decisivament en el repartiment de cabals, sobretot pel que fa a la cantonada que actua com a

partidora del flux (cantonada inferior dreta a la figura 3-2). L'estudi de la influència de la suavització de les arestes també resta pendent per a futurs desenvolupaments.

Com que tots els assaigs es realitzaren al mateix dispositiu, que respon a les hipòtesis plantejades, és possible eliminar de l'anàlisi els paràmetres referents a la geometria de l'encreuament δ , b_{ex} , b_{ey} , b_{sx} , b_{sy} , n i θ .

Pel que fa a les variables hidràuliques que caracteritzen el flux, cal recordar que aquesta tesina es centra en l'estudi de la distribució de cabals en condicions de règim lent. Per tant, caldrà considerar tant les condicions de contorn aigües amunt com aigües avall. A priori, el que sembla més lògic és considerar com a condicions de contorn aigües amunt els cabals d'entrada en les dues direccions (Q_{ex} i Q_{ey}), i aigües avall els calats als carrers de sortida x i y (Q_{sx} i Q_{sy}). A més, per continuïtat es pot establir que $Q_{ex} + Q_{ey} = Q_{sx} + Q_{sy} = Q_T$, de tal manera que no cal incloure tots quatre cabals. Tenint en compte totes les simplificacions efectuades, la distribució de cabals en un encreuament de carrers a 90° en condicions de règim subcrític es pot representar mitjançant una funció del tipus:

$$f\left(\frac{Q_{ex}}{Q_T}, \frac{Q_{sx}}{Q_T}, \frac{y_{sx}}{b}, \frac{y_{sy}}{b}\right) = 0 \quad (3-4)$$

A partir d'aquest raonament es realitzaran assaigs amb diferents condicions del flux, tant pel que fa a les condicions de contorn aigües avall com aigües amunt, per tal d'intentar establir relacions funcionals entre aquests paràmetres.