

COMPORTAMENT DELS LLITS FLUÏDITZATS NATURALS A L'ESTANY DE BANYOLES

E. Roget i X. Casamitjana

Departament de Física i Institut d'Ecologia Aquàtica. Col·legi Universitari de Girona (UAB). Hospital, 6. 17071-Girona.

RESUM

A Banyoles, el sòlid en suspensió de les zones de surgència de l'estany es pot descriure com a llit fluïditzat. Presenta una fenomenologia complexa: disminucions de la densitat global del llit que no es corresponen amb un augment de la porositat, porositats menors per cabals d'alimentació més grans, etc. Tanmateix, un estudi de la composició del llit i dels fenòmens de segregació i de sedimentació permet explicar-la. D'altra banda, en aquest article es considera la història del llit com a element selector de la seva pròpia evolució. També es prenen en consideració altres fenomenologies com la dependència de la porositat en l'expansió del llit.

RESUMEN

El sólido en suspensión de las zonas de surgencia del lago de Banyoles puede describirse como un lecho fluidizado. Éste presenta una fenomenología compleja: disminuciones de la densidad global del lecho que no se corresponden con un aumento de la porosidad, porosidades menores con caudales de alimentación mayores, etc. Sin embargo, un estudio de la composición del lecho y de los fenómenos de segregación y de sedimentación permite explicarla. También se considera en este artículo la historia del lecho como elemento selector de su propia evolución. También se toman en consideración otros comportamientos como la dependencia de la porosidad en la expansión del lecho.

ABSTRACT

The solid in suspension at the upflowing underground sources in the bottom of Banyoles lake (Spain) can be described as a fluidized bed. However, because of its non homogeneous composition (mainly limestones, gypsum and marls with a mean diameter of the order of 15 μ m), its behaviour is complex: the total density can decrease even though porosity doesn't increase, a higher influx doesn't mean for sure a lower porosity and so on. However, a systematic study of the bed composition and the segregation and sedimentation processes allow us to explain these behaviours. Otherwise, in this article, the history of the bed is considered as a selector element of its own evolution. Other phenomenologies as dependence of the bed expansion on the porosity are considered too.

Key words: Banyoles lake, freatic upflow, natural suspension, fluidized bed.

LLITS FLUÏDITZATS CONFINATS A LES ZONES DE SURGÈNCIA DE L'ESTANY

Quan un fluid ascendent té una velocitat tal que manté en suspensió i en completa llibertat de moviment un conjunt de partícules sense arrossegar-les, es parla d'un llit fluiditzat (Davison & Harrison, 1971). En general, quan el fluid és un líquid, es dona l'anomenada fluidització particulada, en la qual les partícules es troben uniformement distribuïdes en el fluid. Aquest cas és el que es dona a les zones de surgència subterrànies de l'estany de Banyoles, on l'aigua que entra pel fons manté en suspensió els sòlids procedents de l'erosió dels aqüífers. Aquests sòlids queden confinats a les zones d'alimentació freàtica aprofitant la seva morfologia (Moreno-Amich & Garcia-Berthou, 1987) en forma d'embut. Quan la velocitat del fluid augmenta, el llit s'expandeix asso-

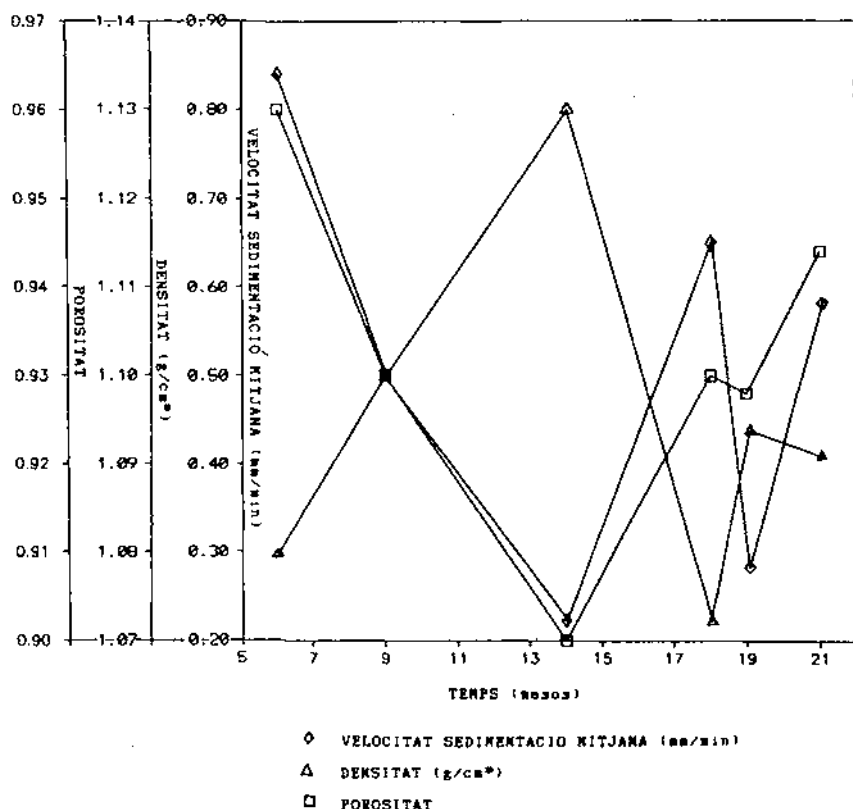


Figura 1. Representació de la velocitat de sedimentació mitjana del sòlid en suspensió, de la porositat i de la densitat global del llit fluiditzat de la surgència VII des del maig de 1986 (representat a abscisses amb el nombre 5) fins al setembre de 1987 (nombre 21).

l'ent un altre estat de fluïdització, on la fracció volumètrica del fluid (ϵ : volum ocupat per l'aigua per unitat de volum total) és major que la d'abans. Lògicament, a aquest nou estat li correspon una densitat global (ρ) inferior a l'anterior, ja que

$$1) \quad \rho = \rho_s (1-\epsilon) + \rho_w,$$

on ρ_s i ρ_w són les densitats del sòlid i de l'aigua respectivament, i ϵ és la ja nomenada fracció volumètrica del fluid. Aquest comportament és l'observat, per exemple, a la surgència VII, tal com es veu a la Figura 1, on a un augment de la velocitat correspon un augment de la porositat i, consegüentment, una disminució de la densitat total.

SOBRE ELS SÒLIDS EN SUSPENSÍO

Un estudi fet a partir de mostres extretes de les diferents surgències en diferents èpoques dels anys 1986-1987 permet parlar d'una densitat mitjana del sòlid en suspensió comuna a les diferents zones d'alimentació tal com es dedueix de la representació de la densitat total en funció de la porositat. Segons 1, el pendent de la recta es correspon amb la densitat del sòlid menys la de l'aigua, i l'ordenada a l'origen amb la primera d'aquestes. Així tenim que la recta que millor s'ajusta als punts experimentals (Fig. 2) és $\rho = -1,558 \epsilon + 2,559$,

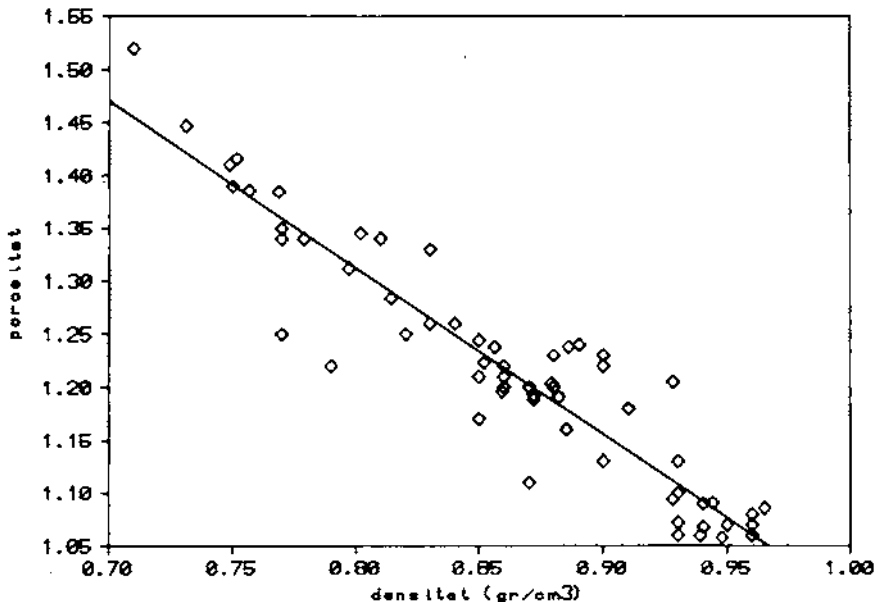


Figura 2. Densitat global en funció de la porositat de mostres extretes de diferents surgències i en èpoques diferents.

d'on deduïm que la densitat mitjana del sòlid és $2,6 \text{ gr/cm}^3$. El coeficient de correlació és 0,9. Els punts que més es desvien de la recta mitjana corresponen a una densitat del sòlid de $3,8 \text{ gr/cm}^3$ a la surgència VI el 17 de juliol de 1987 i de $3,46$ a la I el primer de juny de 1987 com a valors màxims, mentre que els mínims són de mostres preses el 2 de febrer de 1987 a la I, amb una densitat de $1,9 \text{ gr/cm}^3$ i a la III amb $1,8 \text{ gr/cm}^3$.

SEDIMENTACIÓ D'UNA PARTÍCULA EN UNA SUSPENSIO

A la Figura 1 hem representat la velocitat amb què entra l'aigua per la surgència VII. De fet, però, aquesta velocitat no es mesura directament, sinó que el que mesurem és la velocitat de sedimentació mitjana (v_{sm}) de les partícules en les condicions en què es troben a l'estany. Aquesta velocitat és, en una situació estacionària, igual a la component vertical de la velocitat de l'aigua freàtica (u). Per aquest motiu, el coneixement de la velocitat de sedimentació mitjana de les partícules en cada ocasió és important, ja que permet el càlcul dels cabals d'entrada subterranis (Roget & Casamitjana, 1986), i per això, abans de continuar, farem unes consideracions sobre aquesta.

La velocitat de sedimentació d'una sola partícula en un fluid en règim laminar és l'anomenada velocitat de Stokes (v_s), que és igual a:

$$2) \quad v_s = (m'g)/\alpha,$$

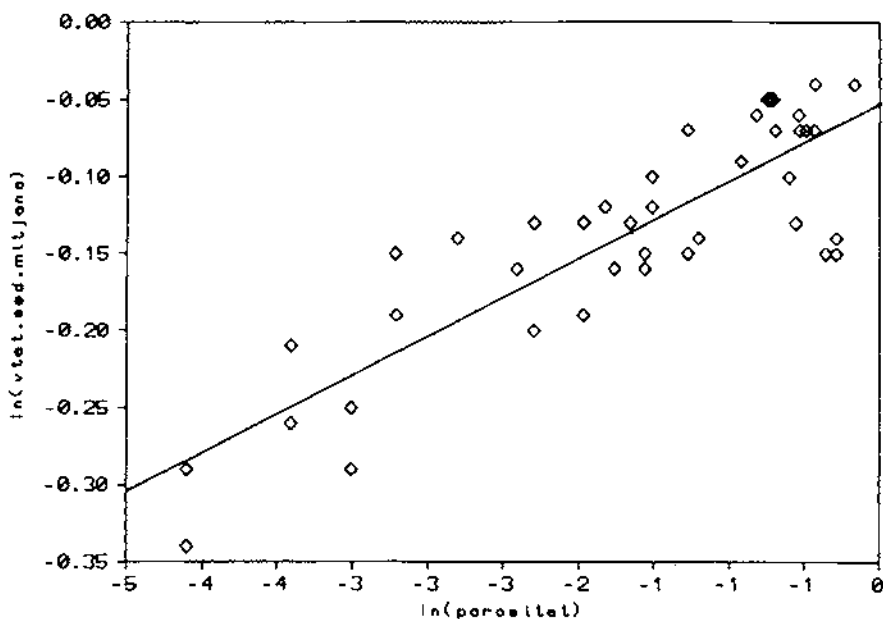


Figura 3. Ajustament lineal del logaritme de la velocitat de sedimentació mitjana en funció del logaritme de la porositat per a mostres obtingudes de diferents surgències en èpoques diferents.

on m' és la massa aparent de la partícula dins el fluid, g l'acceleració de la gravetat i α el coeficient de resistència. Per al cas de partícules esfèriques, $\alpha = 6\pi\eta r$ i $m' = (4\pi r^3 (\rho_s - \rho_w))/3$, on r és el radi de la partícula i η la viscositat del fluid. Per fraccions de volum d'ocupació de les partícules de l'ordre de l'1%, la velocitat de sedimentació de cada una ja és considerablement més petita que l'esmentada v_s . Per tant, per al sediment en suspensió de l'estany, amb volums d'ocupació del sòlid del 2% al 25%, haurem de tenir en compte aquest fenomen degut a les interaccions hidrodinàmiques entre diferents partícules, el qual ve descrit per la relació:

$$3) \quad v_{sm} = v_s \epsilon^n,$$

on ϵ és la fracció volumètrica del fluid i n una constant a considerar (Richardson & Zaki, 1954).

De la representació de $\ln v_{sm} = \ln v_s + n \ln \epsilon$, deduïda a partir de 3, es pot fer una valoració de la velocitat a què sedimentaria una partícula tipus en una dissolució infinita (v_s), i també de la n . A la Figura 3 es pot veure aquest ajustament (amb un coeficient de correlació de 0,8) d'on trobem que $n = 0,05$ i $v_s = 0,95$ mm/min.

DESVIACIONS DEL COMPORTAMENT IDEAL

Una densitat menor no ha de correspondre necessàriament a una porositat major

Dispersions en el temps de la densitat mitjana del sòlid en suspensió, (ρ_s) com les representades a la Figura 2, expliquen que les variacions de la densitat total per a una mateixa surgència no siguin proporcionals a les variacions de porositat, tal com deduiríem derivant l'expressió 1:

$$4) \quad \Delta \rho = (\rho_w - \rho_s) \Delta \epsilon$$

Efectivament segons 4, si la densitat del sòlid canvia, la variació de la densitat total amb la porositat ja no és constant.

Aquesta no-proporcionalitat queda reflectida a la Figura 1. Un altre exemple per a la surgència I seria

$$\begin{aligned} 1.6.87 / \rho &= 1,086 \text{ gr/cm}^3 / \epsilon = 0,965 \\ 14.7.87 / \rho &= 1,060 \text{ gr/cm}^3 / \epsilon = 0,939 \end{aligned}$$

Una porositat menor del llit no vol dir necessàriament que la v_{sm} sigui menor

Com ja hem dit, podem parlar de valors mitjans de la densitat del sòlid de 2,6 gr/cm^3 , d'una velocitat de sedimentació v_s de 0,95 mm/min i d'una $n = 0,05$. D'altra banda, el radi (r) d'una partícula esfèrica d'igual secció equatorial que

la mitjana de les partícules es troba que és quasi constant en la fondària, i de l'ordre de 6 μm (Roget, 1987).

Amb aquestes dades podem fer una discussió del comportament de v_{sm} . Així, de 3 tenim:

$$5) (\Delta v_{sm}/\Delta \epsilon) = n v_s \epsilon^{n-1}.$$

D'altra banda, de 2 i 3 tenim:

$$6) (\Delta v_{sm}/\Delta \rho_s) = (4 r^2 (\rho_s - \rho_w) g \epsilon^n) / 18 \pi \eta$$

Si ara substituïm els valors mitjans abans esmentats, tenim:

$$7) \Delta v_{sm}/\Delta \epsilon = 0,05 \epsilon^{n-1}$$

$$8) (\Delta v_{sm}/\Delta \rho_s) = 0,2 \epsilon^n,$$

quan la v_{sm} és en mm/min i la ρ_s en gr/cm^3 . Per fer aquests càlculs hem pres una viscositat efectiva de la suspensió igual a 10 cp, tot i que, naturalment, aquesta dependrà de les característiques de la suspensió (ϵ , ρ_s , etc.) i de la temperatura.

Segons el que acabem de veure, a la velocitat de sedimentació mitjana l'afecten més les variacions de la densitat del sòlid que les de porositat, per dos motius. Primerament, a l'estany trobem que la densitat del sòlid varia fins a 1 gr/cm^3 , mentre que, com a màxim, tenim variacions de porositat de 0,2. En segon lloc observem també de 7 i de 8 que, per a una mateixa porositat, $(\Delta v_{sm}/\Delta \epsilon) < (\Delta v_{sm}/\Delta \rho_s)$. Conseqüentment, doncs, les variacions de ρ_s influeixen més en les variacions de v_{sm} que les de ϵ .

Així, per exemple, a la Figura 1 veiem que la porositat pel maig del 1986 és tres centèsimes superior que pel juny del 1987, per la qual cosa, segons 7, això correspondria a una variació de la v_{sm} de 0,002 mm/min , mentre que s'hi observa un Δv_{sm} de 0,19 mm/min . Si ara tenim en compte la densitat mitjana del sòlid fluiditzat en cada cas, trobem una diferència d'1 gr/cm^3 , per la qual cosa de 8 tindrem una variació de la v_{sm} de 0,2 mm/min , d'acord amb el que s'ha observat realment.

De la mateixa manera la porositat pel setembre del 1987 és superior que pel juliol, cosa que implica $v_{sm6} > v_{sm5}$, però també aquí $\rho_{s6} = 2,63 > \rho_{s5} = 2,30$. Per tant, amb més raó, $V_{sm6} > V_{sm5}$.

Cal recordar que la discussió anterior és feta utilitzant valors de mitjana que poden variar força per una situació particular. Per tant, si bé els càlculs proposats ens permeten sempre fer una discussió de l'ordre de magnitud de les variacions de la velocitat de sedimentació mitjana de les partícules, les dades experimentals poden no coincidir amb els resultats numèrics com ho fan a l'exemple considerat. Tanmateix, en un cas general, sempre és veritat que

$$9) \Delta v_{sm} = K \epsilon^n \Delta \rho_s + K' \epsilon^{n-1} \Delta \epsilon,$$

on K i K' depenen de la porositat del llit i de la seva composició (mides, densitats i formes de les partícules) per a cada cas particular.

Inhomogeneïtat d'un llit fluiditzat en el procés de sedimentació

En un procés de sedimentació d'un llit fluiditzat amb partícules de diferents mides i densitats, es poden observar diferents regions a l'interior de la suspensió. A la zona inferior del llit hi ha totes les espècies de partícules, mentre que en la regió superior ja no hi ha partícules de les que sedimenten més de pressa.

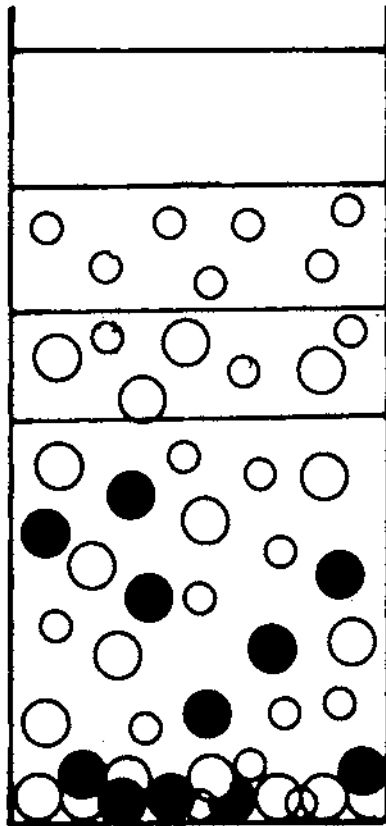


Figura 4. Procés de sedimentació d'una suspensió tridispersiva.

Taula 1. Densitat global, porositat i densitat del sòlid a la surgència I a diferents fondàries el 18 de setembre de 1987.

Fondària (m)	Dtat. total (gr/cm ³)	Porositat	Dtat. sòlid (gr/cm ³)
28	1,058	0,950	2,162
40	1,065	0,950	2,309
50	1,069	0,950	2,406
62	1,074	0,948	2,430

De fet, en una dispersió discreta de mides cada regió successiva conté una espècie menys que la regió immediatament inferior, tal com es representa esquemàticament a la Figura 4. Així, en un estudi fet de la densitat del sòlid per la surgència I el 18 de setembre, quan el llit s'havia contret mig metre respecte del mes anterior (Δ volum \approx 30.000 m³), a partir de diferents mostres extretes per cada fondària estudiada, es pot deduir una estructura d'aquest tipus, ja que s'observa una graduació successiva de la densitat mitjana del sòlid, tal com s'indica a la Taula 1.

La segregació, causa de comportaments menys predictibles

Una distribució no homogènia en la fondària no s'ha de considerar només com a indicació d'un procés de sedimentació (canvi d'un estat fluïditzat del llit cap a un altre amb porositat inferior). En contrast amb les suspensions monodispersives, les partícules en un sistema polidispersiu tenen un moviment relatiu, les unes respecte de les altres, com a resultat de la gravetat. Si aquest moviment relatiu acosta suficientment dues partícules, aquestes formaran doblers permanents a causa de les forces atractives de Van der Waals que actuen entre elles (Davis & Acrivos, 1985). Aquest és l'anomenat fenomen de segregació. Aquest fet pot donar-se després entre doblers, i així successivament, arribant-se a formar veritables masses semifluïditzades que presenten un comportament més arbitrari, tal com es pot comprovar a partir d'experiències de laboratori. Concretament s'ha treballat amb una columna vertical de 140 cm d'alçada i 10 cm de diàmetre que contenia sòlid extret de les surgències de l'estany, i alimentada per la seva part inferior amb cabals regulats amb una bomba peristàltica. En haver-hi una dispersió de la v_s de les diferents partícules, la transició de llit fix a fluïditzat té lloc de forma gradual, de manera que per a una certa gamma de velocitats una part del llit està fluïditzada, coexistent amb zones encara fixes (Casal, 1984). En procedir a la fluïdització d'un d'aquests sistemes, a mesura que la velocitat del fluid augmenta, comencen a fluïditzar-se les capes superiors, formades (de resultes de la sedimentació precedent) per les partícules més petites o lleugeres, i gradualment s'anirà fluïditzant la resta del llit. Concretament, alimentant la columna amb un cabal de 1100 m³/h (una velocitat ascendent de 14 cm/hora), es van obtenir els resultats indicats a la Figura 5. A la figura, la línia amb triangulets representa el límit superior de la suspensió, la qual varia en el temps, representat sobre l'eix

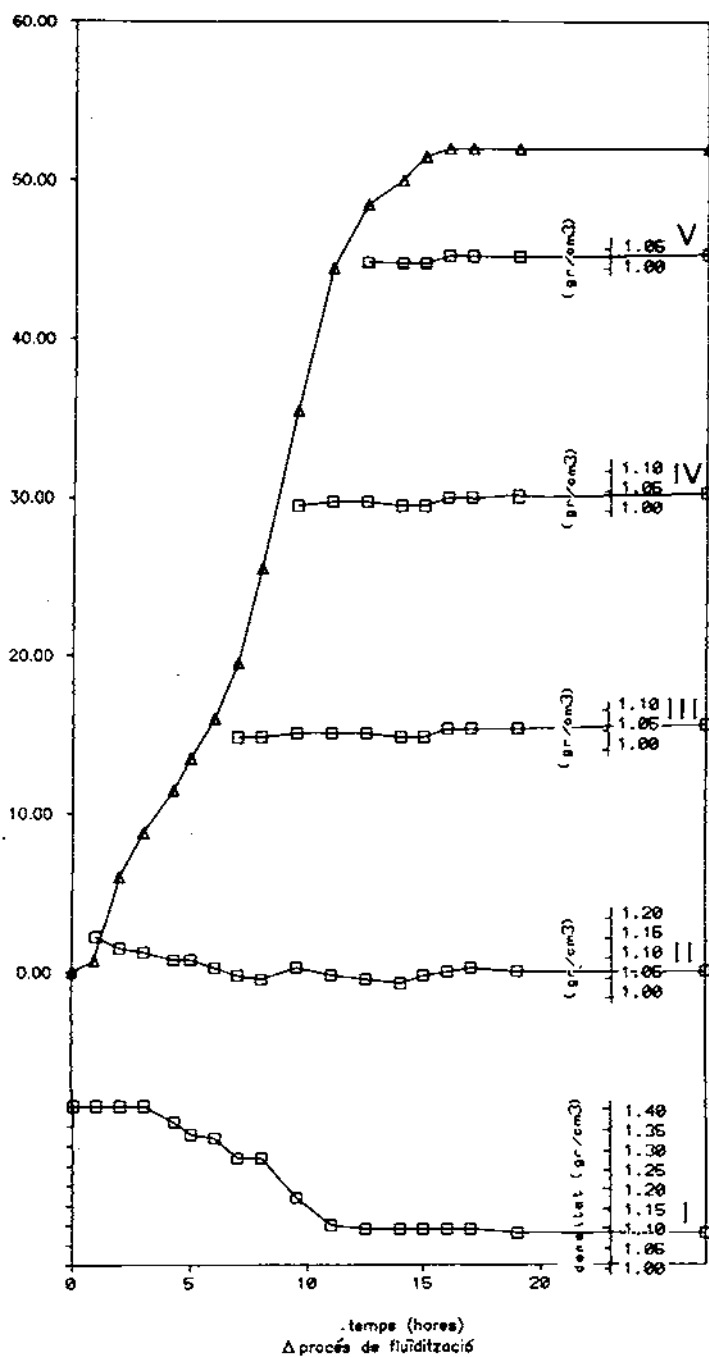


Figura 5. Representació d'un procés de fluidització fet al laboratori a partir d'un llit fix de sòlid procedent de les suspensions de les zones de surgència de l'estany.

Taula 2. Densitat global, porositat i densitat del sòlid a la surgència VII a diferents fondàries el 18 de setembre de 1987.

Fondària (m)	Dtat. total (gr/cm ³)	Porositat	Dtat. sòlid (gr/cm ³)
24	1,086	0,936	2,364
28	1,108	0,923	2,405

d'abscisses. Les mesures de densitat s'han realitzat a diferents localitzacions de la vertical de la columna, les quals disten 15 cm l'una de l'altra. Aquestes zones d'extracció de mostres s'indiquen a la part dreta de la figura amb nombres romans sobre la direcció vertical. Dels valors obtinguts es veu que durant les dues primeres hores hi ha una fluïdització molt lenta a la part superior, la qual augmenta durant les 6 hores següents, en les quals la velocitat a què es desplaça la interfase no varia considerablement, fins a establitzar-se totalment en les darreres quatre hores. Durant les primeres cinc hores no s'aprecien variacions de la densitat a I, que varia a poc a poc en les cinc següents, en les quals la interfase continua pujant. A II, la densitat baixa i assolix un mínim de 1,04 gr/cm³. Naturalment, una baixada de la densitat a I vol dir un transport net de massa que es reflectirà en un augment de la densitat a II, que passa de 1,04 a 1,07 gr/cm³. Si a la Figura 5 ens fixem amb els màxims de densitats de les zones III, IV i V, podem seguir com aquesta massa es distribueix al llarg de la columna. Un fenomen anàleg al descrit és l'indicat pel segon pic de densitat que es veu a II, i que també es troba més tard a les altres zones d'extracció. En el darrer cas, no s'observa cap variació de la densitat a I, si bé necessàriament aquesta haurà hagut de disminuir a la zona de 15 cm compresa entre I i II, en la qual no és possible realitzar cap mesura de densitat.

L'expansió del llit es va alentint a partir de l'hora 13, fins a assolir un estat fix sis hores més tard. A partir d'aquí s'observen redistribucions molt lentes del sòlid a l'interior de llit, tal com vénen a indicar les variacions de densitat a les zones d'observació.

Una nova baixada de la densitat a I aniria seguida d'una nova expansió del llit. Aquest desprendiment de les partícules de sòlid de la massa semifluïditzada del fons respon a criteris diversos com ara fluctuacions del cabal, vibracions, etc. i, per tant, de difícil previsió, tant al laboratori com a l'estany. Me-

Taula 3. Valors de densitat global, de porositat i de densitat del sòlid per a dos estats estacionaris diferents obtinguts al laboratori amb sòlid procedent dels llits de l'estany.

Alçada sobre la base (cm)	Experiència A			Experiència B		
	ρ (gr/cm ³)	ϵ	ρ_s (gr/cm ³)	ρ (gr/cm ³)	ϵ	ρ_s (gr/cm ³)
45	-	-	-	1,04	0,96	2,00
30	1,03	0,96	1,79	1,04	0,96	2,00
15	1,04	0,96	2,05	1,05	0,95	2,00
0	1,12	0,90	2,22	1,08	0,94	2,33

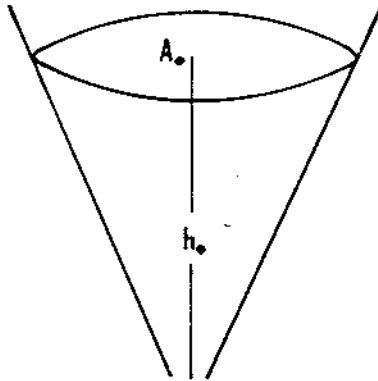


Figura 6. Idealització matemàtica d'una surgència amb sòlid amb suspensió.

sures anàlogues a les de la Taula 1 per a la surgència VII són presentades a la Taula 2. En aquesta veiem els valors mitjans de densitat a 24 metres de fondària (dos metres per sota de la interfase) i quatre metres més avall, només mig metre per sota d'un estrenyiment important de la surgència, que no permet extreure mostres a més profunditat. La diferència de densitat és notable entre un punt i l'altre, i respon a una situació anàloga a la descrita a l'experiment comentat anteriorment.

Diferents situacions estacionàries obtingudes al laboratori per a un mateix cabal a partir de diferents condicions inicials són les presentades a la Taula 3.

DIFERENTS RESPOSTES DEL LLIT DAVANT UNA MATEIXA VARIACIÓ DE CABAL

Una altra observació que sembla que trenca el comportament lògic dels llits fluïditzats de les surgències té a veure amb la variació en la localització de la interfase. Així, a la surgència I veiem que variacions considerables de la fondària de la interfase corresponen a variacions molt minses de la porositat, diferentment del que passa en altres surgències. Això és degut que, com veurem, el desplaçament de la interfase és inversament proporcional a $(1-\epsilon)$, de manera que, per a una mateixa variació de la porositat, la variació en la localització de la interfase serà més gran com més gran sigui la porositat inicial.

Suposem una surgència amb sòlid en suspensió en forma de con invertit, d'una fondària h_0 i d'una superfície límit superior d'àrea \dot{A} (Fig. 6), de manera que el volum total del llit fluïditzat sigui $Ah_0/3$. Llavors, si la porositat del llit és ϵ_0 , i el volum d'una partícula v_1 , tindrem:

$$10) \quad Ah_0/3 = N v_1 + Ah_0 \epsilon_0/3,$$

on N és el nombre total de partícules. Per a una situació qualsevol

$$11) \quad Ah/3 = N v_1 + \dot{A}h \epsilon/3,$$

d'on

$$12) (\Delta h/\Delta \epsilon) = (3 N v_1)/(A(1-\epsilon)^2);$$

i com que de 10 tenim $(3 N v_1)/A = h_0 (1-\epsilon)$, llavors:

$$13) (\Delta h/\Delta \epsilon = h_0 (1-\epsilon)^{-1}.$$

Si $\epsilon = 0,95$, $(1-\epsilon)^{-1}$ val 20, mentre que si $\epsilon = 0,90$, $(1-\epsilon)^{-1}$ val 10. Per tant, per a una mateixa h_0 es té que estats de fluïdització que difereixen en porositat en només cinc centèsimes presenten expansions que difereixen en un factor 2. Si a més a més es té en compte que una h_0 tipus per a la surgència I és de l'ordre de 30 m, mentre que per a la VII, per exemple, h_0 és de 4 m, es reforça molt més la fenomenologia comentada en aquest apartat. Concretament, per a la

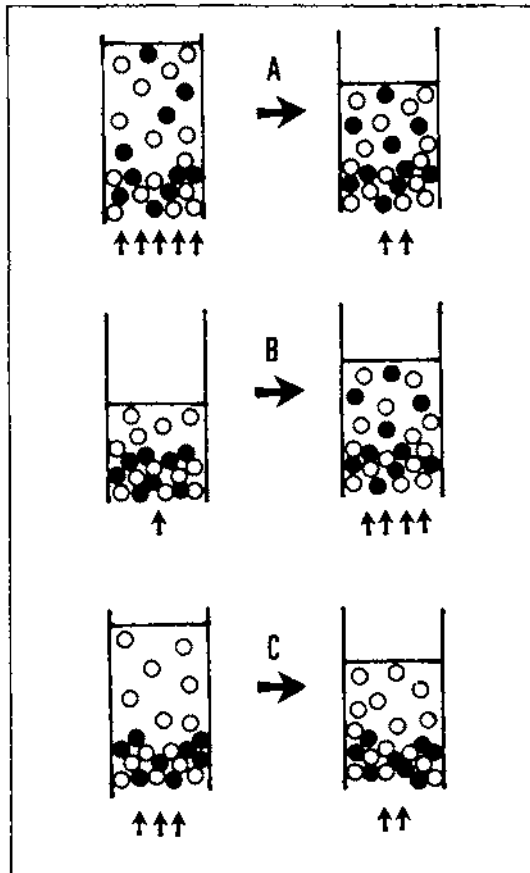


Figura 7. Canvis d'estats de fluïdització per a un llit bidispersiu que il·lustren el paper que té la història del llit mateix en el seu futur.

primera cubeta s'observa que, efectivament, una variació de la porositat de 0,01 pot correspondre a una variació de 1,5 metres en la situació de la interfase entre la suspensió i l'aigua immediatament superior, tal com es dedueix de 13.

LA HISTÒRIA DEL LLIT INFLUEIX EN LA SEVA EVOLUCIÓ

Les coses dites anteriorment ressalten la importància de la història del llit. Formulem aquí de manera més gràfica (Fig. 7) aquest fet.

Suposem un llit fluïditzat compost de partícules de dues densitats diferents (representades al dibuix per rodones blanques i negres), que és mantingut en estat de fluïdització amb l'aportació d'aigua per la seva part inferior a una velocitat determinada (representada per una fletxa vertical) o a una altra doble d'aquesta, o triple, etc. (representades per dues, tres etc. fletxes). Considerem en tots els casos que no tot el sòlid està fluïditzat (tal com es veu als dibuixos). Llavors A, B i C representen tres processos d'evolució del llit a partir de tres estats macroscòpicament i microscòpicament diferents, en els quals s'assoleix un mateix estat macroscòpic. Tant A com C són processos de sedimentació, però difereixen en el fet que a A, el cabal inicial era suficient per aixecar les partícules pesades, però no així a C. De l'estat final de C inferim que el cabal representat per dues fletxes no és suficient per aixecar les partícules grans, mentre que a l'estat final del procés A, aquestes estan fluïditzades.

Així doncs, veiem que s'assoleix un o un altre estat microscòpic, compatible amb el mateix estat macroscòpic dependent de la seva història immediatament anterior. D'altra banda, veiem que un mateix estat macroscòpic i microscòpic pot assolir-se a partir de condicions diferents tal com es dedueix de B i d'A.

L'exposat fins aquí il·lustra, doncs, un xic més la dinàmica de les suspensions de les zones de surgència a l'estany, i explica fenomenologies macroscòpiques que en principi semblen irreconciliables.

Bibliografia

- CASAL, J. (1984). *Contribució a l'estudi de la fluïdització homogènia*. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.
- DAVIS, R.H. & ACRIVOS, A. (1985). Sedimentation of non-colloidal particles at low Reynolds numbers. *Ann. Rev. Fluid Mech.* 17: 91-118.
- DAVISON, F.G. & HARRISON, D. (1971). *Fluidization*. Academic Press. London.
- MORENO-AMICH, R. & GARCÍA-BERTHO, E. (1987). Nuevo mapa batimétrico del lago de Banyoles obtenido por ecosondación. Resúmenes del IV Congreso Español de Limnología. Universidad de Sevilla. Sevilla.
- RICHARDSON, S.F. & ZAKI, W.N. (1954). Sedimentation and fluidization. Part I. *Trans. Inst. Chem. Eng.* 32: 35-53.
- ROGET, E. & CASAMITJANA, X. (1986). Cálculo de los caudales de entrada de agua por las cubetas en el lago de Banyoles. Actas IV Congreso Español de Limnología. Universidad de Sevilla. Sevilla.
- ROGET, E. (1987). *Estudi dels cabals surgents per les cubetes de Banyoles*. Tesina de llicenciatura. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra.