

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2018 01055

(22) Data de depozit: 05/12/2018

(41) Data publicării cererii:  
29/11/2021 BOPI nr. 11/2021

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN  
BUCUREȘTI, SPLAIUL INDEPENDENȚEI  
NR.313, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• FICAI DENISA, STR. RAHOVEI NR. 30-32,  
SC. 2, ET. 1, AP. 11, BRAGADIRU, IF, RO;  
• ARDELEAN IOANA, STR. MUNTENIEI  
NR.9A, ORADEA, BH, RO;  
• ILIE CORNELIA, NR.188,  
COMUNA CHIOJDEANCA, PH, RO;  
• CĂLIN MANUELA,  
STR. GRIGORE MOISIL, NR.3, BL.7, SC.1,  
ET.9, AP.55, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,  
RO;

• FUIOR ELENA- VALERIA,  
STR.BUCOVINA 1BIS, BL.L10A, SC.1, ET.3,  
AP.45, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;  
• FIFERE ADRIAN, ALEEA NICOLINA NR.8,  
BL.G5, SC.A, ET.5, AP.34, IAȘI, IS, RO;  
• PINTEALĂ MARIANA, STR.PROF. TH.  
VĂSCĂUȚEANU NR.2, SAT GOEȘTI,  
COMUNA LUNGANI, IS, RO;  
• FUNDUEANU CONSTANTIN GHEORGHE,  
ALEEA TUDOR NECULAI NR.57, BL.975,  
SC.A, ET.3, AP.15, IAȘI, IS, RO;  
• FICAI ANTON, STR. RAHOVEI NR. 30-32,  
SC. 2, ET. 1, AP. 11, BRAGADIRU, IF, RO;  
• SIMIONESCU MAYA,  
STR. LOUIS PASTEUR NR. 16, SECTOR 5,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• ANDRONESCU ECATERINA,  
CALEA PLEVNEI NR. 141B, BL. 4, ET. 1,  
AP. 1, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

(54) SEPARATOR (ELECTRO)MAGNETIC VERTICAL  
AL NANOPARTICULELOR IZOMAGNETICE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un separator (electro)magnetic vertical pentru nanoparticule izomagnetice. Separatorul, conform invenției, cuprinde un sistem de dozare a fluidului magnetic ce urmează a fi purificat sau sortat, un generator de câmp (electro)magnetic constând dintr-unul sau mai mulți (electro)magneți cilindrici străbătuți de fluidul magnetic, regimul de curgere al fluidului magnetic fiind reglat prin ajustarea diametrului de alimentare și a diametrului de separare, poziționarea verticală a separatorului permițând o separare controlată a particulelor, curgerea antigravitațională permițând un timp de staționare mai îndelungat în câmpul magnetic, iar în cazul curgerii gravitaționale timpul de staționare va fi mai mic conducând la o sortare mai bună.

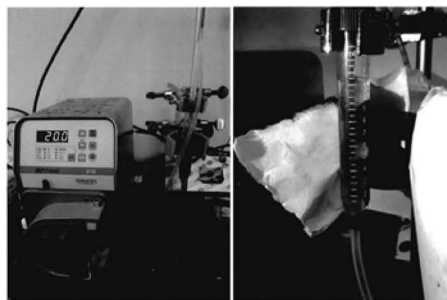


Fig. 1

Revendicări: 3  
Figuri: 6

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



## Separator (electro)magnetic vertical a nanoparticulelor izomagnetice

### Vertical (electro)magnetic separator of izomagnetic nanoparticles

#### REZUMAT

Invenția „Separator (electro)magnetic a nanoparticulelor izomagnetice” se referă la obținerea unui dispozitiv magnetic / electromagnetic care permite separarea particulelor magnetice de cele nemagnetice și respectiv separarea particulelor izomagnetice pe clase. Tehnologia de separare constă în trecerea unui debit de fluid magnetic / suspensie de particule magnetice printr-un câmp (electro)magnetic de caracteristici prestabilite. Din punct de vedere constructiv, separatorul magnetic presupune una sau mai multe zone magnetice în care are loc separarea particulelor izomagnetice. În acest sens se pot optimiza parametrii de curgere și câmpul magnetic aferent zonelor de separare.

#### Domeniul tehnic în care poate fi folosită invenția:

Invenția se referă la realizarea unui separator magnetic al particulelor magnetice ce poate fi exploatat atât în scopul purificării cât și a sortării izomagnetice a particulelor magnetice. Prin termenul de izomagnetic se înțelege că particulele au atât geometrie cât și proprietăți magnetice similare. În acest context, separatorul magnetic poate fi utilizat în scopul separării particulelor magnetice de cele nemagnetice, spre exemplu în cazul sintezei de materiale magnetice (purificarea avansată prin eliminarea fracției nemagnetice rezultate ca produși secundari). De asemenea, separatorul poate fi utilizat în scopul clasării izomagnetice a particulelor magnetice. Dacă sunt obținute particule magnetice pure, în acest caz separarea este majoritar indusă de dimensiunea particulelor (pot intervenii și alți factori, cristalinitate, plane preferențiale de cristalizare, etc.). În cazul obținerii de nanoparticule acoperite de tip core-shell, separatorul magnetic poate fi exploatat în scopul separării particulelor cu aproximativ aceleași caracteristici ale miezului și învelișului. În funcție de caracteristicile vizate se pot utiliza magneți sau electromagneți cu puteri variabile, debite de alimentare și viteze de curgere optimizate, zone de separare adaptate aplicației, vâscozitatea mediului de separare, etc.

#### Descrierea studiului actual

În prezent există un interes major în exploatarea micro și nanoparticulelor magnetice în domenii diverse, incluzând aplicațiile din medicină, mediu, electronică, energie, etc. În prezent, există aplicații tot mai avansate care însă necesită un control avansat al dimensiunii nanoparticulelor sau în cazurile care implică structuri core@shell dezvoltarea de nanostructuri cu dimensiuni prestabilite (diametrul miezului și grosimea învelișului organic sau anorganic). Deoarece majoritatea metodele de sinteză conduc la nanoparticule cu distribuție granulometrică largă (inclusiv în cazul utilizării unor agenți de stabilizare) sau depunerea de polimeri organici / anorganici se realizează cu depuneri neuniforme pe particulele magnetice se impune purificarea și/sau sortarea acestora [1-12].

În patentul US201815965451 20180427 [13] este prezentă un separator magnetic complex care permite separarea nanoparticulelor magnetice prin magnetoforeză. În acest sens, patentul revendică dreptul de proprietate intelectuală asupra separatorului magnetic de particule ce utilizează un câmp magnetic indus pentru a separa particulele magnetice existente în soluție prin magnetoforeză. Particule magnetice se deplasează inițial de-a lungul unei direcții longitudinale iar ca urmare a aplicării unui câmp magnetic extern, de-a lungul unei direcții laterale, ortogonale (sau aproape ortogonale) față de direcția longitudinală câmpul magnetic indus generează o forță magnetică respingătoare asupra particulelor

magnetice inducând o deviere de direcție proporțională cu susceptibilitatea magnetică, mărimea și/sau masa particulelor magnetice, etc.

Patentul UA20132013013410U 20131118 [14] prezintă posibilitatea de fracționare a unui fluid magnetic ca urmare a aplicării unui câmp magnetic având un gradient mare.

Patentul HUE12715233 20120403 [15] prezintă un sistem capabil să realizeze separarea magnetică a particulelor cu proprietăți feromagnetice din suspensie utilizând un magnet permanent dispus în interiorul unei camere de colectare.

Patentul CN20122420020U 20120823 [16] prezintă un sistem capabil să separe particulele magnetice în special prin atragerea acestora și eliminarea particulelor nemagnetice.

### **Problema tehnică**

Problema tehnică întâmpinată în clasarea particulelor magnetice este dată de separarea selectivă a particulelor magnetice (izomagnetice) și prin urmare se impune aplicarea unui câmp controlat care să asigure separarea doar a particulelor de interes sau prin înscrierea a mai multor domenii de separare să se asigure separarea pe clase izomagnetice a acestora. În cazul particulelor magnetice de tip miez / înveliș (core/shell) există interes pentru separarea particulelor magnetice acoperite de cele neacoperite sau a particulelor cu raportul diametrului miezului și a diametrului hidrodinamic diferit. În toate aceste cazuri, deoarece tendința de aglomerare a acestora este foarte mare există nevoia de a menține particulele în formă dispersă pentru a asigura o separare bună.

### **Soluția tehnică**

Din punct de vedere tehnic, funcționalitatea separatorului este asigurată de optimizarea a mai multor parametri dintre care se pot enumera:

- Debitul de alimentare a fluidului magnetic;
- Ultrasonarea suspensiei în vederea dezagregării;
- Raportul  $d:D$  ce induce viteza de curgere a fluidului în zona activă/ de separare;
- Caracteristicile câmpului magnetic aplicat (intensitatea câmpului – H; lungimea zonei pe care se aplică câmpul (electro)magnetic;
- Vâscozitatea suspensiei;
- Numărul de unități elementare de separare;
- Omogenizarea fluidului între două unități elementare de separare.

Raportul  $d:D$  este important deoarece duce la scăderea ( $d < D$ ) sau creșterea ( $d > D$ ) vitezei de trecere a fluidului prin zona activă (unde câmpul aplicat este H iar acest câmp se aplică pe un segment de tub cilindric de lungime L și diametru D). Cu cât câmpul magnetic aplicat H și lungimea zonei L în care se aplică sunt mai mari și diametrul tubului care traversează câmpul mai mic cu atât gradul de separare este mai mare și implicit gradul de sortare mai modest. Pentru optimizarea suplimentară a sortării se poate recurge la creșterea vâscozității soluției prin adăugarea unor aditivi precum glicerina, etilenglicol, etc. În condițiile în care se dorește sortarea sau purificarea particulelor magnetice uscate, acest lucru se poate realiza și în solvenți nepolari, chiar uleiuri. În cazul în care se dorește doar separarea particulelor magnetice de cele nemagnetice se preferă utilizarea unui câmp magnetic puternic și existența unui singur separator elemental. Dacă însă se dorește sortarea izomagnetică a nanoparticulelor câmpul aplicat trebuie controlat ca la trecerea prin separatorul magnetic elemental să se rețină doar o fracție cât mai mică însă, prin înscrierea a două sau mai multe astfel de separatoare elementale se pot face succesiv reținerile particulelor de interes. Între două astfel de separatoare verticale elementale se

poate asigura suplimentar o omogenizare a fluidului sau, din contră, se evită apariția turbulențelor și în acest caz influența separării anterioare este resimțită și în separatorul elemental următor. Deoarece particulele magnetice au o tendință accentuată de aglomerare fluidul magnetic debitat de pompa izocrată poate fi ultrasonat în vederea destabilizării aglomeratelor.

Soluția tehnică propusă pentru clasarea particulelor magnetice este una dintre cele mai simple și mai intuitive care prin urmare poate fi operat ușor, fără a fi nevoie de operatori ultraspecializați.

### **Avantajele invenției în raport cu studiul tehnicii**

Tehnica de separare propusă este extrem de simplă, practic poate fi realizată artisanal în orice laborator și presupune o pompă dozatoare, magneți sau electromagneți și eventual o baie de ultrasonare care să asigure menținerea particulelor magnetice în soluție, preferabil în formă liberă, neaglomerată. Metoda poate fi ușor adaptată pentru separarea particulelor magnetice rezultate din sinteză (eliminarea produșilor secundari de sinteză) sau sortarea particulelor magnetice obținute pe clase în cazul în care se utilizează un separator magnetic având mai multe separatoare elementare înseriate. În cazul în care se înlocuiește magnetul cu un electromagnet se pot obține câmpuri magnetice variabile, se poate seta câmpul astfel încât doar anumite nanoparticule să fie atrase în intervalul petrecut de fluidul magnetic în zona de câmp magnetic generat de electromagnet. Dacă se dorește separarea a două sau mai multor sorturi de particule magnetice atunci se pot înseria două sau mai multe separatoare elementare verticale.

### **Descrierea detaliată a invenției**

Invenția curentă are la bază un prototip simplu (figura 1) care permite separarea particulelor magnetice de cele nemagnetice și respectiv sortarea particulelor în funcție de proprietățile magnetice specifice. Din punct de vedere constructiv, separatorul magnetic vertical presupune existența unui sistem de dozare a fluidului magnetic ce urmează a fi purificat sau sortat, un generator de câmp (electro)magnetic adică un (electro)magnet sau un sistem de (electro)magneți cilindrici care este străbătut/sunt străbătuți de fluidul magnetic. În scopul reglării regimului de curgere, diametrul de alimentare și diametrul de separare pot fi ajustate adecvat în scopul creșterii sau scăderii capacității de separare la nivel de separator elementar și prin înserierea adecvată se poate ajusta omogenitatea particulelor / sorturilor de nanoparticule. Poziționarea verticală a separatorului magnetic permite o mai controlată separare a particulelor, curgerea antigravitațională permite un timp de staționare în câmpul magnetic mai îndelungat în timp ce în cazul curgerii în câmp gravitațional, timpul de staționare va fi mai mic ducând la o sortare mai bună. În curgere ascendentă, utilizând un raport  $D:d$  mare, în timpul trecerii fluidului magnetic în câmpul (electro)magnetic, curgerea va fi laminară, permițând un grad de separare / separator magnetic elementar mai bun.

### **Exemplul 1**

Fluidul magnetic obținut prin co-precipitarea magnetitei este inițial decantat de 3 ori și apoi este supus procedurii de separare utilizând un separator magnetic vertical compus dintr-un singur separator magnetic elementar având următoarele caracteristici: debitul de alimentare de obicei în domeniul 0.1 – 100mL/min (ca de exemplu 10, 20 sau 50mL/min); raportul  $d:D$  de obicei în domeniul 0.1-10 (ca de exemplu 0.3); câmp magnetic variat asigurat de un magnet permanent (de obicei având inducția magnetică  $(B) < 1$  Tesla) sau electromagnet de putere variabilă; configurația sistemului elementar fiind prezentat în figura 1. În aceste situații, separarea nanoparticulelor duce la particule cu o distribuție granulometrică îngustă așa cum reiese din Figura 4. Sistemul poate fi exploata pentru separarea unor anumite sorturi de nanoparticule izomagnetice sau, dacă câmpul aplicat este mare, viteza fluidului în

zona de separare mică,  $D$  suficient de mic, separatorul poate fi exploatat pentru separarea integrală a fazei magnetice.

### Exemplul 2

Pornind de la sistemul elementar prezentat anterior, acesta se poate adapta prin includerea a unei element secundar de separare distanțat față de primul (a se vedea Fig 1 și în special Fig 1b). Acest tip de dispozitiv este în special recomandat pentru separarea integrală a nanoparticulelor magnetice fără neaparat a se realiza sortarea nanoparticulelor.

### Exemplul 3

Pornind de la separatorul elementar din exemplul 1, se poate obține un prototip complex realizat din două sau mai multe module care să permită sortarea nanoparticulelor magnetice și separarea pe sorturi izomagnetice a acestora. În acest caz, există interesul ca între două separatoare elementare să se omogenizeze sau nu fluidul ce a trecut de unitățile anterioare (Figura 5). Omogenizarea se poate realiza utilizând dispozitive specifice sau poate fi realizat prin simpla deviere de la linearitate pe traseul fluidului dintre două separatoare elementare.

### Exemplul 4

Pornind de la oricare din exemplele de mai sus, sistemul poate fi adaptat în vederea introducerii fluidului magnetic în fluxul de fluid purtător asigurându-se astfel și posibilitatea de dispersa suplimentar nanoparticulele aglomerate din fluidul magnetic concentrat.

### Revendicări

- Prin prezenta se revendică dreptul de proprietate intelectuală asupra separatorului magnetic vertical *caracterizat prin aceea că* permite separarea particulelor magnetice în câmp magnetic, dispozitivul fiind prevăzut cu un sistem de dozare a fluidului/suspensiei magnetice cu un debit și o viteză prestabilită, de regulă anti-gravitațional cu o viteză de curgere a fluidului adaptată în funcție de caracteristicile magnetice ale nanoparticulelor și ale câmpului magnetic aplicat. Viteza de curgere se reglează automat în funcție de debitul de alimentare și de factorul dimensional asigurat de raportul diametrelor din zona activă și zona de alimentare în fiecare zonă magnetică destinată separării. Vâscozitatea fluidului poate fi și ea adaptată prin utilizarea unor aditivi precum glicerină, etilenglicol, etc.
- Prin prezenta se revendică dreptul de proprietate intelectuală asupra designului zonei active a separatorului *caracterizat prin aceea că* raportul între diametrele  $D$  și  $d$  permite operarea în regim laminar turbulent și pe de altă parte în zona de diametru  $D$  conform Figurii 3 se permite acumularea nanoparticulelor magnetice.
- Dreptul de proprietate intelectuală asupra tehnologiei de separare în regim vertical aferent separatorului magnetic prezentat *caracterizat prin aceea că* permite inserierea a două sau mai multor separatoare elementare, la nivelul fiecărui separator fiind separate succesiv particulele magnetice izomagnetice. Separatorul se poate utiliza atât pentru separarea particulelor magnetice simple cât și a structurilor de tip miez @ înveliș sau a materialelor compozite sau chiar a amestecurilor acestora. Indiferent de modalitatea de separare utilizată, recircularea fluidului magnetic se poate realiza în vederea creșterii ratei de separare.

**Referințe Bibliografice:**

- [1] Ahmad IZ, Kuddus M, Tabassum H, Ahmad A, Mabood A. Advancements in Applications of Surface Modified Nanomaterials for Cancer Theranostics. *Curr Drug Metab.* 2017;18:983-99.
- [2] Anupama AV, Kumaran V, Sahoo B. Application of monodisperse Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> submicrospheres in magnetorheological fluids. *J Ind Eng Chem.* 2018;67:347-57.
- [3] Araujo-Neto RP, Silva-Freitas EL, Carvalho JF, Pontes TRF, Silva KL, Damasceno IHM, et al. Monodisperse sodium oleate coated magnetite high susceptibility nanoparticles for hyperthermia applications. *J Magn Magn Mater.* 2014;364:72-9.
- [4] Atta AM, Ezzat AO, Hashem AI. Synthesis and application of monodisperse hydrophobic magnetite nanoparticles as an oil spill collector using an ionic liquid. *Rsc Adv.* 2017;7:16524-30.
- [5] Hussain Z, Khan JA, Murtaza S. Nanotechnology: An Emerging Therapeutic Option for Breast Cancer. *Crit Rev Eukar Gene.* 2018;28:163-75.
- [6] Kandasamy G, Maity D. Recent advances in superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs) for in vitro and in vivo cancer nanotheranostics. *Int J Pharmaceut.* 2015;496:191-218.
- [7] Kemp SJ, Ferguson RM, Khandhar AP, Krishnan KM. Monodisperse magnetite nanoparticles with nearly ideal saturation magnetization. *Rsc Adv.* 2016;6:77452-64.
- [8] Kumar V, Singh RP, Kumar S, Agarwal A, Singh P. Particle Size Determination and Magnetic Characterization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Using Superconducting Quantum Interference Device Magnetometry. *Sensor Mater.* 2016;28:191-9.
- [9] Nakaya M, Nishida R, Muramatsu A. Size Control of Magnetite Nanoparticles in Excess Ligands as a Function of Reaction Temperature and Time. *Molecules.* 2014;19:11395-403.
- [10] Nguyen DT, Kim KS. Controlled synthesis of monodisperse magnetite nanoparticles for hyperthermia-based treatments. *Powder Technol.* 2016;301:1112-8.
- [11] Yan H, Chen Y, Sun XD, Zhao LY, Zhang CX, Bian L, et al. Controlled Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Single Crystalline Spheres in One Solvothermal System and Their Application in MRI. *J Nanosci Nanotechnol.* 2017;17:1983-91.
- [12] Wang YXJ, Xuan SH, Port M, Idee JM. Recent Advances in Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles for Cellular Imaging and Targeted Therapy Research. *Curr Pharm Design.* 2013;19:6575-93.
- [13] Khashan S, Magnetic particle separator. US201815965451 20180427.
- [14] Vasyliovych ZM, Petrovych KI, Yevhenovych VY, High gradient magnetic separator of nanoparticles into fractions. UA20132013013410U 20131118.
- [15] Antonius L, Vincent V, Funda S, Magnetic Separator comprising a flexible member, and corresponding method. HUE12715233 20120403.
- [16] Leng N, Hongshan L, Shutong L, Xiaohao H, Magnetic beads separator CN20122420020U 20120823.

27

zona de separare mică,  $D$  suficient de mic, separatorul poate fi exploatat pentru separarea integrală a fazei magnetice.

### Exemplul 2

Pornind de la sistemul elementar prezentat anterior, acesta se poate adapta prin includerea a unei element secundar de separare distanțat față de primul (a se vedea Fig 1 și în special Fig 1b). Acest tip de dispozitiv este în special recomandat pentru separarea integrală a nanoparticulelor magnetice fără neaparat a se realiza sortarea nanoparticulelor.

### Exemplul 3

Pornind de la separatorul elementar din exemplul 1, se poate obține un prototip complex realizat din două sau mai multe module care să permită sortarea nanoparticulelor magnetice și separarea pe sorturi izomagnetice a acestora. În acest caz, există interesul ca între două separatoare elementare să se omogenizeze sau nu fluidul ce a trecut de unitățile anterioare (Figura 5). Omogenizarea se poate realiza utilizând dispozitive specifice sau poate fi realizat prin simpla deviere de la linearitate pe traseul fluidului dintre două separatoare elementare.

### Exemplul 4

Pornind de la oricare din exemplele de mai sus, sistemul poate fi adaptat în vederea introducerii fluidului magnetic în fluxul de fluid purtător asigurând-se astfel și posibilitatea de dispersa suplimentar nanoparticulele aglomerate din fluidul magnetic concentrat.

### Revendicări

- Prin prezenta se revendică dreptul de proprietate intelectuală asupra separatorului magnetic vertical *caracterizat prin aceea că* permite separarea particulelor magnetice în câmp magnetic, dispozitivul fiind prevăzut cu un sistem de dozare a fluidului/suspensiei magnetice cu un debit și o viteză prestabilită, de regulă anti-gravitațional cu o viteză de curgere a fluidului adaptată în funcție de caracteristicile magnetice ale nanoparticulelor și ale câmpului magnetic aplicat. Viteza de curgere se reglează automat în funcție de debitul de alimentare și de factorul dimensional asigurat de raportul diametrelor din zona activă și zona de alimentare în fiecare zonă magnetică destinată separării. Vâscozitatea fluidului poate fi și ea adaptată prin utilizarea unor aditivi precum glicerină, etilenglicol, etc.
- Prin prezenta se revendică dreptul de proprietate intelectuală asupra designului zonei active a separatorului *caracterizat prin aceea că* raportul între diametrele  $D$  și  $d$  permite operarea în regim laminar turbulent și pe de altă parte în zona de diametru  $D$  conform Figurii 3 se permite acumularea nanoparticulelor magnetice.
- Dreptul de proprietate intelectuală asupra tehnologiei de separare în regim vertical aferent separatorului magnetic prezentat *caracterizat prin aceea că* permite înserierea a două sau mai multor separatoare elementare, la nivelul fiecărui separator fiind separate succesiv particulele magnetice izomagnetice. Separatorul se poate utiliza atât pentru separarea particulelor magnetice simple cât și a structurilor de tip miez @ înveliș sau a materialelor compozite sau chiar a amestecurilor acestora. Indiferent de modalitatea de separare utilizată, recircularea fluidului magnetic se poate realiza în vederea creșterii ratei de separare.

## Desene / Figuri

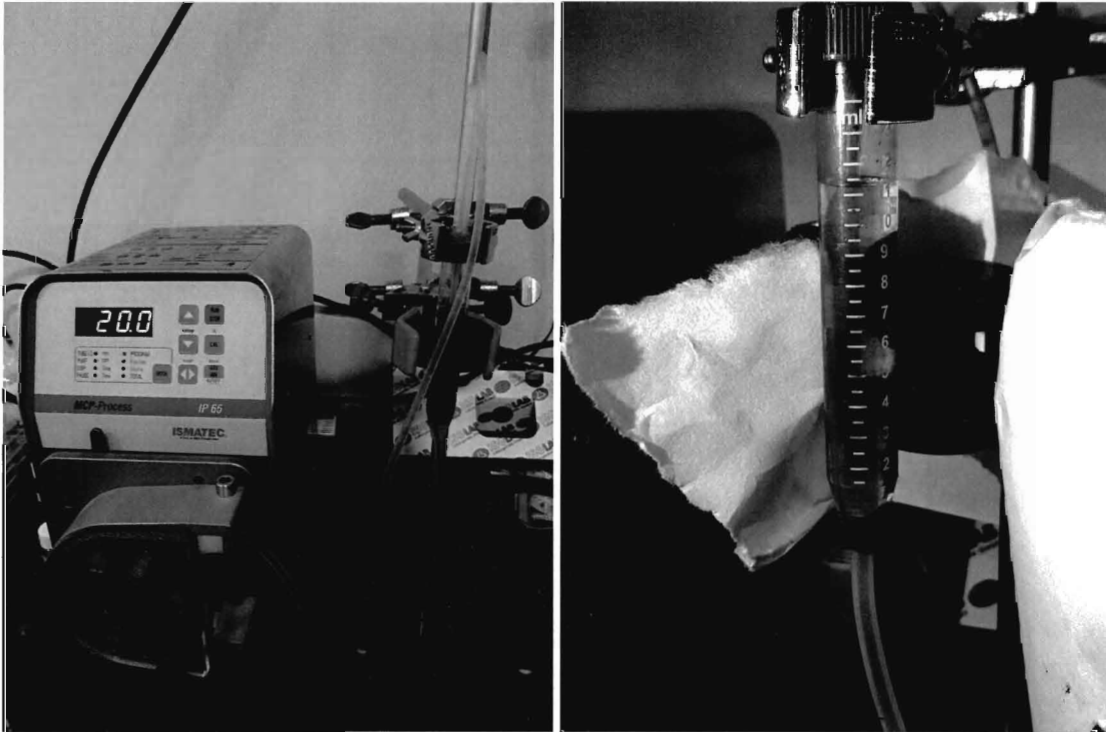


Figura 1. Model experimental aferent separatorului magnetic vertical: a) elementar b) elementar cu două zone individuale de separare

Unitate elementala aferenta  
Separatorului magnetic vertical

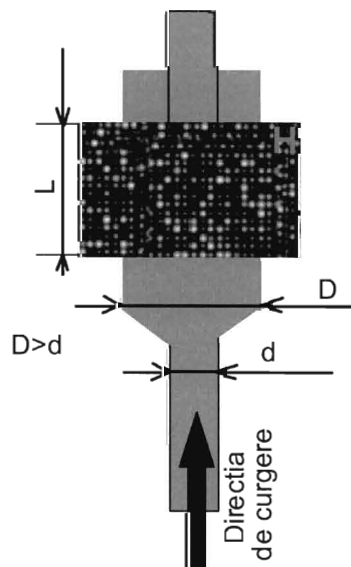


Figura 2. Reprezentarea schematică a unității elementale a separatorului magnetic vertical



### Unitate elementala aferenta Separatorului magnetic vertical

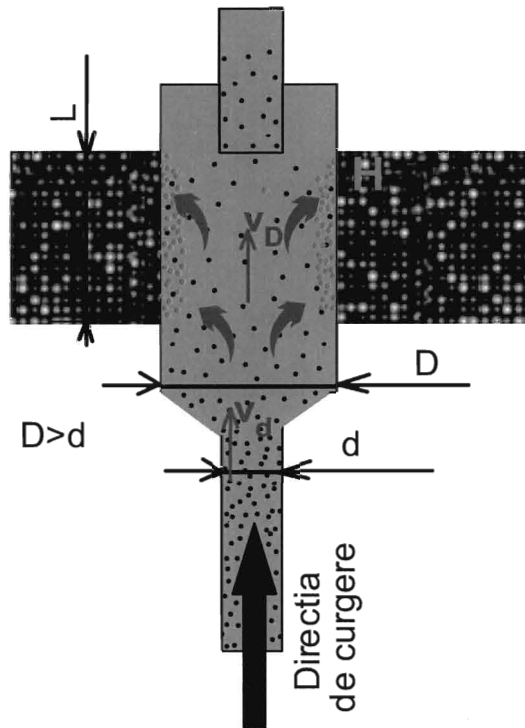


Figura 3. Reprezentarea schematică a procesului de separare magnetică a particulelor în interiorul unitatii elementale a separatorului magnetic vertical

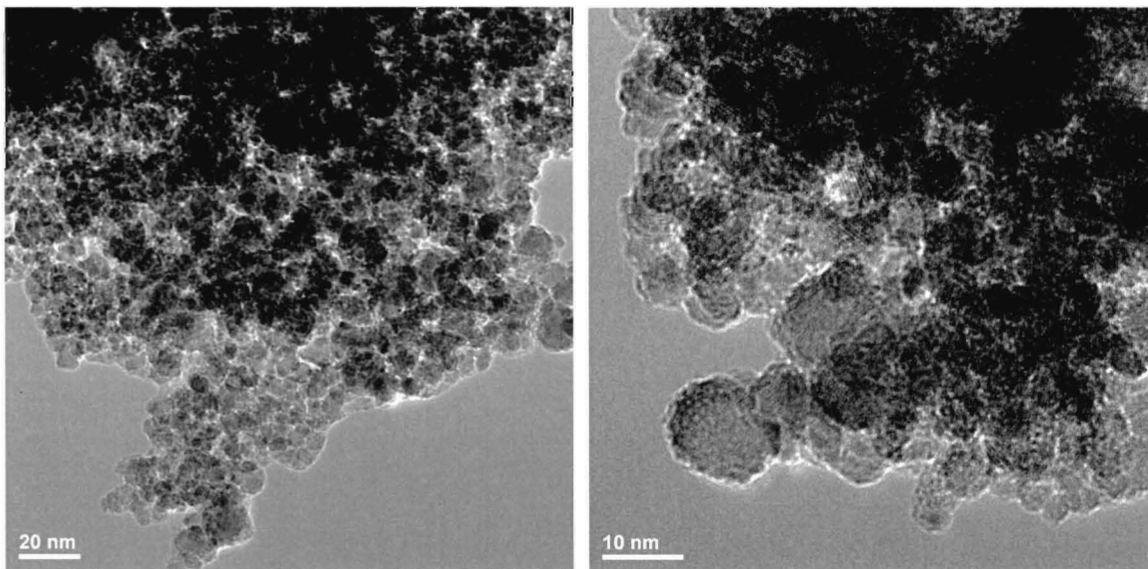


Figura 4. Imagini TEM reprezentative pentru nanoparticulele magnetice obținute conform exemplului 1.

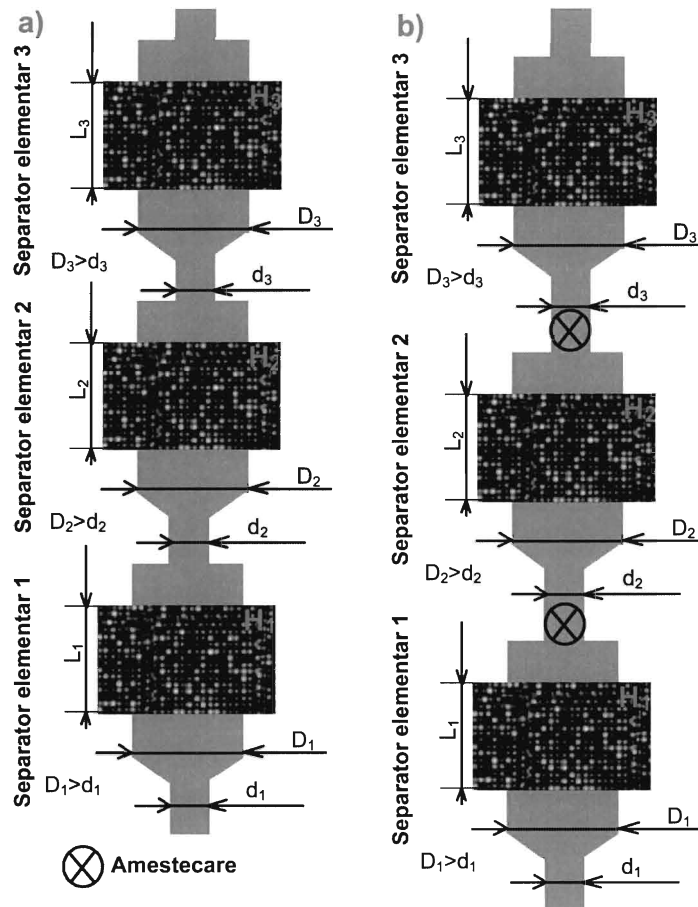


Figura 5. Separator vertical modular cu 3 elemente de separare, a) fără și b) cu amestecare intermediară

### Unitate elementala aferenta Separatorului magnetic vertical

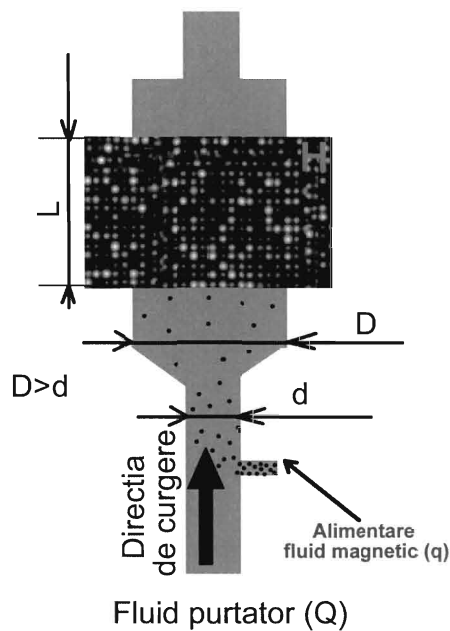


Figura 6. Sistem separator vertical cu alimentară laterală a fluidului magnetic