Universitat de Girona
Escola Politècnica Superior

Projecte/Treball Final de Carrera

Estudi: Gr. Sup. en Tecnologia Ambiental. Pla 2001

Títol:

TRACTAMENT FÍSICO-QUÍMIC DE LES AIGÜES I FANGS D'UN ESCORXADOR PORCÍ

Document: MEMÒRIA

Alumne: Marta Anglada Roig

Director/Tutor: Ignasi Rodríguez Roda
Departament: Eng. Química, Agrària i Tec. Agroalimentària
Àrea: Lequia

Convocatòria (mes/any): Gener/2006

INDEX

PRESENTACIÓ…….. ..1

INTRODUCCIÓ……..3

1. **PROBLEMÀTICA DE LES AIGÜES RESIDUALS**.....4
2. **PROCÉS PRODUCTIU D'UN ESCORXADOR PORCÍ**……..6

2.1. Recepció i Corrals.....6
2.2. Dutxat.....7
2.3. Sacrifici.....7
2.3.1. Estabornit.....7
2.3.2. Degollament i desengranat:.....10
2.4. Escaldament i depilació.....11
2.4.1. Escaldament:.....11
2.4.2. Depilació:.....11
2.5. Socarrament i dutxat.....12
2.6. Preparació de la canal.....12
2.6.1. *Eviscerament:* 13
2.6.2. *Divisió i rentat de les canals:* 13
2.7. Classificació.....14
2.8. Refrigeració.....14
2.9. Expedició.....14
2.10. Esquema del procés.....14

3. **GENERACIÓ D'AIGÜES RESIDUALS EN UN ESCORXADOR PORCÍ**

3.1. Origen de les aigües residuals en els escorxadors i plantes d'elaboració.....17
3.1.1. Corrals i estables:.....17
3.1.2. Espai de matança:.....18
3.1.3. Residus dels budells: 18
3.1.4. Aigües brutes del terra i dels equips:.....18

3.1.5. Preparació de la canal:.....18

4. LÍNIA DE DEPURACIÓ D'AIGÜES RESIDUALS I FANGS.....20

A) LÍNIA DE TRACTAMENT DE LES AIGÜES RESIDUALS

4.1. Pretractament.....20

4.1.1. Entrada:.....20

4.1.2. Desbast:.....20

4.1.3. Homogeneïtzador:.....21

4.2. Tractament Primari o Fisicoquímic.....22

4.3. Tractament secundari: depuració biològica.....23

4.3.1. El procés de llots actius:.....24

4.3.2. *Modificacions per l'eliminació de nitrogen:*.....25

B) LÍNIA DE TRACTAMENT DE FANGS

4.4. Espessiment.....28

4.5. Estabilització.....29

4.6. Acondicionament.....29

4.7. Deshidratació.....30

4.7.1. Centrifugació:.....30

4.7.2. Filtre a pressió:.....30

4.8. Eliminació i/o aprofitament dels fangs.....31

5. COAGULACIÓ – FLOCULACIÓ……..32

5.1. Eliminació de sòlids en suspensió.....32

5.1.1. *Sedimentació*: 32

5.1.2. *Flotació*:.....34

5.1.3. *Filtració*: 36

5.2. Eliminació de substàncies col·loïdals. Coagulació.....38

5.2.1. *Partícules col·loïdals*:.....39

5.2.2. *Teoria de la doble capa elèctrica:*.....39

5.3. Eliminació de substàncies dissoltes.....40
5.3.1. Eliminació de sòlids inorgànics dissolts:.....40
5.3.2. *Eliminació de sòlids orgànics dissolts:* 41

OBJECTIUS……..42

MATERIALS I MÈTODES……..44

6. MÈTODES D'ANÀLISI.....44

6.1. Presa de la mostra.....45
6.2. Recepció de les mostres.....46
6.3. Caracterització de les mostres.....47
6.3.1. Caracterització de les mostres d'aigua i les mostres de fang:.....47
6.3.2. pH:.....47
6.3.3. Conductivitat:.....49
6.3.4. Terbolesa:.....50
6.3.5. Contingut total de sòlids:.....51
6.3.6. Contingut de volàtils totals.....52
6.4. Determinació conductimètrica de l'anió NO_3^- en solució acuosa.....54
6.5. Determinació conductimètrica del catió NH_4^+ en solució acuosa.....55
6.6. Determinació de la demanda química d'oxigen (DQO).....57
6.7. Preparació de dissolucions de floculants.....58
6.7.1. Productes sòlids granulats:.....58
6.7.2. Productes en emulsió:.....59
6.7.3. Productes en dispersió aquosa:.....60
6.8. Assaig de Jar-test.....60
6.8.1. Coagulació:.....62
6.8.2. *Ajust de pH:*.....62
6.8.3. *Floculació:*.....62
6.8.4. *Dosis òptima:*.....63

6.9. Assaig de deshidratació de fangs: mètode de transvasos.....63
6.9.1. Floculació i dosis òptima:.....64
6.9.2. Mesura del desgot:.....64

7. PROGRAMA CAPDETWORKS: TRACTAMENT BIOLÒGIC D'AIGÜES RESIDUALS.....65

7.1. Introducció.....65
7.2. Funcionament.....65
7.3. Prestacions del programa.....67

RESULTATS.....68

8. ANÀLISI DE LA SITUACIÓ DE L'ESCORXADOR PORCÍ DE GRANOLLERS.....68
8.1. Característiques de l'estat de les aigües residuals i els fangs de l'escorxador porcí de Granollers.....68
8.1.1. Paràmetres de l'aigua residual a tractar:.....68
8.1.2. Paràmetres dels fangs a tractar:.....69
8.2. Reglament del Consorci del Besòs.....70
8.3. Estació depuradora de l'escorxador porcí de Granollers.....71

9. OPTIMITZACIÓ I ALTERNATIVES DE TRACTAMENT DE LES AIGÜES I ELS FANGS RESIDUALS.....75
9.1. Optimització del tractament físico-químic complert.....76
9.1.1. *Coagulants:*.....77
9.1.2. *Ajust de pH:*.....78
9.1.3. *Floculant:*.....78
9.1.4. *Assaig de jar-test: elecció del millor tractament:*.....79
9.1.5. *Resultats del tractament de jar-test de les aigües residuals*.....83
9.1.6. *Assaig de deshidratació de fangs: elecció del millor tractament:*.....91

9.1.7. *Resultats del tractament de deshidratació de fangs:*.....93
9.1.8. *Cost econòmic del tractament físico-químic complert:*.....96

9.2. Alternativa 1: Tractament biològic.....97
9.2.1. *Resultats de simulació donats pel programa informàtic Capdetworks*.....97
9.2.2. *Cost econòmic del tractament biològic*.....98
9.3.Alternativa 2: Tractament físico-químic complert + tractament biològic.....99
9.3.1. *Resultats de simulació donats pel programa informàtic Capdetworks*.....99
9.3.2. *Cost econòmic del tractament físico-químic complert + biològic*.....101
9.4. Alternativa 3: Tractament físico-químic per desengreix + tractament biològic.....102
9.4.1. *Tractament de desengreix amb l'addició de floculant*.....102
9.4.2. *Resultats de simulació donats pel programa informàtic Capdetworks*.....*103*
9.4.3. *Cost econòmic del tractament de desengreix + biològic*....104

DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS……106

10. DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS.....106
10.1. Paràmetres importants de l'aigua.....106
10.2. Comparació del cost de cada tractament.....107
10.3. Alternativa proposada: Tractament de desengreix + Tractament biològic SBR.....110

BIBLIOGRAFIA……111

AGRAÏMENTS……114

ANNEX……...……115

PRESENTACIÓ:

La insostenible explotació dels recursos naturals al llarg de la història ha provocat que la demanda d'aquests superi la capacitat natural de regeneració o producció, produint així efectes importants i negatius sobre el medi natural i sobre la població humana.

L'aigua ha estat un dels recursos que s'ha vist més afectat per aquesta explotació ja que s'ha consumit per sobre la seva disponibilitat. Per a aquest motiu, Catalunya ha apostat per imposar sistemes d'aprofitament més racional de l'aigua de conques o de cada zona, evitant l'ús únic de l'aigua i fonamentant-ne la seva reutilització.

En els últims anys s'ha incrementat tant els residus industrials com els urbans a causa del desenvolupament tecnològic, per una banda i pels nous hàbits adquirits per la població en general per una altra. La indústria agroalimentària és un dels sectors més problemàtics en relació a la generació d'efluents contaminats, encara que aquests efluents són bàsicament orgànics i tenen menys perill que els produïts per les indústries químiques, papereres, tèxtils, etc., que són els més tòxics i d'origen bàsicament inorgànic. Entre les indústries agroalimentàries que produeixen una major contaminació de l'aigua es troben els escorxadors (Marañón i cols., 1999).

La preocupació per conservar l'entorn cada vegada més degradat, ha portat a intentar buscar una solució al problema de les aigües residuals. Aquestes aigües són tractades en estacions depuradores mitjançant processos físico - químics i/o biològics. Això provoca la generació de nous subproductes, com són els fangs i les aigües depurades.

La mancança d'aigua disponible i la necessitat de revaloritzar el subproducte de les depuradores, ha desencadenat un interès per trobar noves opcions pel seu aprofitament. La necessitat doncs, de trobar més i millors solucions a l'àmplia diversitat d'aigües, abocaments i fangs que s'han de tractar, ha portat al desenvolupament d'una alta tecnologia en aquest camp:

sistemes de tractament, maquinària implicada, control automàtic de plantes depuradores, bactèries per a tractaments biològics, i productes coagulants i floculants. Tot dissenyat per a aconseguir el millor clarificat de qualsevol tipus d'abocament, la deshidratació dels fangs produïts, o l'adequació de les aigües prèviament al seu abocament.

Precisament en aquest marc de treball s'inscriu el present projecte, que neix del marc de col·laboració entre l'empresa química Derypol, l'Estació Depuradora d'Aigües Residuals d'un escorxador de porcí de Granollers, i el Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental (LEQUiA) de la Universitat de Girona. L'objectiu principal és el de portar una anàlisi de la situació de l'escorxador, de les instal·lacions existents, de les necessitats del sector, dels límits d'abocament fixats pel Reglament del Consorci del Besòs, i de la caracterització de les aigües residuals generades (en quantitat i qualitat) així com dels fangs produïts. Arrel d'aquesta anàlisi es pretén generar diferents alternatives de tractament, tant físico - químic com biològic, i fer una avaluació comparativa de costos i rendiments. Alguna d'aquestes propostes (les que no comportin cap modificació del diagrama de flux) podrà ser comprovada in-situ a la pròpia EDAR. Les analítiques, els assaigs de jar-test i l'assaig de deshidratació de fangs es portaran a terme al laboratori d'Aplicació de l'empresa química Derypol, on s'assajarà amb coagulants i floculants que produeix la pròpia empresa. Per altra banda, les simulacions del procés biològic es portaran a terme mitjançant el software CAPDETWORKS del LEQUiA.

INTRODUCCIÓ

El tractament de les aigües residuals és avui en dia, una temàtica que preocupa considerablement als responsables alhora de prendre decisions en el sector industrial. El medi ambient i els impactes ambientals negatius generats pels processos industrials en particular, han passat de ser un cost per a l'empresa a un factor molt important en la gestió industrial i determinant per a la imatge i competitivitat empresarial. Per aquest motiu, es necessiten solucions per tal de reduir o eliminar la càrrega contaminant dels abocaments produïts per les indústries. D'altra banda, cal tenir en compte que alhora de realitzar una inversió, l'empresa s'haurà d'enfrontar a una gran i sofisticada tecnologia i costos, que constitueixen un problema alhora de prendre decisions.

L'elecció d'un procés de depuració depèn de molts factors:

- cabal
- tipus de cabal (continu o discontinu)
- característiques dels fangs obtinguts
- càrrega contaminant de l'aigua a tractar
- espai necessari
- rendiment requerit de tractament
- gestió dels fangs
- costos de manteniment
- seguiment de la depuradora
- inversió inicial per a l'obra

L'elecció del procés de depuració d'una aigua residual passa per diferents etapes abans d'elegir el tractament més idoni. Les primeres etapes d'elecció consisteixen en la presa representativa de la mostra i en l'assaig en el jar-test realitzat al laboratori. Aquestes dues primeres etapes són de gran importància ja que marcaran la línia de tractament a seguir a una escala d'aplicació més gran. Aquestes etapes determinaran l'elecció d'aquells reactius potencialment

utilitzables per tractar un aigua, les dosis a aplicar i les condicions requerides per tal d'obtenir resultats òptims. Entre aquestes condicions cal remarcar el pH òptim de tractament, la temperatura de l'aigua i l'ordre d'addició dels reactius.

La definició d'aigua residual inclou tota combinació de líquids o aigües que transporten residus procedents de residències, instal·lacions públiques i centres comercial i industrials, a les que, eventualment, s'hi poden afegir aigües subterrànies, superficials i pluvials (Metcalf, 1991).

1. PROBLEMÀTICA DE LES AIGÜES RESIDUALS

La composició característica de l'aigua residual suposa que el seu estancament pugui produir una sèrie de conseqüències que dificultin la vida al seu voltant.

- Per una banda, l'elevada presència de microorganismes patògens (principalment procedents de l'aparell digestiu humà i animal) afavoreix la transmissió de malalties com la gastroenteritis, el còlera, la disenteria, el tifus o l'hepatitis A, aspecte que encara succeeix a zones subdesenvolupades, on les precàries condicions de vida i la nula canalització i tractament de les seves aigües residuals, provoca constants i perilloses epidèmies entre els infants (s'estima que diàriament moren fins a 25,000 persones a causa de l'ús d'aigua en mal estat (Lean i Don Hinrichsen, 1986)).

- L'alt contingut de matèria orgànica de l'aigua residual facilita l'activitat microbiana, bé per via anaeròbia, amb la conseqüent aparició d'olors desagradables, bé per via aeròbia, fet que implica una disminució del nivell d'oxigen dissolt a l'aigua i pot dificultar la vida aquàtica.

- Els sòlids en suspensió d'origen inorgànic no són tan problemàtics com els orgànics, però en grans quantitats poden provocar acumulacions que

dificultin o modifiquin el curs natural de les aigües naturals, amb les conseqüències que se'n puguin derivar.

- Els nutrients presents a l'aigua residual faciliten el creixement de plantes aquàtiques. Quan aquest creixement és sobtat i desmesurat, provoca l'eutrofització de l'aqüífer, amb la conseqüent mortaldat de peixos i plantes.

- Les petites traces de metalls o compostos tòxics, continguts a l'aigua residual urbana, també poden arribar a ser letals si es permet un augment significatiu de la seva concentració per acumulació.

2. PROCÉS PRODUCTIU D'UN ESCORXADOR PORCÍ

Un escorxador és un establiment industrial legalment autoritzat dedicat al sacrifici d'aquells animals destinats a l'alimentació humana. Les operacions subsidiàries consistiran en dividir els talls primaris de la carn en trossos més petits, i en separar i tractar els diversos subproductes.

Per tal d'entendre la composició de les aigües residuals generades en un escorxador porcí, a continuació s'exposen les diferents etapes de què consta un escorxador porcí.

2.1. Recepció i Corrals

El trasllat dels animals al lloc de sacrifici no és un procediment senzill. Els animals, es veuen sotmesos a condicions adverses que poden danyar l'estat d'aquests. Aquestes condicions poder ésser: sorolls, vibracions, temperatures extremes, humitat; ràpides alteracions del moviment, llargues esperes, concentracions de gasos dels excrements, de la orina i del gas del tub d'escapament; ventilació escassa; pujar rampes de molta pendent,.... Per tal de pal·liar aquests efectes nocius sobre els animals, és necessari que l'escorxador presenti unes instal·lacions de recepció adequades en forma de corrals.

El corral és la zona on són descarregats els animals, i on s'hi queden en repòs fins al moment del sacrifici. Segons la Reglamentació Tècnico-Sanitària, els camions han d'ésser netejats i desinfectats, en les instal·lacions de l'escorxador, un cop s'han descarregat els animals.

Es habitual posar un llit de palla per tal de transportar els animals. Durant el procés de neteja, es recull un residu format per aquest llit de palla, per sorra, i per les femtes generades pels animals durant el transport.

La presència del bestiar en els corrals, genera una font de residus derivada principalment de deposicions sòlides i líquides, i del material utilitzat en el llit del corral. Aquests, s'hauran de retirar i tractar posteriorment.

- ***Aigua:*** El consum d'aigua estimat per la neteja dels corrals és de 5-15 l/m^3 (COIAM, 1994).

2.2. Dutxat

Una vegada l'animal surt del corral, aquest passa per un sistema de dutxat per tal d'eliminar la brutícia més superficial. A la vegada, el dutxat afavoreix l'eficiència de la descàrrega elèctrica que es fa a posteriori a l'animal per tal de deixar-lo inconscient abans de ser degollat.

- ***Aigua:*** L'aigua de neteja elimina i transporta la brutícia que portava l'animal abans d'ésser rentat.

2.3. Sacrifici

Tots els animals que són sacrificats per a la obtenció de carn, pells o altres productes, han de ser estabornits de manera que l'animal entri en un estat d'inconsciència, que es prolongui fins a la mort per dessagnat (Real Decret 54/1995), amb la finalitat d'evitar qualsevol dolor o patiment innecessari. El sacrifici de l'animal es basa en tres etapes diferents: estabornit, degollament i dessagnat.

2.3.1. ***Estabornit:***

L'objectiu d'aquesta operació és deixar a l'animal inconscient abans d'ésser degollat. D'aquesta manera s'assegura que l'animal no pateixi. Avui en dia, l'estabornit és un requisit legal en la majoria de països. L'estabornit regeix la legislació vigent, Directiva 93/119/CE, transposada a la legislació Espanyola mitjançant el Real Decret 54/1995, sobre protecció dels animals en el moment

del seu sacrifici o matança (BOE, 15-02-1995). Un bon sistema d'estaborniment ha de complir varis requisits:

- Garantir una inducció ràpida de la inconsciència sense causar dolor; i que aquesta es prolongui fins a la mort de l'animal.
- Minimitzar els problemes de qualitat del producte final.
- Garantir la seguretat de l'operador.

Els mètodes més utilitzats són mitjançant estabornit elèctric i exposició al diòxid de carboni.

A) Estabornit elèctric:

L'estabornit elèctric és el mètode més utilitzat pel bestiar porcí a Espanya, i consisteix en el pas a través del cervell d'un corrent elèctric d'una intensitat suficientment alta com per a provocar un atac epilèptic i conseqüentment la pèrdua de la consciència.

Aquest és un sistema reversible, per tant, el temps entre l'estabornit i el degollament és un factor determinant per tal de garantir la mort de l'animal abans de recuperar la consciència. En bestiar porcí, si el temps entre l'estabornit i el dessagnat és superior a 15 segons, la possibilitat de que l'animal recuperi la consciència augmenta. Els nivells mínims de corrent que cal aplicar varien en funció del tipus d'animal:

Espècie	Nivells mínims de corrent
Bovins	2,5 amps
Vedells	1,0 amps
Porcs	1,25 amps
Ovelles i cabres	1,0 amps

www.fao.org

L'estaborniment elèctric exigeix habilitat i pràctica, per tal d'evitar sacseigs de l'animal, i per tal de realitzar a continuació el degollament després

de retirar les tenaces, per tal d'evitar hemorràgies en la carn o condicions de PSE[1] d'aquesta. No s'ha de desengranar a cap animal si aquest sembla estar conscient. El temps màxim que pot transcórrer des de l'estaborniment elèctric fina al desengranat és de 15 segons. D'aquesta manera s'evita el perill d'hemorràgia de la carn de l'animal.

B) Estabornit per CO_2:

Aquest mètode consisteix en sotmetre els animals dins d'una camera de gas, a una atmosfera amb elevada concentració de CO_2 (70-90%) durant un temps entre 45 segons i un minut. El CO_2 és un gas que quan s'inhala produeix insensibilitat sense deixar residus químics inacceptables en la canal.

Els animals són introduïts en gàbies de capacitat fins a 5 porcs, i es baixen a un pou amb una concentració superior al 80% de CO_2, durant el temps suficient per a mantenir-los inconscients fins a la mort cerebral.

- Efectes del CO_2: L'exposició dels animals al CO_2 provoca els següents efectes:
  - Augment de la tensió de CO_2 en la sang arterial.
  - Insensibilització en l'animal per hipòxia.
  - Descens del pH del teixit nerviós, fet que dóna lloc a un bloqueig de les terminacions nervioses i redueix la velocitat dels impulsos nerviosos.
  - Quan els animals surten de la camera de gas, la seva respiració està quasi parada, però durant el primer minut augmenta el ritme respiratori, millorant la circulació, tot i que després es va fent més lent. També augmenta la pressió sanguínia i el ritme cardíac.
  - Si l'animal segueix respirant en la camera de gas, mor en 4-5 segons.

[1] Condicions PSE (pale, softe, exudative): condicions de pal·lidesa, estovament, exsudació.

2.3.2. ***Degollament i desengranat:***

Després de l'estaborniment, es degolla l'animal per tal de dessagnar-lo. El dessagnat ha de començar tan aviat com sigui possible, i en qualsevol cas abans que l'animal recuperi la consciència. L'interval desitjable entre l'estabornit i el degollament ha de ser d'uns 20 segons aproximadament, tot i que aquest temps varia d'unes espècies a les altres.

L'estabornit previ dels animals determina un augment en la pressió sanguínia que va acompanyat per un augment transitori en la velocitat dels batecs cardíacs, fet que facilita el dessagnat immediat després de l'estabornit. Si passa massa temps entre l'insensibilització i el dessagnat, el dessagnat no es desenvoluparà convenientment i poden presentar-se hemorràgies musculars. En el bestiar porcí el dessagnat es realitza per punció i tall a l'entrada del pit. Normalment es sol realitzar el dessagnat en posició horitzontal. El temps total de dessagnat sol ser d'uns 5 minuts; després es deixa que s'acabi d'escórrer durant uns 3 minuts aproximadament.

La sang que es recull va a parar en una dipòsit per a sang d'un metre d'ample amb una inclinació adequada, per tal que la sang arribi a un dipòsit recol·lector on serà emmagatzemada i posteriorment tractada per un gestor de residus especialitzat. S'ha d'evitar que la sang penetri en el sistema de drenatge ja que és molt contaminant i dificultaria molt la seva eliminació en el tractament de les aigües residuals.

Un cop s'ha dessagnat l'animal i se li ha tallat el cap, es procedeix a la preparació de la carn del porc.

- ***Aigua:*** La sang, per la seva composició, es pot considerar com el focus contaminant principal dels efluents dels escorxadors. Per tant, l'eliminació de la sang de l'efluent general és la mesura correctora més important per disminuir la contaminació d'aquest. Cal dir, que és el subproducte més valorat econòmicament de tots els produïts en un escorxador.

2.4. Escaldament i depilació

Aquest procés permet eliminar el pèl de l'animal i la capa còrnia de l'epidermis.

2.4.1. ***Escaldament:***

El procés es basa en submergir l'animal entre 3 i 6 minuts, dins una cisterna d'aigua calenta controlada per un termòstat a una temperatura de 65ºC fins que el pèl s'estovi, moment en que es retira raspant-lo a mà o afaitant-lo de forma vertical o horitzontal. El procés es pot dur a terme de tres maneres diferents: immersió, aspersió i condensació. El mètode més utilitat és l'escaldament per immersió.

Un dels problemes que presenta aquesta operació de submersió completa, és que l'aigua de la cisterna pot contaminar les ferides provocades pel degollament. Tot i que la temperatura sigui de 65ºC (on s'esperaria que matés a molts dels bacteris introduïts en la pell), la contaminació de l'aigua és tan forta que sempre està present en la cisterna una elevada concentració de bactèries vives. Aquestes, poden penetrar ràpidament a través de les ferides provocades pel degollament, i passar a altres parts de la canal on poden impulsar la descomposició. Per aquest motiu, l'aigua de la cisterna ha d'ésser canviada sovint.

2.4.2. ***Depilació:***

Un cop l'animal s'ha escaldat, s'eliminen els pèls i la capa queratinitzada de l'epidermis, bé a mà o amb ganivets, raspalls o mitjançant màquines depiladores. La major part dels escorxadors industrial utilitzen màquines depiladores. Aquestes, solen funcionar en horitzontal i consten d'un cilindre giratori amb rascadors metàl·lics a la seva superfície interna, que ajuden a eliminar la major part dels pèls i de l'epidermis de l'animal.

- ***Aigua:*** L'aigua utilitzada per escaldar el pèl de l'animal, repercuteix considerablement en la contaminació dels efluents. Com a residus s'originen l'aigua d'escaldar, que ha de ser renovada sovint, i els pèls extrets. Aquests, pel seu caràcter de residu sòlid i pel seu possible aprofitament secundari (raspalls,...), s'han de retirar prèviament a la neteja de la sala, a fi de no ser arrossegat per les aigües de neteja, les quals s'uniran a la resta d'efluents de l'escorxador.

  La descàrrega d'aigua de la cisterna d'escaldat té una càrrega aproximada de 0.25 Kg DBO_5/1000 Kg p.v. La maquinària esquiladora presenta una càrrega estimada en els 0.4 Kg DBO_5/1000 Kg p.v. El consum d'aigua es pot estimar al voltant dels 2.5 l/Kg p.v. (COIAM, 1994).

2.5. Socarrament i dutxat:

L'etapa de socarrament constitueix una operació complementària a la d'escaldament i depilat mecànic, ja que les operacions mencionades no solen eliminar completament el pèl. Per tal d'aconseguir una màxima eliminació del pèl, es realitza un socarrament manual o mecànic de l'animal amb gas propà. Aquest socarrament assegura la desaparició d'aquells pèls situats en zones on el depilat no hi arriba. A continuació es raspalla l'animal i se li realitza un dutxat amb aigua per tal de separar els pèls del cos.

- ***Aigua:*** El consum d'aigua pel dutxat s'estima en 0.4 m^3/1000 Kg p.v (COIAM, 1994).

2.6. Preparació de la canal

La preparació de la canal consta de diferents processos:

2.6.1. ***Eviscerament:***

L'evisceració consisteix en extreure les vísceres abdominals i toràciques. El procés es basa en obrir la canal amb mitjans mecànics o manuals, a fi d'extreure les vísceres del seu interior. Primer es treuen les vísceres abdominals (estómac, intestins,...), que s'envien a la triperia, i després les vísceres toràciques (pulmons, cor, fetge), que inspecciona el veterinari. Cal intentar treure les vísceres senceres, sense que es rebentin, ja que són una font molt important de contaminació.

L'evisceració ha de practicar-se amb rapidesa, a fi d'evitar la contaminació de la canal i l'absorció de males olors. Per aconseguir-ho, en porcí, la normativa de la UE exigeix que com a màxim s'acabi l'evsiceració 20 minuts després del dessagnat.

2.6.2. ***Divisió i rentat de les canals:***

La canal sense vísceres es secciona per l'eix de la columna vertebral en dues mitges canals. Aquesta operació pot realitzar-se manualment amb una serra, o en el cas d'ésser un escorxador d'elevada producció, la operació es realitza mitjançant talladores automàtiques.

- ***Aigua:*** Generalment, la preparació de la canal no genera un volum elevat d'efluents ni de càrrega contaminant. La contaminació que pot existir, prové de la caiguda al terra de restes de carn i greix, continguts intestinals, ossos procedents de la divisió de la canal i de sang,...

  L'ús de l'aigua està limitada, quasi exclusivament, a:

  - La neteja de les instal·lacions fora del període de preparació de la canal.
  - La neteja de les canals.
  - La neteja de personal i estris amb rentamans i esterilitzacions.
  - La neteja d'equips de transport de vísceres.

El consum d'aigua estimat per a la neteja de la sala de feineig és de 5 l/m^2 dia (COIAM, 1994).

2.7. Classificació

Les canals es classifiquen segons diferents paràmetres: pes, conformació subjectiva, conformació objectiva.

2.8. Refrigeració

Les canals s'introdueixen dins una cambra de refrigeració. Aquestes, estaran dins la cambra tot el temps necessari fins que l'interior de la canal assoleixi la temperatura desitjada per a la seva conservació. El refredament es pot fer de manera convencional, en una cambra freda a 4ºC, o bé amb un refredament ràpid, donant un cop fred per sota de 0ºC.

2.9. Expedició

Es pot comercialitzar la carn sencera o bé les seves parts. En aquest darrer cas, caldrà portar les canals a un altre tipus d'indústries: les sales d'especejament. Aquestes indústries poden estar annexes a l'escorxador o bé en un altre emplaçament. En tot cas, és necessari no trencar la cadena de fred entre l'escorxador i la sala d'especejament.

2.10. Esquema del procés

En el següent esquema es poden observar les diferents etapes del procés productiu d'un escorxador porcí:

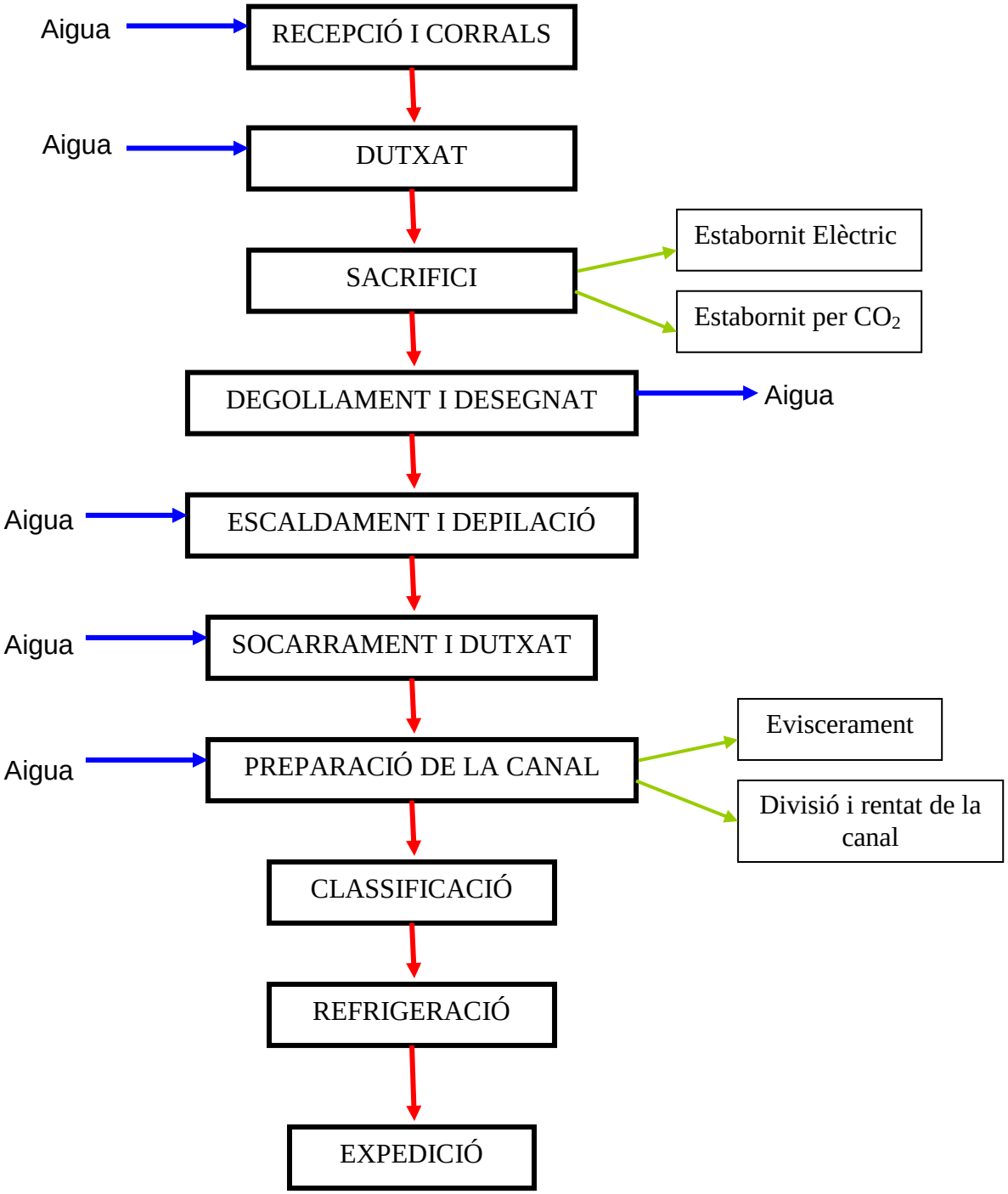


Fig. 1. Etapes del procés productiu d'un escorxador porcí

A continuació es mostra un diagrama on s'observa tot el procés de matança del bestiar porcí en un sistema en cadena, des del moment en que l'animal arriba als corrals fins que s'ha preparat la canal:

www.fao.org

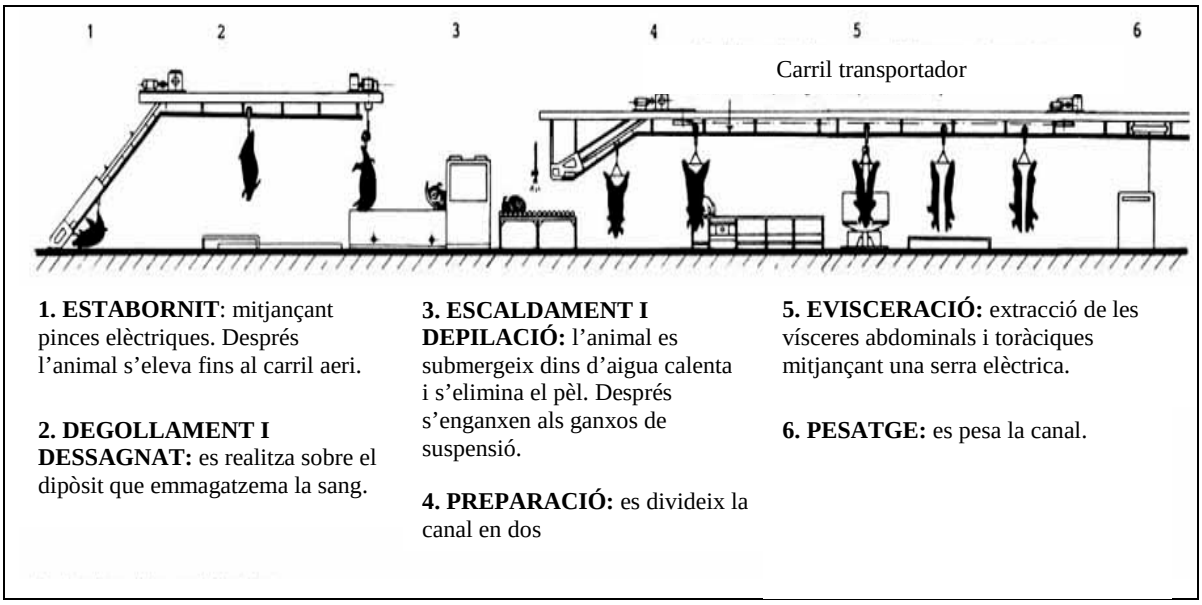


Fig. 2. Diagrama on s'observa tot el procés de matança

3. GENERACIÓ D'AIGÜES RESIDUALS EN UN ESCORXADOR PORCÍ

La principal font de contaminació en un escorxador es troba en les aigües residuals. Aquestes aigües solen anar carregades d'excrements i orina, sang, pèls, restes de carn i grassa de les canals, brutícia del terra, restes d'aliments no digerits pels intestins, budells i intestins,.....

Per tal de mantenir unes condicions d'higiene adequades, la indústria d'elaboració de productes càrnics, està obligada a utilitzar grans quantitats d'aigua, fet que suposa un augment important del cost d'elaboració. El tractament posterior de l'aigua a la planta depuradora, i la seva descàrrega final a la llera pública, suposen un augment dels costos generals. Resulta essencial doncs, utilitzar el mínim volum d'aigua alhora d'aconseguir les condicions d'higiene adequades.

3.1. Origen de les aigües residuals en els escorxadors i plantes d'elaboració

3.1.1. ***Corrals i estables***

Els corrals i estables annexos als escorxadors solen estar equipats amb canals de captació d'aigua pavimentats i coberts. En aquesta part de l'escorxador, l'aigua captada per aquests canals sol estar contaminada per excrements líquids, fangs i aigües brutes procedents de la neteja dels estables. Els estables que no estan coberts, queden exposats a inundacions en èpoques de pluja, podent ocasionar futurs problemes de lixiviació procedents de les pròpies femtes del terra.

La naturalesa de les femtes varia considerablement en funció de varis aspectes: presència o no de canals de captació, pràctiques de retirada de les femtes, freqüència de neteja, gruix de palla del terra, restes d'aliments no ingerits i grau de neteja en sec inicial dels estables o dels vehicles de transport. Com menys es respectin aquests aspectes, major serà el nombre de coliformes presents, i major serà la càrrega orgànica de les aigües residuals. Els

excrements s'han de recollir secs, i s'han d'apilonar formant un compost o una pila, amb la finalitat de ser recollida periòdicament per tal d'utilitzar-se com a adob agrícola (compostatge).

3.1.2. ***Espai de matança***

Molts escorxadors recullen la sang per tal d'elaborar-la en plantes de preparació de subproductes o vendre-la a fabricants de fertilitzants. Algunes plantes utilitzen part de la sang per a incorporar-la a la seva farina de la sang i venes o regalen la resta. Aquest fet redueix substancialment la demanda d'oxigen i colorants de les aigües residuals abocades a la llera.

3.1.3. ***Residus dels budells***

Solen separar-se de les restes líquides, i s'afegeix als residus dels estables per a la preparació de compost. Una eliminació per separat dels residus dels budells redueix materialment la quantitat de sòlids sedimentables en les aigües residuals que entren a la xarxa de clavegueram.

3.1.4. ***Aigües brutes del terra i dels equips:***

Contenen en tots els sector sang, excrements, carn, grasses i restes d'ossos.

3.1.5. ***Preparació de la canal:***

Les aigües utilitzades per a rentar les canals contenen sang, carn i partícules de grassa.

Tal i com pot observar-se, les aigües residuals generades en un escorxador presenten una elevada càrrega contaminant, sobretot de matèria orgànica i grasses. Els paràmetres més significatius de les aigües residuals d'un escorxador podrien ser els següents:

- pH: 6.5 -7.5
- DBO_5: 1800-2500 mg/l
- DQO: 4000-6000 mg/l
- SS: 1500-3000 mg/l
- Grasses: 100-200 mg/l
- NTK: 250-500 mg/l
- P: 20-30 mg/l
- Conductivitat: 2000-6000 µS/cm

Lògicament aquests valors seran diferents en funció de la periodicitat del sistema de rentat, del sistema de filtrat per a la retirada de sòlids, del tipus de bestiar sacrificat,..., però són valors bastant representatius alhora de fer-se una idea del contingut en matèria orgànica que presenten (R. López Vázquez y A. Casp Vanaclocha, 2004).

4. LÍNIA DE DEPURACIÓ D'AIGÜES RESIDUALS I FANGS

En aquest apartat es descriu de manera general de què consta una línia de depuració d'aigües residuals i una línia de fangs. Diverses operacions i processos unitaris són requerits per tal de tractar adequadament les aigües residuals i els fangs. Diferents combinacions d'aquests agents, físics, químics i biològics, conformen el diagrama de procés de cada estació depuradora. El procés global sempre segueix una seqüència lògica de tractament. A continuació es descriu a l'apartat **A**, la línia de tractament de les aigües residuals, i posteriorment a l'apartat **B**, la línia de tractament de fangs.

A) LÍNIA DE TRACTAMENT DE LES AIGÜES RESIDUALS

4.1. Pretractament

4.1.1. ***Entrada:***

Les aigües residuals produïdes al llarg de tot el procés productiu són conduïdes a través d'un sistema de clavegueram fins a l'EDAR.

4.1.2. ***Desbast:***

El desbast constitueix la primera operació unitària de l'EDAR, i consisteix en la retenció de sòlids grollers amb l'objectiu de:

- Protegir a l'estació depuradora de la possible arribada de grans objectes capaços de provocar obstruccions en les diferents unitats de la instal·lació.
- Separar i evacuar fàcilment les matèries voluminoses arrossegades per l'aigua bruta, que podrien disminuir l'eficàcia dels tractaments posteriors, o complicar el bon funcionament d'aquests.

Existeixen diferents tipus de desbast amb diferents diàmetres:

A) Tamís Estàtic:

Es basa en un tamís estàtic inclinat, amb un diàmetre de pas de 1mm, i que es neteja automàticament. L'objectiu principal és protegir les bombes, les vàlvules, les conduccions i altres elements contra possibles danys i obstruccions.

Els sòlids retinguts són recollits posteriorment i transportats cap al femer. D'altra banda, l'aigua filtrada és conduïda a la següent operació.

B) Tamís Rotatori:

Un cop l'aigua ha passat pel tamís estàtic, aquesta va a parar a un dipòsit, i d'aquí és bombejada al tanc d'homogeneïtzació, passant abans per un tamís rotatori. El tamís rotatori té la funció de realitzar un millor filtrat de l'aigua.

Es basa en un tambor rotatori, autonetejable i amb un diàmetre de pas de l'aigua de 0.5 mm. L'aigua és descarregada sobre la superfície d'acer inoxidable del tambor cilíndric, que filtra l'aigua cap a l'interior del mateix, des d'on serà enviada cap al següent tractament. Els sòlids que queden retinguts a la superfície són arrossegats amb el gir del tambor fins a un rasclet rascador fix que els descarrega sobre un cargol sense fi, el qual els transporta al femer.

4.1.3. *Homogeneïtzador:*

Generalment, les aigües residuals no són homogènies, ja que existeixen variacions tan en la quantitat com en la qualitat de l'influent. Per aquesta raó, és important realitzar una bona homogeneïtzació de les aigües prèviament al seu tractament, a fi d'aconseguir una alimentació continua d'aquestes. El dipòsit d'homogeneïtzació s'utilitza per dues raons principals:

- Igualació dels cabals: pot passar que l'EDAR tracti l'aigua residual durant 7 dies a la setmana, mentre que l'aigua abocada per l'empresa és produeixi 5 dies per setmana. La igualació de cabals s'aconsegueix amb el dipòsit d'homogeneïtzació que actua com a regulador (igualador) dels cabals.
- Igualació de les càrregues: a fi i efecte de que l'aigua residual a l'entrada dels reactors presenti una càrrega contaminant el més constant possible, es requereix un dipòsit de mescla. Aquesta funció es realitza en el dipòsit d'homogeneïtzació, gràcies als equips d'aireació i agitació que s'hi trobin instal·lats.

Un sistema molt utilitzat és la homogeneïtzació en línia, on la totalitat del cabal passa a través de la bassa. L'avantatge respecte l'homogeneïtzació en derivació, és que permet disminuir bastant la càrrega contaminant i amortiguar el cabal considerablement.

Es molt important aconseguir una bona homogeneïtzació del cabal i de la càrrega contaminant de l'aigua, ja que sinó poden ocasionar-se problemes en el funcionament dels tractaments posteriors (tractament fisicoquímic i tractament biològic), que veuen disminuïts els seus rendiments. A més a més, una bona homogeneïtzació millora el tractament fisicoquímic, ja que al portar una quantitat de sòlids constant, es coneix la quantitat necessària de reactius a afegir, i es pot millorar el control de la dosificació dels reactius químics.

4.2. Tractament Primari o Fisicoquímic

L'aigua homogeneïtzada surt del tanc d'homogeneïtzació i arriba al dipòsit de tractament. En aquest dipòsit és on es realitzarà el tractament fisicoquímic de l'aigua basat en la coagulació, ajust del pH, floculació, i finalment flotació. La major part de les substàncies en suspensió i dissolució en les aigües residuals no poden retenir-se, a causa de la seva densitat, en les reixes i tamisos. Tampoc per flotació, ja que són més pesades que l'aigua. El tractament fisicoquímic consisteix essencialment en la incorporació de certes

substàncies (coagulants i floculants) a l'aigua amb la finalitat de facilitar-ne la sedimentació o flotació de la matèria col·loïdal de l'aigua.

El tractament primari de les aigües residuals pot utilitzar-se com a operació única d'un procés de depuració si les condicions de l'abocament són les adequades. En el cas dels escorxadors, on les aigües són altament biodegradables, s'aconsella que el tractament fisico-químic vagi seguit d'un tractament secundari o biològic, a fi d'aconseguir uns correctes paràmetres de depuració, ja que amb el tractament fisico-químic únicament no s'aconseguirien. A més a més, cal destacar que part de la matèria orgànica present en l'aigua no pot eliminar-se simplement amb un tractament fisico-químic.

El capítol 5 explica el fonament de la teoria de la coagulació - floculació en detall.

4.3. Tractament secundari: depuració biològica

Un cop l'aigua surt del tractament fisico-químic quasi clarificada, aquesta arriba ja a l'etapa més important del procés. El fonament d'aquesta etapa no és altra que accelerar el procés biològic que es donaria a la natura, és a dir, la degradació, per part d'una població multiespecífica de microorganismes, de la matèria orgànica dissolta a l'aigua residual. Aquesta reacció té lloc a uns bioreactors, fortament airejats en cas que el procés sigui aerobi. Més endavant es detallen les configuracions habituals, els mecanismes i l'operació que possibiliten aquest binomi depuratiu bacteri-substrat. Tot i que amb anterioritat es deixava l'eliminació de nutrients per a una etapa més avançada del procés, a l'actualitat la seva aplicació s'ha estès tant que ja es pot englobar dins la pròpia etapa biològica, també anomenada tractament secundari.

Seguint el camí que recorre l'aigua dins la EDAR, la última de les etapes habituals és una nova decantació a uns sedimentadors secundaris. L'objectiu és assolir una bona separació entre l'aigua tractada i la biomassa present. El sobrenadant, ben clarificat, sol ser abocat directament cap al llit receptor on

segueix el seu cicle natural, tot i que pot rebre un nou tractament més avançat, com la cloració, el filtrat amb llits de sorra, l'adsorció en carbó actiu o l'osmosi inversa, per tal de disminuir els nivells dels contaminants encara presents a l'aigua.

Paral·lelament, les dues fases de decantació generen una elevada quantitat de sòlids, anomenats fangs o llots, que precisen un tractament específic per reduir el seu volum, pes i característiques. Aquesta nova seqüència de processos s'engloba a una nova línia de tractament, la línia de fangs, que sol constar d'un espessiment, una digestió, i una deshidratació final.

4.3.1. ***El procés de llots actius:***

El procés més habitual de tractament biològic de les aigües residuals és l'anomenat sistema de llots actius. Consisteix en una oxidació bacteriana del residu orgànic, seguit d'una separació entre els sòlids en suspensió i l'aigua tractada. Simplificant el procés, es pot considerar que els microorganismes utilitzen l'oxigen present a l'aigua per tal de consumir el substrat o aliment, en aquest cas les molècules orgàniques biodegradable contingudes a l'aigua residual. El resultant d'aquest consum serveix als microorganismes per mantenir les seves funcions vitals, alhora que genera un elevada producció de nous individus (WEF, 1994). En certa manera, el que s'aconsegueix es transformar la fracció soluble de matèria orgànica en un material insoluble, fet que facilita la seva posterior separació amb una simple decantació.

$$Matèria\ \ orgànica + O_2 \xrightarrow{microorganismes} CO_2 + H_2O + nous\ \ microorganismes$$

La major part dels microorganismes separats al decantador és retornada cap el reactor biològic per tal de mantenir el nivell de depuració necessari, mentre que una petita fracció és apartada diàriament del sistema i enviada cap a la línia de fangs, per tal d'evitar un augment i envelliment excessiu de la biomassa present al sistema.

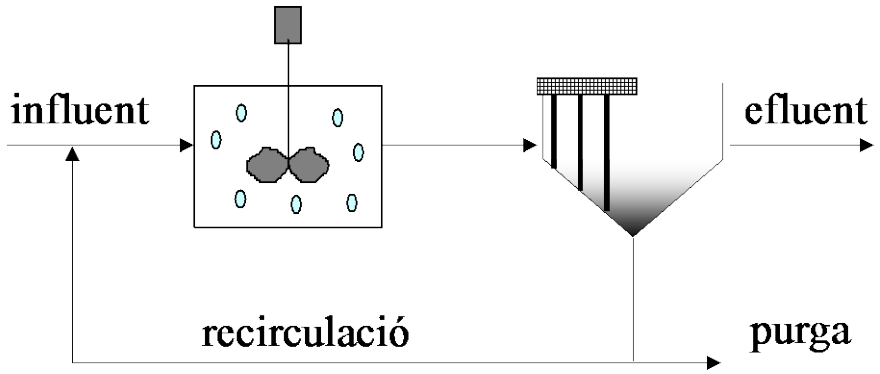


Fig.3. Procés de llots actius.

La figura 3 mostra l'esquema bàsic de tot tractament de llots actius, amb un reactor biològic airejat de mescla completa que rep l'influent, un decantador, i el sistema de retorn conformat per la recirculació i la purga.

4.3.2. *Modificacions per l'eliminació de nitrogen:*

Quan la EDAR es fixa com a objectiu l'eliminació biològica del nitrogen, cal adequar el sistema convencional de llots actius a les diferents reaccions del procés. Una de les modificacions més interessants d'aplicar quan hi ha una manca d'espai, és el reactor SBR (Seqüenciació de Reactors Batch).

La primera etapa d'eliminació del nitrogen amoniacal consisteix en la conversió de l'amoni de l'influent a nitrats, en condicions d'elevada concentració d'oxigen dissolt i edats cel·lulars suficients per evitar el rentat dels bacteris nitrificants, mentre que la segona etapa converteix aquests nitrats generats en nitrogen gas que s'escapa a l'atmosfera. En aquest cas les condicions requerides són d'absència d'oxigen molecular i presència d'una font carbonosa suficient.

Per tal d'entendre el procés d'eliminació d'amoni, a continuació s'explica les bases del cicle del nitrogen.

- **<u>El cicle del nitrogen</u>***:*

El cicle complet del nitrogen es basa en les etapes de nitrificació i desnitrificació.

<u>Nitrificació</u>: Pot definir-se com la transformació biològica dels compostos nitrogenats orgànics i inorgànics des d'un estat reduït fins a un altre més oxidat (Alexander, 1965).

$$NH_4^+ + 2O_2 \Rightarrow NO_3^- + 2\,H^+ + H_2O$$

Els bacteris nitrificants capaços d'oxidar l'amoníac a nitrit són principalment del gènere *Nitrosomonas* i els que oxiden el nitrit a nitrat són del gènere *Nitrobacter* (Boyd, 2000). Perquè tingui lloc aquesta reacció és necessari un medi aerobi, aquests processos continuen donant-se fins que l'oxigen disminueix fins a una concentració de 0.3 mg/l. Amb aquesta concentració la difusió d'oxigen als bacteris arriba a un punt crític. En els sediments amb poca turbulència i baixes concentracions d'oxigen la nitrificació es veu molt reduïda (Chen *et al.*, 1972), i per això els sediments no aporten nitrat a l'aigua.(nitrificació reduïda en presència de taninos)

<u>Desnitrificació</u>: Procés en el qual el nitrat passa a nitrogen gas, sortint de l'ecosistema per difusió cap a l'atmosfera. Es produeix sota condicions anaeròbiques, on alguns bacteris facultatius dels gèneres *Pseudomonas, Achromobacter, Escherichia, Bacillus i Micrococcus,* utilitzen l'oxigen del nitrat per oxidar la matèria orgànica.

$$NO_3^- \Rightarrow NO_2^- \Rightarrow N_2O \Rightarrow N_2$$

A vegades el producte final no és el N_2; l'amoni també pot resultar un dels productes finals a partir dels nitrits.

$$NO_3^- \Rightarrow NO_2^- \Rightarrow NH_3$$

- **Seqüenciació de Reactors Batch (SBR):**

Aquesta tecnologia es un sistema de llots activats per a tractar aigües residuals que utilitzen cicles d'emplenat i descàrrega. Es fonamenta en la creació, en un sol reactor, d'una combinació seqüencial adequada de condicions aeròbies/anòxiques i decantació. Aquest tipus de reactor biològic és idoni per eliminar nutrients, i per aquells indrets on no hi ha gaire espai per implantar un tractament biològic. Cal tenir en compte el temps de reacció, el nivell d'aigua al tanc i la concentració d'oxigen.

El funcionament d'un SBR es basa en l'entrada de l'aigua residual a un reactor parcialment ple que conté la biomassa ja aclimatada als components de l'aigua residual durant els cicles anteriors. Un cop el reactor s'omple, aquest opera com un sistema convencional de llots activats però sense el flux continu de descàrrega de l'efluent.

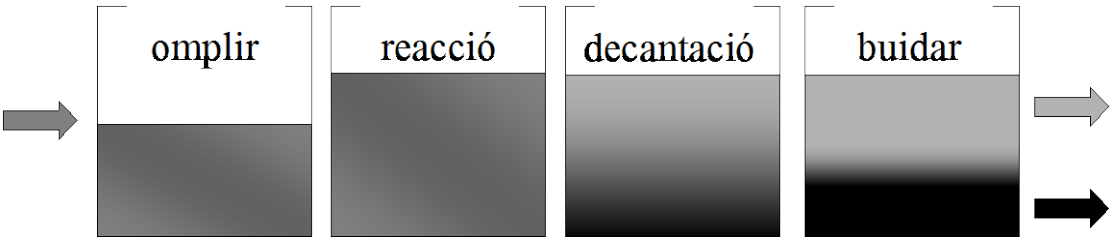


Fig.4. Cicle establert per l'operació d'un SBR.

L'eliminació del nitrogen es dur a terme per reaccions de nitrificació i desnitrificació biològica dins el reactor SBR. En primer lloc, es produeix la reacció de nitrificació. S'aireja el tanc, i l'amoni es transforma per via aerobia a nitrat. Es subministrarà l'oxigen suficient per a reduir la DQO. Posteriorment, s'apaga l'aireació, i es procedeix a la reacció de desnitrificació, on els nitrats es converteixen en nitrogen gas. Finalment hi ha la fase de repòs o sedimentació , on s'aprofita la superfície del tanc per decantar els sòlids per acció de la gravetat. Finalment es treu el clarificat per la part superior del tanc, i l'excés de biomassa (llots activats) és purgada per ser tractada. Aquest sistema sol ser el

més adequat per a l'eliminació de nitrogen perquè: té un elevat rendiment d'eliminació, elevada estabilitat, relativa facilitat de control del procés, reduïdes necessitats d'espai i és un procés en dos etapes.

B) LÍNIA DE TRACTAMENT DE FANGS

El principal subproducte generat en una planta depuradora d'aigües residuals són els fangs o llots, tan primaris com secundaris. Ambdós fangs són conduïts a una línia de tractaments de fangs, que tenen únicament l'objectiu de reduir el seu contingut d'aigua, amb la finalitat de minimitzar el volum final a gestionar. El diagrama de procés d'una línia de tractament de fangs seria el següent:

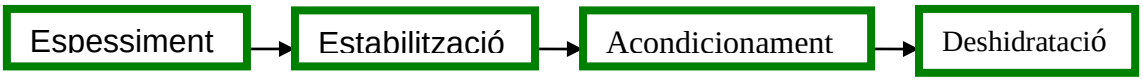


Fig.5. *Diagrama de flux del procés d'una línia de tractament de fangs.*

Una fracció important de les substàncies contaminants que es separen en els processos de tractament d'aigües residuals es troba finalment en aquests llots. En el cas dels llots primaris, entre un 30% i un 50% de la DBO de l'afluent es separa en ells llots del clarificat primari com a DBO insoluble. En les plantes de llots actius, al voltant de les 2/3 parts de la DBO soluble separada correspon a compostos orgànics oxidats per a produir l'energia de manteniment, però 1/3 restant correspon a cèl·lules microbianes que es troben en el llot en excés de les purgues. Òbviament aquests llots no poden ser evacuats sense un tractament previ adequat.

4.4. Espessiment

L'espessiment de fangs pot realitzar-se per gravetat o per flotació.

- **L'espessiment per gravetat** es realitza en tancs de secció circular on hi ha un mecanisme rotatiu semblant al dels decantadors. La concentració de fangs per gravetat és molt utilitzada amb fangs primaris i/o fangs procedents de filtres percoladors amb excel·lent rendiment. Aquest sistema no és suficientment efectiu per a concentracions de fangs únicament biològics, procedent d'un tractament de fangs actius.
- **L'espessiment per flotació** és eficient independentment de la sedimentabilitat dels fangs, i per aquesta raó s'aplica per a concentrar fangs secundaris de fangs actius.

4.5. Estabilització

Els fangs produïts en la depuració de les aigües residuals constitueixen una concentració de la contaminació de les aigües i, com a conseqüència, contenen microorganismes, elements orgànics, etc. , disposats a produir fermentacions provocant olors desagradables, etc. Els fangs requereixen un tractament posterior d'estabilització amb la finalitat de reduir patògens, eliminar olors desagradables i inhibir, reduir o eliminar el seu potencial de putrefacció. Els sistemes d'estabilització més utilitzats són l'estabilització amb cal, l'estabilització aeròbia i l'estabilització anaeròbia.

4.6. Acondicionament

Un cop s'han concentrat els fangs, aquests segueixen tenint una proporció molt elevada d'aigua (en el cas dels escorxadors amb tractament biològic és del 97-98%). Per aquest motiu, serà molt important realitzar una deshidratació complementaria a fi d'obtenir fangs transportables o manejables mecànicament. L'acondicionament dels fangs pot realitzar-se mitjançant un tractament tèrmic o floculació química.

4.7. Deshidratació

Aquesta fase consisteix en separar una gran part de l'aigua que contenen els fangs amb la finalitat de reduir el seu volum. Els principals processos de deshidratació són per centrifugació o per filtre premsa.

4.7.1. ***Centrifugació:***

Es fonamenta en l'acció centrífuga per a separar els sòlids de la fase aquosa aprofitant la seva màxima densitat. Amb aquest sistema s'obtenen els fangs amb un contingut de matèria seca de l'ordre del 20-25%. La centrífuga és un equip totalment tancat, de manera que s'evita possibles emissions de males olors durant la seva manipulació. A més a més, cal remarcar l'avantatge que l'aparell requereix poca mà d'obra durant el seu funcionament, tot i que requereix un consum energètic elevat, així com un manteniment costós.

4.7.2. ***Filtre a pressió:***

Existeixen dues maneres de realitzar la deshidratació dels fangs per aquest sistema, mitjançant filtre banda o filtre premsa.

- **Filtre de banda:** es basen en la pressió exercida entre dues cintes de tela filtrant sinfín, que convergeixen entre dos cilindres en matèria seca entre un 20 i un 35%.
- **Filtre premsa:** consisteix en un cert nombre de làmines col·locades sobre unes guies per a garantir l'alineació, essent sotmeses totes juntes a pressió per sistemes electromecànics i hidràulics entre un extrem fix i un de mòbil. Entre les làmines es col·loquen membranes filtrants. El fang és introduït mitjançant conductes, arribant a través dels orificis de les làmines als forats entre aquestes, quedant entre les dues membranes filtrants, de manera que quan s'exerceix pressió elevada s'aconsegueix separar l'aigua que es filtre pels poros de la membrana, quedant el fang retingut.

4.8. Eliminació i/o aprofitament dels fangs

Un cop obtinguts els fangs deshidratats s'ha d'analitzar quines són les vies d'eliminació o aprofitament que existeixen. La principal via d'aprofitament en el cas dels fangs d'escorxador és la seva aplicació en el terreny, ja que pot aprofitar-se el seu elevat contingut en matèria orgànica i nutrients per al seu aprofitament agrícola. En aquest cas és necessari que el fang estigui estabilitzat (digestió i/o compostatge) (R. López i A. Casp Vanaclocha, 2004).

De totes maneres, en el cas dels escorxadors també és molt habitual la seva disposició en abocadors, essent aquesta una opció costosa i que cada vegada té més limitacions.

Una altre possibilitat d'eliminació és mitjançant la incineració, que és una tècnica que cada vegada està tenint més importància.

5. COAGULACIÓ - FLOCULACIÓ:

L'aigua residual sol contenir gran varietat d'impureses, tan solubles com insolubles. D'entre aquestes, destaquen les partícules col·loïdals, la matèria en suspensió, les substàncies dissoltes (minerals o orgàniques) i els microorganismes en general. Alhora de depurar un aigua, generalment, és precís combinar diferents tractaments elementals, de base física, química o biològica, per tal d'eliminar en primer lloc la matèria en suspensió, en segon lloc les substàncies col·loïdals, i finalment les substàncies dissoltes.

La petita dimensió de les partícules col·loïdals presents a l'aigua, així com l'existència de càrregues negatives repartides en tota la seva superfície, afavoreixen a l'estabilitat de les suspensions col·loïdals. Aquesta estabilitat impedeix que les partícules s'aproximin les unes amb les altres, de manera que aquestes no interaccionin entre si, i no puguin agregar-se. Per tal d'eliminar aquestes impureses, cal alterar algunes característiques de l'aigua, a través de processos de coagulació, floculació, flotació i filtració.

5.1. Eliminació de sòlids en suspensió

L'eliminació dels sòlids en suspensió implica essencialment processos físics que condueixen a una separació de fases. Bàsicament, aquests processos són: sedimentació, flotació i filtració.

5.1.1. ***Sedimentació*:**

Operació física unitària utilitzada pel tractament de les aigües residuals. La sedimentació es basa en l'aprofitament de la gravetat de les partícules en suspensió amb un pes específic més gran que el de l'aigua. És un tractament físic que s'utilitza en el tractament de les aigües per tal d'aconseguir una millora del clarificat. Està relacionada exclusivament amb les propietats de caiguda de les partícules en l'aigua. Quan es produeix la sedimentació de partícules en suspensió, el resultat final és sempre un fluid clarificat i una suspensió concentrada.

Les partícules en suspensió sedimenten de manera diferent, en funció de les característiques de les partícules, així com de la seva concentració.

Les partícules en suspensió sedimenten de forma diferent, en funció de les característiques de les partícules, i de la seva concentració. Es poden distingir doncs, quatre tipus de sedimentació: sedimentació de partícules discretes, sedimentació floculenta, sedimentació retardada o zonal, i sedimentació per compressió.

A) *Sedimentació de partícules discretes:*

Es refereix a la sedimentació de partícules en una suspensió amb baixa càrrega de sòlids. Les partícules sedimenten com a entitats individuals i no existeix interacció entre les partícules veïnes. A més a més, les partícules no canvien de característiques (forma, tamany, densitat) durant la caiguda. Aquest tipus de partícules i aquesta forma de sedimentació és típic en dessorradors, sedimentadors i pre-sedimentadors amb pas previ a la coagulació en plantes de filtració ràpida i filtració lenta.

B) *Sedimentació floculenta:*

Les partícules floculentes són aquelles produïdes per l'aglomeració de partícules col·loïdals desestabilitzades a conseqüència de l'aplicació d'agents químics. A diferència de les partícules discretes, les característiques d'aquest tipus de partícules – forma, tamany, densitat – si canvien durant la caiguda. L'agregació de les partícules produeix un augment de la seva massa, generant com a conseqüència, un augment de la seva velocitat.
Aquest tipus de sedimentació es presenta en la clarificació de l'aigua, com a procés intermedi entre la coagulació – floculació i la filtració ràpida.

C) *Sedimentació retardada o zonal:*

Es tracta de suspensions de concentració intermèdia, on les forces entre partícules són suficients per a interferir la sedimentació de les partícules veïnes. Les partícules tendeixen a romandre en posicions fixes, de manera que la massa de partícules sedimenta com un sola unitat. D'aquesta manera, es desenvolupa una interfase sòlid – líquid a la part superior de la massa que sedimenta.

D) *Sedimentació per compressió:*

Sedimentació on les partícules estan concentrades de tal manera que es forma una estructura, i la sedimentació només té lloc com a conseqüència de la compressió d'aquesta estructura. La compressió es produeix a causa del pes de les partícules, que es van afegint constantment a l'estructura per sedimentació des del líquid sobrenadant.

La velocitat de sedimentació o de descens és el paràmetre fonamental d'aquest procés i està afectat per nombroses variables de disseny i d'explotació. Per tal de millorar el rendiment d'aquesta operació, solen afegir-se, prèviament, reactius coagulants i floculants per tal de proporcionar una decantació més complerta i més ràpida.

5.1.2. *Flotació*:

La flotació és un procés de clarificació primària, utilitzada per a tractar aigües amb nivells de terbolesa baixos, altament colorejades i amb gran contingut d'algues.

Consisteix en la separació de les partícules presents en l'aigua, coagulades o floculades, mitjançant l'ús de sals d'alumini o de ferro i de polímers. Es aquell procés on es permet convertir els sòlids en suspensió i algunes substàncies col·loïdals i emulsionades en matèries flotants. La flotació consisteix en l'adhesió de bombolles d'aire sobre les partícules sòlides,

col·loïdals i emulsionades que existeixen, ja sigui en el seu estat original o prèviament coagulades i floculades, per tal de reduir la densitat aparent del conjunt i provocar una ascensió dels materials fins a la superfície de l'aigua.

En els cas dels escorxadors la tècnica de flotació més utilitzada és la flotació per aire dissolt, DAF (Disolved Air Flotation), en el qual la separació dels elements sòlids i líquids es dur a terme introduint aire dissolt en forma de bombolles en les aigües residuals. Les bombolles es produeixen des de una solució saturada d'aire en aigua a pressió (5-8 atmosferes) que és portada fins a pressió atmosfèrica, de manera que s'elimina l'aire en excés en forma de fines bombolles que s'uneixen a les partícules provocant una ascensió cap a la superfície.

Els mecanismes de contacte entre les bombolles d'aire i les partícules poden resultar de les següents accions:

- Col·lisió entre la bombolla i la partícula, degut a la turbulència o a l'atracció entre ambdues.
- Contacte entre els flocs que estan sedimentant i les bombolles d'aire en ascensió.
- Creixement de les bombolles d'aire entre els flocs.

Qualsevol sistema de flotació ha de presentar les següents característiques:

- Generació de bombolles d'un grandària suficient en relació amb les partícules que s'han d'eliminar.
- Adherència eficient entre les bombolles d'aire i les partícules en suspensió.
- Separació adequada del material flotant.

5.1.3. ***Filtració*:**

Es basa en la retenció de partícules en suspensió i partícules col·loïdals presents en un aigua residual que passa a través d'un medi porós. Es la operació final de clarificació que es realitza en una planta de tractament d'aigües.

L'eficiència de la filtració està relacionada amb les característiques de la suspensió, del medi filtrant, de la hidràulica de la filtració i de la qualitat de l'afluent.

A) *Característiques de la suspensió:*

L'eficiència d'eliminació de les partícules en suspensió en un medi filtrant està relacionada amb:

- Tipus de partícules en suspensió: La filtració de flocs variarà en funció de si els flocs provenen d'un pretractament realitzat amb un coagulant d'una sal de ferro o d'alumini.

- Grandària de les partícules en suspensió: Existeix un grandària crític de partícules en suspensió, a partir del qual la oportunitat de contacte entre les partícules i el medi filtrant disminueix.

- Densitat de les partícules en suspensió: Com major sigui la densitat de les partícules en suspensió, major serà l'eficiència d'eliminació de les partícules de grandària superior al grandària crític.

- Resistència de les partícules en suspensió: La resistència dels flocs és un factor important ja que aquells flocs dèbils tendeixen a fragmentar-se i penetrar fàcilment a l'interior del medi filtrant, afavorint així un augment de la terbolesa final.

- Temperatura de l'aigua a filtrar: L'augment de la temperatura afavoreix la filtració, ja que suposa un augment de l'energia termodinàmica en les partícules de l'aigua, i com a conseqüència, la difusió es torna un mecanisme important quan es tenen partícules en suspensió de grandària menor a una micròmetre.

- Potencial zeta de la suspensió: Quan les partícules en suspensió i els grans del medi filtrant tenen potencial zeta del mateix signe, la interacció entre capes dificulta l'adherència, reduint així l'eficàcia d'eliminació. Normalment, els materials del medi filtrant tenen potencial zeta negatius, de manera que interessa que les partícules en suspensió tinguin potencial zeta neutre o positiu.

- pH de l'afluent: El pH influeix en la capacitat d'intercanvi iònic entre les partícules en suspensió i els grans del medi filtrant. Per valors de pH inferiors a 7,0, disminueix l'intercanvi de cations i augmenta l'intercanvi d'anions sobre les superfícies positives. En canvi, per valors de pH superiors a 7,0, es produeix un augment en l'intercanvi de cations i una disminució en l'intercanvi d'anions sobre les superfícies negatives.

B) *Característiques del medi filtrant:*

Existeixen diferents aspectes del medi filtrant que poden influir en l'eficiència de la filtració. D'entre ells se'n destaca:

- Tipus de medi filtrant: L'elecció del medi filtrant depèn de molts factors. Entre els més importants destaquen la qualitat desitjada per a l'efluent, els costos i la facilitat d'adquisició dels materials en el mercat. Un dels medis filtrant per excel·lència és la sorra.

- Característiques granulomètriques del medi filtrant.

- Pes específic del material filtrant.

- Espessor de la capa filtrant.

C) *Característiques hidràuliques:*

Les característiques hidràuliques que influeixen en l'eficiència de la filtració són: la taxa de filtració, la càrrega hidràulica disponible per a la filtració, el mètode de control dels filtres, i la qualitat de l'efluent.

5.2. Eliminació de substàncies col·loïdals. Coagulació:

Les impureses col·loidals presents en l'aigua residual, presenten una càrrega superficial negativa. Aquesta càrrega, impedeix que les partícules s'aproximin les unes amb les altres, i romanguin estables en el medi. Per tal de remoure aquestes impureses, cal alterar les característiques de l'aigua mitjançant processos de coagulació, floculació i filtració.

La coagulació consisteix en la desastabilització dels col·loïdes presents en les aigües mitjançant l'addició de reactius coagulants. Normalment s'utilitzen reactius amb càrregues catiòniques degut a que els col·loïdes presents a l'aigua solen presentar càrrega negativa. La coagulació sol dur-se a terme, normalment, mitjançant l'addició de sals d'alumini i de ferro. La sal metàl·lica actua sobre els col·loïdes de l'aigua mitjançant el catió, neutralitzant les càrregues abans de precipitar. Aquest procés és el resultat de dos fenòmens:

- Reacció del coagulant amb l'aigua, formant espècies hidrolitzades amb càrrega positiva. Aquest procés depèn de la concentració del coagulant i el pH final de la mescla.
- Transport de les espècies hidrolitzades per tal de crear un contacte amb les impureses de l'aigua.

La coagulació és funció de les característiques de l'aigua i de les partícules presents. Aquestes, defineixen el valor d'altres paràmetres com ara el pH, alcalinitat, color, terbolesa, temperatura, força iònica, sòlids totals

dissolts, mida i distribució de la grandària de les partícules en estat col·loïdal i en suspensió, etc.

5.2.1. ***Partícules col·loïdals*:**

Un col·loïde és una partícula sòlida en suspensió, degut a la seva gran relació superfície/volum, al seu estat d'hidratació, a la càrrega elèctrica superficial, i a la seva mida tan petita. Normalment presenten un diàmetre aproximat d'entre 1 i 1000 milimicròmetres, i el seu comportament depèn de la seva naturalesa i origen. Aquestes partícules presents en l'aigua són les principals responsables de la terbolesa, el color i la DBO en nombrosos abocaments industrials.

L'estabilitat de les partícules col·loïdals es deu a diversos aspectes i nombroses teories, d'entre elles, la teoria de la doble capa elèctrica.

5.2.2. ***Teoria de la doble capa elèctrica:***

Segons aquesta teoria, existeix una doble capa iònica en la interfase sòlid – líquid. La superfície del col·loïde presenta una càrrega negativa que es veu compensada per un conjunt d'ions de càrrega positiva presents en l'aigua, formant així la doble capa elèctrica, denominada també *capa compacta*. Els ions negatius del medi, s'aproximen a la capa compacta i atrauen el ions positius; així es forma la *capa difusa*, que engloba la primera.

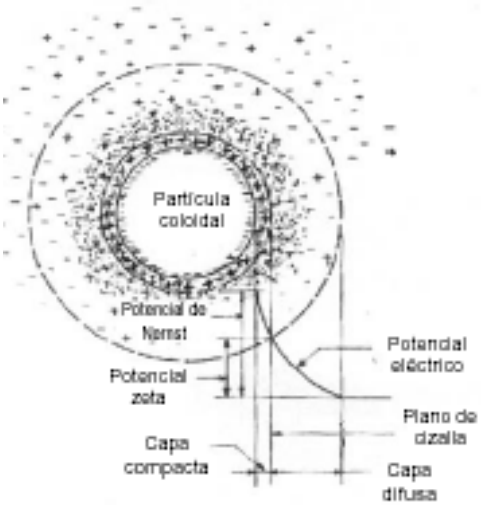


Fig 6. Esquema de la doble capa elèctrica

En realitat, la capa difusa resulta de l'atracció d'ions positius, de la repulsió electrostàtica d'ions negatius (amb la mateixa càrrega de la partícula) i de la difusió tèrmica. S'estableix una elevada concentració d'ions positius pròxims a la superfície

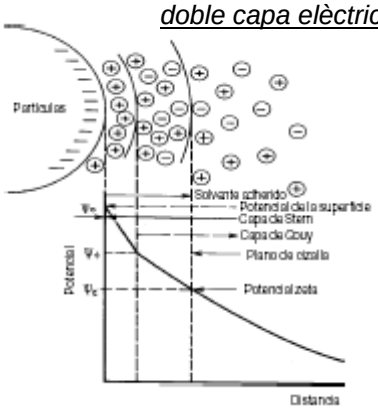


Fig.7. Model de la doble capa difusa d'Stern-Gouy

del col·loïde, també denominada *capa d'Stern*, a partir de la qual es forma la capa difusa, on la concentració d'ions és menor.

Segons Stern, existeix una distància mínima entre la superfície del col·loïde i els ions de càrrega contrària (positius), en la qual el potencial elèctric decreix linealment.

Ràpidament la disminució resulta exponencial i passa per la frontera entre la capa compacta i la difusa, on el potencial elèctric és anomenat *potencial zeta*.

S'anomena potencial zeta "**Z**" a la diferència de potencial entre el límit de la capa compacta i el si del líquid. El seu valor determina la magnitud de les forces electrostàtiques de repulsió entre les partícules. Com major sigui **Z**, més estable serà el sistema col·loïdal; com menor i més carregat sigui un col·loïde, més estable serà aquest.

Tots els intents d'eliminar els materials col·loïdals del si de l'aigua estaran orientats a disminuir el volum de la doble capa, és a dir, a reduir el potencial **Z** fins a un valor quasi nul. En aquestes condicions es produeix la coagulació de les partícules col·loïdals, essent factible la seva eliminació.

5.3. Eliminació de substàncies dissoltes.

5.3.1. Eliminació de sòlids inorgànics dissolts:

Fins fa poc, aquests no eren considerats en la depuració d'aigües residuals ja es consideraven menys contaminant. Actualment, es coneix la necessitat de limitar l'abocament d'aquestes substàncies procedents de les estacions depuradors. Els mètodes més utilitzats són l'evaporació, la diàlisi, l'intercanvi iònic,....

5.3.2. Eliminació de sòlids orgànics dissolts:

L'eliminació dels sòlids orgànics dissolts en els abocaments industrials és un objectiu difícil d'aconseguir. Aquests sòlids, normalment, són oxidats ràpidament pels microorganismes presents en els corrents receptors de l'efluent, produint així un dèficit de l'oxigen dissolt, i com a conseqüència la presència d'un aigua poc oxigenada. El tractament d'aquests sòlids, es basarà doncs, en tractaments de tipus biològic, aerobi o anaerobi.

OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest projecte és la proposta (disseny i estimació econòmica) d'un sistema de tractament de les aigües residuals i els fangs generats a un escorxador porcí de Granollers. Per tal de portar a terme aquest objectiu s'han especificat els següents sub-objectius:

1. Anàlisi de la situació de l'escorxador porcí situat al municipi de Granollers. L'anàlisi es centrarà en estudiar el diagrama de flux existent, així com les característiques de l'aigua residual i els fangs produïts a l'escorxador.

2. Estudi de la legislació competent. L'abocament de les aigües produïdes per l'activitat de l'escorxador porcí està subjecte a les limitacions marcades pel Reglament del Consorci del Besòs, aprovat per la Junta General del dia 21 de febrer de 1991, i modificat per la mateixa Junta General el dia 10 de març de 1994.

3. Optimització del tractament físico – químic existent a l'escorxador, per complir la legislació pertinent, mitjançant l'ajust dels coagulants i floculants, les condicions d'operació i l'assaig de deshidratació de fangs al laboratori d'Aplicació de Derypol.

4. Estimació de la dosi d'aplicació a les instal·lacions de l'escorxador, i dels costos d'explotació. Comprovació in - situ a les instal·lacions de l'EDAR.

5. En base als resultats de l'optimització, es generaran diferents alternatives de depuració biològica que complementi el tractament físico – químic.

6. Càlcul dels rendiments d'eliminació i dels costos de construcció i operació de les alternatives generades de tractament biològic. Aquest

estudi es farà per simulació amb un model estandarditzat del sistema de llots actius.

7. Avaluació comparativa dels resultats de les diferents alternatives de tractament. L'avaluació es farà en funció del cost d'explotació i de la millora de la qualitat de l'aigua i el fang obtinguda.

MATERIALS I MÈTODES

El present estudi es va realitzar en tres etapes.

1) En la primera etapa, es va realitzar un anàlisi de la situació present en l'àmbit d'estudi de l'escorxador.
2) En la segona etapa es va realitzar un estudi exhaustiu d'anàlisi de laboratori, per tal d'optimitzar el tractament fisico-químic de l'aigua residual, i el tractament dels fangs de l'escorxador. L'assaig de laboratori es va realitzar al laboratori d'aplicació de l'empresa Derypol, mitjançant l'anàlisi en el jar-test i l'anàlisi de deshidratació de fangs.
3) Finalment, la tercera etapa es va basar en l'estudi d'alternatives basades en la implantació d'un reactor biològic SBR. Aquest estudi es va realitzar mitjançant el programa informàtic CAPDETWORKS.

A continuació s'exposen els materials i mètodes utilitzats per tal de desenvolupar i realitzar aquest projecte.

6. MÈTODES D'ANÀLISI

L'elecció del procés de depuració d'una aigua residual passa per diferents etapes abans d'elegir el tractament més idoni. Les primeres etapes d'elecció consisteixen en la presa representativa de la mostra i en l'assaig en el jar-test realitzat al laboratori. Aquestes dues primeres etapes són de gran importància ja que marcaran la línia de tractament a seguir a una escala d'aplicació més gran. Aquestes etapes determinaran l'elecció d'aquells reactius potencialment utilitzables per tractar un aigua, les dosis a aplicar i les condicions requerides per tal d'obtenir resultats òptims. Entre aquestes condicions cal remarcar el pH òptim de tractament, la temperatura de l'aigua i l'ordre d'addició dels reactius.

Aquest capítol deixa ja de banda l'aspecte purament teòric de lo que és un tractament fisico-químic, i es centra ja en la resolució pràctica d'un problema: l'assaig d'una mostra d'aigua residual al laboratori. En el present estudi, les aigües residuals a tractar procedeixen d'un escorxador porcí situat al municipi de Granollers, al Vallès Oriental.

6.1. Presa de la mostra

La presa de mostra és un aspecte de vital importància per a l'estudi de qualsevol tipus d'aigües o abocaments. Es fàcil d'entendre que sense una mostra representativa de les aigües, abocaments o fangs, no es podrà determinar de manera fiable quin és el tractament més adequat per a la seva depuració. Per tant, les aigües s'hauran de recollir de l'homogeneïtzador previ a l'entrada en planta, i els fangs a la sortida de l'espessidor previ al filtrat o centrifugació. El volum de la mostra ha de ser d'entre 5 i 10 litres segons la complexitat de l'assaig a realitzar, i l'envàs ha de ser resistent i de boca ample preferiblement.

Existeixen molts factors que poden fer que les característiques de l'aigua evolucionin contínuament en el temps. Poden observar-se periodicitats diàries, setmanals i anuals. En general, cal tenir en compte els següents aspectes:

- Analitzar la mostra lo més aviat possible per tal d'evitar possibles canvis en les característiques de l'aigua.
- Prendre mostres representatives. Si l'efluent té característiques constants , n'hi haurà prou en agafar poc volum de mostra i conservar-lo fins a la realització dels assaigs. Si pel contrari existeixen dos o varis tipus d'abocaments, serà convenient prendre mostres de cadascun d'ells. Si la variabilitat de l'efluent és molt gran i no respon a una periodicitat constant serà necessari realitzar un programa de mostreig més detallat. En la majoria dels casos no és necessari realitzar un programa de mostreig detallat.

- Totes les mostres susceptibles de patir algun procés físic, químic o biològic, hauran de ser refredades fins a una temperatura de 4ºC el més aviat possible.

Normalment, n'hi ha suficient en enviar les mostres ràpidament al laboratori d'anàlisi, en garrafes plenes i a poder ser opaques. Generalment aquestes precaucions són suficients per a realitzar els assaigs de tractament.

6.2. Recepció de les mostres

La recepció de les mostres ha de realitzar-se de manera ordenada i ràpida. Quan les mostres arriben al laboratori són etiquetades i emmagatzemades a la nevera fins al moment del seu anàlisis. Es important adjuntar a la mostra un breu resum que inclogui els següents punts:

- Història de la mostra: data i hora de recollida, procedència, composició, dades analítiques, temps de digestió per a fangs biològics, etc.
- Motiu de l'assaig: disseny o ampliació de la planta, ajust del pH, canvis en el procés, pèrdua de rendiment del tractament anterior, etc.
- Tractament actual: reactius, dosis, resultats obtinguts, etc.
- Restriccions al tractament: estat físic dels reactius, possibilitat d'ajust de pH, disponibilitat d'equips de preparació, separació de fangs per flotació o decantació, deshidratació per filtre banda, premsa o centrífuga, abocament al riu, a col·lector o a recirculació, etc.

Mitjançant l'anàlisi d'aquestes dades i amb l'ajuda de l'experiència aconseguida amb els assaigs, es presenten una o varies solucions al problema de tractament de les mostres. Aquests possibles tractaments s'hauran d'assajar posteriorment en planta, aconseguint així una optimització complerta del procés.

6.3. Caracterització de les mostres

Prèviament a la realització de l'assaig, es realitzaran sobre la mostra una sèrie de determinacions sobre les seves característiques. Aquests anàlisis inclouen el pH, la terbolesa, la conductivitat, el contingut de sòlids i el contingut de volàtils entre d'altres. En funció del tipus de mostra a analitzar, aigua o fang, la caracterització serà diferent.

Es de gran importància realitzar un bon estudi de caracterització de la mostra, ja que aquest donarà una idea bastant representativa del tipus de tractament que necessitarà la mostra i de les dosis necessàries. A més a més, a partir dels paràmetres caracteritzats, s'aconsegueix donar resposta a molts dels resultats obtinguts en el tractament.

6.3.1. ***Caracterització de les mostres d'aigua i les mostres de fang:***

Els paràmetres que s'han analitzat per tal de caracteritzar l'aigua residual prèviament al seu tractament són: pH, conductivitat, terbolesa i contingut total de sòlids. Els paràmetres que s'analitzen per tal de caracteritzar un fang prèviament al seu tractament són: pH, contingut total de sòlids i contingut de volàtils totals. A continuació d'exposen els mètodes utilitzats per mesurar aquests paràmetres.

6.3.2. ***pH:***

El pH de l'aigua és un paràmetre bàsic per a la caracterització d'una mostra d'aigua. El pH de l'aigua és una variable molt important perquè moltes de les reaccions que controlen la qualitat de l'aigua depenen del pH. Normalment les aigües contenen àcids i bases, i els processos biològics tendeixen a fer augmentar l'acidesa o la basicitat. Les reaccions que tenen lloc entre aquests compostos oposats i els processos determinen el pH. El diòxid de carboni és particularment influent en la regulació del pH, és un àcid i la seva concentració és el resultat d'un flux continu de la seva utilització en la fotosíntesi de les plantes aquàtiques i la respiració dels organismes aquàtics.

L'alcalinitat de l 'aigua, que és el resultat de les concentracions de carbonat i bicarbonat dóna capacitat tampó i així evita a l'aigua de canvis molt importants de pH. Entendre la relació entre el pH, el diòxid de carboni i l'alcalinitat és essencial per a estudiar la qualitat d'un aigua (Boyd, 2000).

- *Mètode d'anàlisi del pH:*

CAMP:

Paràmetre bàsic per a la determinació d'una mostra d'aigua i una mostra de fang.

MATERIAL:

- Vas de precipitat amb la mostra
- pH-metre BASIC 20 CRISON equipat amb una sonda de temperatura.
- Elèctrode de pH. Útil per a un rang de pH de 0 a 14 i un rang de temperatura de 0-60ºC. Sistema de referència Ag/AgCl. Electrolit KCl 3M + AgCl.
- Imans d'agitació.
- Agitador magnètic.
- Paper absorbent.

REACTIUS:

- Patrons standard de pH (4.00, 7.02)
- Aigua destil·lada
- Electrolit KCl 3M + AgCl

PROCEDIMENT:

- *Posada en marxa i calibrat de l'equip:*

La calibració s'ha de realitzar diàriament i cada vegada que es canviï l'elèctrode.

- Accionar l'interruptor i esperar 30 segons fins que l'aparell es posi en règim de treball.
- Rentar l'electròde amb aigua destil·lada i assecar cuidadosament amb paper absorbent.
- Apretar el dibuix amb una ampolla. Apareix el missatge "Tampón pH 7" Submergir l'elèctrode amb el tampó de 7 agitant lleugerament. Quan el pH-metre acabi de fer la lectura apareixerà el missatge "2º Tampón".
- Rentar l'elèctrode amb aigua destil·lada i assecar. Submrgir el tampó de pH 4 i apretar el dibuix de l'ampolla.
- El pH-metre ja queda calibrat.

- *Mesura del pH:*

Submergir el pH-metre dins la mostra i agitar. Apretar la tecla ENT i esperar a que les lletres pH deixin de parpellejar. Aleshores la lectura del pH de la mostra surt a la pantalla.

6.3.3. ***Conductivitat:***

La conductivitat és un paràmetre que aporta una mesura indirecta del contingut de sals d'una aigua, de forma que a major contingut de sals, més gran serà el valor de conductivitat elèctrica que s'obtindrà (Mujeriego, 1990). La salinitat és causada principalment per quatre cations: calci, magnesi, sodi i potassi i també per altres anions com carbonat, sulfat i clorurs.

Normalment es troben unes composicions catiòniques de:

$$Ca > Mg \geq Na > K$$

I unes composicions aniòniques de:

$$CO_3 > SO_4 > Cl$$

La conductància específica de l'aigua és una mesura de la resistència d'una solució al flux elèctric. La resistència d'una solució aquosa a la corrent elèctrica o al flux d'electrons disminueix a l'augmentar el contingut de sals ionitzades. Per tant, quant més pura és l'aigua, és a dir, quant més baixa és la seva salinitat, major serà la resistència al flux elèctric. La conductància específica és la inversa de la resistència específica d'una solució, i aquesta augmenta aproximadament un 2% per cada grau centígrad. Per això es recomana ajustar-se a l'estàndard químic internacional de 25ºC.

- *Mètode d'anàlisi de la conductivitat:*

A continuació s'exposa el mètode analític utilitzat per a mesurar la conductivitat de les mostres.

CAMP:

Mesura de la conductivitat en mostres d'aigua residual.

MATERIAL:

- Conductímetre Crison GLP 31
- Vasos de precipitat
- Bany termostàtic

REACTIUS:

- patrons de conductivitat de KCl de 1278 µS/cm i 4915 µS/cm a 20ºC.

PROCEDIMENT:

- *Mesura amb el Conductímetre Crison GLP 31:*

- Aquest equip es calibra diàriament.
- No és necessari termoestatar la mostra si aquesta es troba ja a una temperatura de 25ºC ± 5 ja que l'equip disposa d'un compensador automàtic de temperatura.
- Submergir la cèl·lula de mesura en la mostra a medir agitant suaument i presionar la tecla ENT.
- Quan l'equip consideri la lectura estable es fixarà el valor de la conductivitat en la pantalla amb les unitats adequades i a la temperatura de referència de 25ºC.
- Rentar la cèl·lula de conductivitat amb aigua destil·lada.

6.3.4. *Terbolesa:*

La terbolesa és una mesura del grau en el qual l'aigua perd la seva transparència a causa de la presència de partícules en suspensió. Com més sòlids en suspensió hi hagi a l'aigua, més bruta estarà aquesta i més alta serà la terbolesa. La terbolesa es mesura mitjançant un turbidímetre o nefelòmetre, que mesura la llum reflexada en un angle de 90º procedent d'un raig de llum que es fa passar per la mostra. Aquesta mesura s'expressa en NTU (Unitats Nefelomètriques de Terbolesa).

Les conseqüències principals de la terbolesa són la disminució de la concentració d'oxigen de l'aigua. Les partícules en suspensió absorbeixen la calor de la llum del sol, fent que les aigües tèrboles augmentin de temperatura, reduint així la concentració d'oxigen en l'aigua (l'oxigen es dissol millor en aigua freda).

Es molt important obtenir un bon clarificat de les aigües tractades, a fi d'obtenir nivells de terbolesa baixos, i per tant, pocs sòlids en suspensió.

- *Mètode d'anàlisi de la terbulesa:*

CAMP:

Mesura de la terbolesa en mostres d'aigua residual.

MATERIAL:

- Turbidímetre DINKO D-112IR
- Cubetes portamostres
- Paper absorbent

PROCEDIMENT:

- Apretar l'interruptor general posterior i en el lector digital apareixerà el primer apartat del menú. Apretant el cursor que permet desplaçar-se per les diferents opcions del menú, seleccionar la opció AUTO RANGE. Amb aquesta opció l'aparell seleccionarà automàticament l'escala en la que està inclòs el valor NTU de la mostra i el lector indicarà aquest valor. Deixar escalfar l'instrument durant 5 minuts abans de la primera lectura.
- Col·locar la cubeta amb la mostra en el portacubetes i apretar "enter".
- l'instrument ens donarà el resultat en NTU.

6.3.5. *Contingut total de sòlids:*

S'anomenen sòlids als residus que s'obtenen com a matèria restant després d'evaporar i assecar una mostra d'aigua a una temperatura determinada. Segons el tipus d'associació amb l'aigua, els sòlids poden estar en suspensió o dissolts. El contingut de sòlids totals equival a la suma del residu dissolt i en suspensió, i es determina a una temperatura de 140ºC.

El contingut de sòlids totals s'expressa en tant per cent d'aigua, i dóna una idea de la dosis necessària alhora d'addicionar els reactius per tractar la mostra. Una mostra d'aigua amb un contingut en sòlids totals elevat necessitarà més dosis de reactius en relació a una mostra menys carregada de sòlids. En definitiva, el contingut de sòlids presents en l'aigua és el que es vol eliminar amb el tractament de coagulació - floculació.

- *Mètode d'anàlisi del contingut total de sòlids:*

CAMP:

Determinació del contingut total de sòlids de qualsevol mostra a una temperatura de 140ºC.

MATERIAL:

- Varilla de vidre
- Balança analítica, precisió +/- 0.0001 gr.
- Dessecador
- Bany de refrigeració
- Espàtula
- Càpsules d'un sol ús
- Estufa a 140ºC
- Pipetes d'un sol ús

PROCEDIMENT:

- Comprovar que la balança ajusta al zero i pesar dues càpsules d'un sol ús a la balança analítica de precisió +/- 0.0001 gr. Utilitzar les pinces per a manipular les càpsules; no s'han de tocar amb les mans. Anotar el pes de les càpsules o tara com a Wo.
- Pipetejar entre 0.5-1 gr de mostra (homogeneïtzada) en una càpsula. Comprovar que la balança ajusta al zero i, amb l'ajuda de les pinces, pesar novament la càpsula amb la mostra. Anotar aquest pes com a Wh. Repetir aquest procés amb la segona càpsula.
- Introduir les dues càpsules dins l'estufa de 140ºC i esperar 1h.
- Extreure les càpsules de l'estufa i deixar-les en un desecador 30-60 segons per a que es refredin.
- Comprovar que la balança ajusta al zero i pesar les càpsules. Anotar el pes com a Ws.
- Les càpsules amb el residu sec ja es poden tirar.

CÀLCULS:

El càlcul del residu sec de la mostra, en tant per cent, s'obté a partir de l'expressió:

$$\mathrm{Res.Sec} = \frac{Ws - Wo}{Wh - Wo} \times 100$$

6.3.6. *Contingut de volàtils totals:*

El contingut de volàtils totals d'un fang és una mesura basada en la l'eliminació quantitativa de la matèria orgànica de la mostra a una temperatura de 700ºC. Prèviament s'asseca la mostra en una estufa a 140ºC, i posteriorment s'introdueix dins la mufla a 700ºC. El contingut de volàtils totals d'un fang dóna una idea de la cationicitat del floculant que es necessitarà en l'assaig de deshidratació dels fangs. Tot i que no sempre es compleix la relació, es podria dir que:

- si Vt% < 65% → Floculant de baixa cationicitat
- si 65% < Vt% < 75% → Floculant de mitjana cationicitat
- si Vt% > 75% → Floculant d'alta cationicitat

El contingut total de volàtils guia una mica alhora d'iniciar l'assaig de deshidratació de fangs, facilitant-ne molt així el tractament.

- *Mètode d'anàlisi del contingut de volàtils totals:*

CAMP:

Determinació del contingut total de volàtils d'una mostra de fang a una temperatura de 700ºC.

MATERIAL:

- Varilla de vidre
- Balança analítica, precisió +/- 0.0001 gr.
- Dessecador
- Mufla a 700ºC
- Espàtula
- Grasol
- Estufa a 140ºC
- Pipetes d'un sol ús

PROCEDIMENT:

- Calcular el percentatge de sòlids totals (%St) de la mostra de fang seguint el mètode descrit anteriorment.
- Comprovar que la balança ajusta al zero i pesar un grasol a la balança analítica de precisió +/- 0.0001 gr. Utilitzar les pinces per a manipular-lo; no s'ha de tocar amb les mans. Anotar el pes com a Wo.
- Pipetejar entre 6-7gr de mostra (homogeneïtzada) en el grasol. Comprovar que la balança ajusta al zero. Anotar aquest pes com a Wh.
- Introduir el grasol dins l'estufa de 140ºC i esperar 1h. Posteriorment treure el grasol de l'estufa i introduir-lo dins la mufla a 700ºC durant 3h.
- Extreure el grasol de la mufla i deixar-lo en un dessecador per a que es refredi.
- Comprovar que la balança ajusta al zero i pesar el grasol. Anotar el pes com a Ws.

CÀLCULS:

El càlcul del contingut total de volàtils de la mostra de fang, en tant per cent, s'obté a partir de l'expressió:

$$\frac{\left(\frac{Ws - Wo}{Wh - Wo} \times 100\right)}{\%St} \times 100 = X \qquad \boxed{\%Vt = 100 - X}$$

6.4. Determinació conductimètrica de l'anió NO_3^- en solució aquosa

Per tal de quantificar el contingut en NO_3^- de la mostra d'aigües s'utilitza el següent mètode:

- *Mètode d'anàlisi del contingut de NO_3^-:*

CAMP:

Determinació del contingut de NO_3^- d'una mostra d'aigües residuals.

TEORIA:

A una mostra d'aigua de la que interessa quantificar-ne el seu anió NO_3^-, es dilueix de manera adequada per a que no provoqui una saturació de la columna. La mostra passa a través d'una columna de poliacrilat activada amb extrems trimetilamoni. Degut a les diferents afinitats entre les càrregues aniòniques i els extrems catiònics de la columna es produeix una separació en el temps d'elució dels anions a determinar. La detecció es realitza per conductimetria.

MATERIAL:

- Equip d'HPLC
- Columna IC-Pak Anion, 4.6 mm x 50 mm
- Injector U6K amb un loop de 100 µl
- Balança analítica amb una precisió de ± 0.0001 g.
- Pipeta de 10 ml
- Vasos de 200 ml
- Agitador magnètic i imans agitadors
- Mòdul per filtrar Millipore
- pH-metre
- Filtre Millipore Millex-VV 0.1 µm
- Filtres Millipore Millex-HVLP 0.45 µm
- Conductímetre
- Matraços d'1 litre i de 100 ml
- Poveta de capacitat mínima 250 ml

REACTIUS:

- Aigua MiliQ o equivalent
- àcid nítric- Hidròxid potàssic (KOH)
- Àcid bòric (H_3BO_3)
- Gluconat sòdic
- Tetraborat sòdic decahidratat
- Glicerina
- N-Butanol grau HPLC
- Acetonitril grau HPLC
- Clorur sòdic (NaCl)
- Nitrat sòdic ($NaNO_3$)
- Sulfat sòdic (Na_2SO_4)
- Fluorur sòdic (NaF)
- Nitrit sòdic ($NaNO_2$)
- Bromur potàssic (KBr)
- Dihidrogenofostat potàssic (KH_2PO_4)

CONDICIONS DE TREBALL DELS INSTRUMENTS:

- Columna: IC-Pak Anion, 4.6 mm x 50mm
- Fase mòbil: per a 1 litre de fase mòbil

a) En un matràs d'1 litre afegir 18 gr d'àcid bòric, 16 gr de gluconat sòdic i 25 gr de tetraborat sòdic decahidratat. Afegir uns 500 ml d'aigua MiliQ i agitar fins a total dissolució. Afegir 250 ml de glicerina i enrasar amb aigua MiliQ.

b) La solució anterior és necessària per a preparar la fase mòbil: posar 500 ml d'aigua MiliQ en un matràs d'1litre, afegir 20 ml de la solució anterior de borat sòdic/gluconat concentrada, 20 ml de n-butanol grau HPLC, 120 ml d'acetonitril grau HPLC i enrasar amb aigua MiliQ.

c) Agitar i filtrar a través d'un filtre tipus HV.

- Fluxe de treball: 1.2 ml/min.
- Detector: Base Sensitivity= 500 µS Recorder Sensitivity = 0.01
  Response = STD 2 (0.5 seg) Tº = 35 ºC
  Polarity = + (llum vermella encesa)
- Volum d'injecció: 100 µl
- Temperatura ambient

PROCEDIMENT:

- *Preparació de patrons:*

- En un matràs d'1litre afegir 1.6 gr de NaCl, 1.4 gr de $NaNO_3$, 1.5 gr de Na_2SO_4 i aigua. Un cop dissolt, s'enrasa i s'afegeixen 2-3 gotes de cloroform i es calculen les concentracions exactes: $$ppmNO_3^- = grNaNO_3 \times \frac{62}{84.99} \times 100$$

- Es preparen patrons de 3, 6.5, 10 y 15 ppm

- *Preparació de mostres:*

- Mirar la conductivitat de la mostra d'aigua a analitzar ja que aquesta no pot superar els 100 µS/cm. En el cas de que superi, es diluirà la mostra.
- Filtrar a través d'un filtre de 0.10 µm tipus VV.

- *Anàlisi cromatogràfic:*

a) **Anàlisi dels patrons**: injectar cada patró, obtenir el cromatograma i el pic d'àrea, revisar de manera visual la integració feta pel programa informàtic, i en el cas que no sigui la correcta, modificar-la manualment. El temps de retenció aproximat pel NO_3^- és de 6.8 min.

b) **Anàlisi de la mostra**: realitzar el cromatograma de la mostra prèviament filtrada i comprovar que la integració dels pics i la identificació sigui la correcta.

6.5. Determinació conductimètrica del catió NH_4^+ en solució aquosa

Per tal de quantificar el contingut en NH_4^+ de la mostra d'aigües s'utilitza el següent mètode:

- *Mètode d'anàlisi del contingut de NH_4^+:*

CAMP:

Determinació del contingut de NH_4^+ d'una mostra d'aigües residuals.

TEORIA:

A una mostra d'aigua de la que interessa quantificar-ne el seu catió NH_4^+, es dilueix de manera adequada per a que no provoqui una saturació de la columna. La mostra passa a través d'una columna cromatogràfica, la qual, degut a la seva càrrega catiònica i els extrems aniònics de la columna es produeix una separació en el temps d'elució dels cations a determinar. La detecció es realitza per conductimetria.

MATERIAL:

- Equip d'HPLC
- Columna IC-Pak Cation, 3.9 mm x 150 mm
- Injector U6K amb un loop de 100 µl
- Balança analítica amb una precisió de ± 0.0001 g.
- Pipeta de 10 ml
- Vasos de 200 ml
- Agitador magnètic i imans agitadors
- Mòdul per filtrar Millipore
- pH-metre
- Filtre Millipore Millex-GS 0.22 µm
- Filtres Millipore Millex-HA 0.45 µm
- Conductímetre
- Matraços d'1 litre i de 100 ml
- Proveta de capacitat mínima 250 ml

REACTIUS:

- Aigua MiliQ o equivalent
- àcid nítric
- EDTA
- Clorur sòdic (NaCl)
- Clorur potàssic (KCl)
- Clorur càlcic ($CaCl_2$)
- Clorur demagnesi hexahidratat ($MgCl_2.6H_2O$)
- Clorur amònic (NH_4Cl)
- Acetonitril grau gradient

CONDICIONS DE TREBALL DELS INSTRUMENTS:

- Columna: IC-Pak Cation, 3.9 mm x 150mm
- Fase mòbil: per a 1 litre de fase mòbil

a) En un matràs d'1 litre afegir 0.0292 gr d'EDTA. Afegir uns 500 ml d'aigua MiliQ. Pipetejar 0.189 ml d'àcid nítric i afegir-los a la dissolució anterior. Enrasar amb aigua MiliQ.

- Agitar i filtrar a través d'un filtre tipus HA.
- Flux de treball: 1..0 ml/min.
- Detector:

Base Sensitivity= 2000 µS
Recorder Sensitivity = 0.01
Response = STD 2 (0.5 seg)
Tº = 35 ºC
Polarity = - (llum vermellaapagada)

- Volum d'injecció: 100 µl
- Temperatura ambient

PROCEDIMENT:

- *Preparació de patrons:*

- En un matràs de 100 ml afegir 10.254 gr de NaCl, 0.297 gr de NH_4Cl, 0.191 gr de KCl, 0.836 gr $MgCl_2.6H_2O$, 0.277 gr $CaCl_2$ i aigua. Un cop dissolt, s'enrasa i es calculen les concentracions exactes: $$ppmNH_4^+ = grNH_4Cl \times \frac{27}{53.5} \times 1000$$

- Es preparen patrons de 0.5, 1, 1.4, 2 i 20 ppm

- *Preparació de mostres:*

- Mirar la conductivitat de la mostra d'aigua a analitzar ja que aquesta no pot superar els 100 µS/cm. En el cas de que superi, es diluirà la mostra.

- Filtrar a través d'un filtre de 0.22 µm tipus GS.

- *Anàlisi cromatogràfic:*

a) **Anàlisi dels patrons**: injectar els patrons de 0.5 a 2 ppm, obtenir el cromatograma i el pic d'àrea, revisar de manera visual la integració feta pel programa informàtic, i en el cas que no sigui la correcta, modificar-la manualment. El temps de retenció aproximat pel NH_4^+ és de 4.4 min.

b) **Anàlisi de la mostra**: realitzar el cromatograma de la mostra prèviament filtrada i comprovar que la integració dels pics i la identificació sigui la correcta.

6.6. Determinació de la demanda química d'oxigen (DQO)

La DQO indica la quantitat d'oxigen procedent de dicromat potàssic, que sota les condicions de treball del procediment indicat, reacciona amb les substàncies oxidables contingudes en l'aigua residual. La mostra d'aigua s'oxida amb una solució sulfúrica de dicromat potàssic i sulfat de plata com a catalitzador.

CAMP:

Mesura de les substàncies orgàniques i inorgàniques oxidables amb dicromat presents en les aigües residuals.

MATERIAL:

- Fotòmetre SQ 300
- Thermoreaktor TR 300
- Pipeta automàtica

REACTIUS:

- Kits reactius

PROCEDIMENT:

- *Per a mostres de rang de DQO entre 25-1500 mg/l:*

- Afegir 3 ml de la mostra a analitzar dins el tub de test del rang 25-1500 mg/l amb la pipeta automàtica, tancar el tub i agitar.
- Posar el termoreactor a 148ºC. Col·locar el tub i a dins i deixar reaccionar durant 2 h.
- Passades les 2 h es treu el tub del termoreactor i es deixa refredar.
- Un cop fred, s'introdueix al fotòmetre SQ 300 i el valor de la DQO apareixerà a la pantalla.

- *Per a mostres de rang de DQO entre 500-10000 mg/l:*

- Afegir 1 ml de la mostra a analitzar dins el tub de test del rang 500-10000 mg/l amb la pipeta automàtica, tancar el tub i agitar.
- Posar el termoreactor a 148ºC. Col·locar el tub i a dins i deixar reaccionar durant 2 h.
- Passades les 2 h es treu el tub del termoreactor i es deixa refredar.
- Un cop fred, s'introdueix al fotòmetre SQ 300 i el valor de la DQO apareixerà a la pantalla.

6.7. Preparació de dissolucions de floculants

Tots els polielectrolits floculants han de preparar-se en forma de dissolució diluïda abans d'afegir-se sobre l'aigua residual o fang que s'hagi de flocular. Els diferents productes floculants poden presentar-se en més d'un estat físic: sòlid, en dissolució aquosa i en emulsió base aigua. Aquests ventall de floculants està pensat en funció de les instal·lacions presents en cada planta depuradora. Algunes tindran equips de dosificació per floculants sòlids i d'altres tindran equips de dosificació per floculants líquids.

6.7.1. *Productes sòlids granulats:*

Es tracte de floculants sòlids granulats, de color blanc, i que es dissolen en aigua. Per preparar les dissolucions dels polielectrolits sòlids es segueix el següent mètode:

1) S'agafa la quantitat d'aigua necessària per a la dissolució i s'agita vigorosament mitjançant un agitador d'hèlice.

Fig. 8. Preparació de productes sòlids

2) En aquestes condicions s'afegeix lentament el producte floculant prèviament pesat, evitant la formació de grumolls. Es molt important aconseguir que el contacte de les partícules sòlides del polielectrolit amb l'aigua sigui una a una.

3) Un cop afegit el floculant, es pot reduir l'agitació fins que es produeixi un lent però continu moviment de les partícules en el si de l'aigua. Es necessari esperar aproximadament una hora per tal d'aconseguir la total dissolució del floculant sòlid en l'aigua. Durant aquest temps, el polielectrolit desenvolupa totalment les seves cadenes (es dissol), i es produeix un gran augment de la seva viscositat. Al cap d'una hora el producte ja està totalment preparat.

4) En cap cas es prepararan dissolucions superiors al 0.5%, ja que s'obtindrien viscositats massa elevades i dificultaria la correcta agitació.

A escala industrial, la dosificació del floculant sòlid es realitza mitjançant mescladors del tipus Venturi, que posen en íntim contacte cadascuna de les partícules amb l'aigua abans d'arribar a la massa principal de la dissolució. Al laboratori, els floculants sòlids es prepararan al 0.1% (en el cas dels floculants aniònics) i al 0.3% (en el cas dels floculants catiònics). A partir de les dissolucions preparades es realitzarà el tractament de les mostres.

6.7.2. ***Productes en emulsió:***

Es tracta de líquids blanquinosos d'elevada viscositat. Al igual que els productes sòlids, s'afegeixen a poc a poc sobre l'aigua en agitació. El temps de maduració sol ser d'uns 30 minuts aproximadament. Al igual que abans, s'ajustarà la concentració final de la dissolució per dilució. Les emulsions es preparen al 0.5%, i a partir de la dissolució es realitza el tractament de la mostra.

Fig. 9. Preparació de productes en emulsió

6.7.3. ***Productes en dispersió aquosa:***

Es tracta de líquids transparents de menys viscositat que les emulsions. La preparació de dilucions és molt més senzilla. Simplement es necessita afegir aigua i agitar durant uns 30 minuts.

Les dispersions aquoses es preparen a l'1%, i a partir de la dissolució es realitza el tractament de la mostra.

6.8. Assaig de Jar-test

Existeixen diferents tipus d'assaigs i varietats d'aquests destinats a conèixer quines són les millors opcions de tractament per a un efluent. L'assaig més utilitzat i en el que es basa el tractament de les aigües en aquest projecte és l'assaig amb el Jar-test. El Jar-test és un mètode estàndard per excel·lència per determinar el procés de clarificació d'un aigua amb un contingut relativament baix de materials sedimentables. En aquest cas d'un aigua residual procedent d'un escorxador porcí.

El mètode es dur a terme en un aparell multiagitador amb 6 pales d'agitació col·locades al llarg d'una línia. D'aquesta manera permet assajar varies mostres de manera simultània.

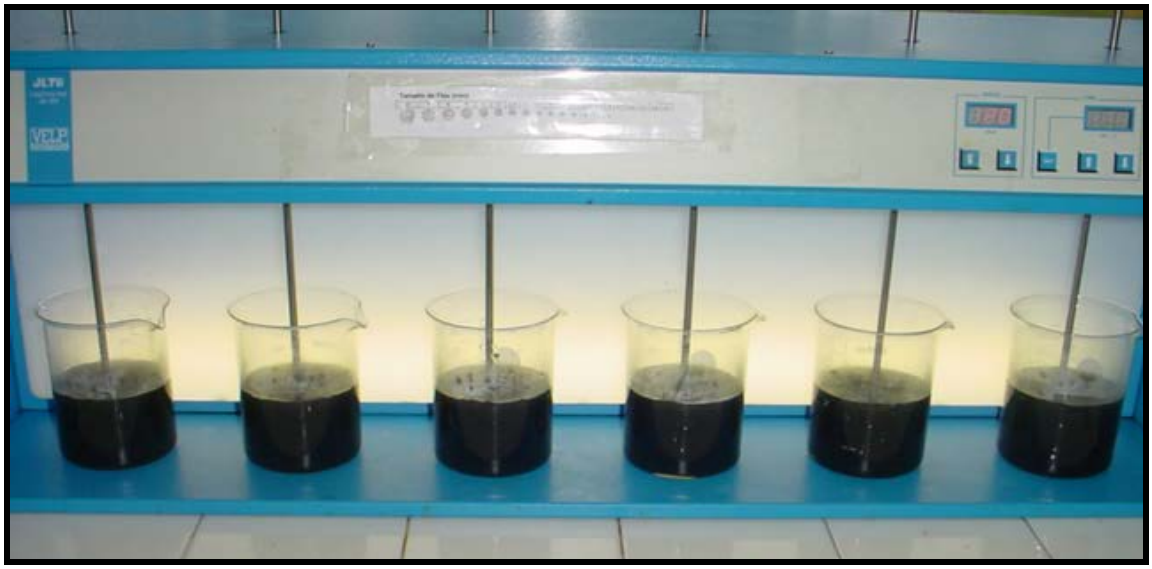


Fig.10. Jar-test

Es pot reproduir tot un tractament físico-químic complert: coagulació, floculació i sedimentació. De manera general, la seqüència de l'assaig és la següent:

1) Addició de l'agent coagulant sobre 300 ml de mostra d'aigües residuals. Sol realitzar-se a un règim d'agitació de 100-150 rpm de les pales. Es manté així durant 1 o 2 minuts perquè la reacció i la mescla sigui complerta. Tot i que aquest espai de temps de reacció no és molt gran, és preferible que sigui curt per tal de reproduir els temps reals a la planta depuradora en qüestió.

2) Després d'aquesta primera etapa, sol ser necessari, tot i que no sempre, afegir un reactiu per tal d'ajustar el pH (cal, sosa, àcid clorhídric,..)de la mostra. Les condicions d'agitació són idèntiques a les anteriors i el temps de mescla no sol ser superior als 2 minuts.

3) A continuació s'afegeix el polielectrolit floculant. Inicialment es manté el règim de 100-150 rpm durant uns 30 o 60 segons; després es redueix fins a 30-40 rpm durant uns 45 segons. En el primer interval de temps es vol una mescla homogènia del floculant en la mostra, i en el segon permetre el creixement i desenvolupament dels flocs formats fins a la major mida possible. Una agitació massa ràpida suposa una força massa brusca que trencaria el floc i produiria una disminució de les característiques de decantació.

4) A partir del moment en que es deté l'agitació es comptabilitza el temps que tarda en decantar el material floculat. Després es pren una mostra de l'aigua clarificada obtinguda i es determinen algunes característiques d'interès: principalment la terbolesa, DQO, color, conductivitat,.....

6.8.1. ***Coagulació:***

La selecció del coagulant és un factor molt important. L'assaig en el jar-test consisteix en efectuar assaigs amb diferents coagulants per tal de veure quin proporciona més eficiència al menor preu.

Amb cada coagulant s'efectua un estudi complert de dosis òptima, concentració i pH òptim de coagulació.

6.8.2. ***Ajust de pH:***

El pH inicial de la mostra dóna una idea del procediment a seguir en el tractament posterior d'aquesta. El rang de pH òptim pel tractament d'assaig d'aigües està entre 5 – 9, ja que el pH pot influir en els procés de la coagulació. En el cas que la mostra presenti un pH per sota o per sobre d'aquest rang, serà necessari realitzar un ajust d'aquest. Es comú l'addició d'un àlcali (generalment cal o sosa) per a optimitzar els processos de coagulació. En alguns casos es requerirà tornar a ajustar el pH de l'aigua fins a un valor que no generi efectes corrosius ni incrustants. A més a més, cal remarcar que el pH del clarificat obtingut amb el tractament ha de complir els nivells que marca la normativa. En general, un aigua no pot abocar-se quan és molt àcida ni quan és molt bàsica.

6.8.3. ***Floculació:***

La floculació es basa en l'addició d'un polielectrolit que faci flocular els coàguls formats en el procés de coagulació. En l'assaig del jar-test es provaran diferents floculants a fi de trobar el més òptim per a flocular la mostra. En funció del tipus de mostra i del seu origen, el tipus de floculant variarà. Existeixen floculants aniònics i floculants de diferents cationicitats i diferents pesos moleculars.

6.8.4. ***Dosis òptima:***

Es important trobar les dosis òptimes de coagulant i floculant per a tractar la mostra. Això és degut a que és innecessari i poc econòmic treballar a en sobredosis, és a dir, en excés. En ocasions, i en funció del tipus de reactiu utilitzat, un excés pot dificultar el procés de coagulació i floculació, i inclòs disminuir-ne el seu rendiment.

Alguns coagulants deixen de funcionar quan hi ha un excés de dosis, de manera que la mostra deixa de coagular, i com a conseqüència no es pot flocular.

D'altra banda, un excés de floculant pot aportar viscositat en el clarificat i en el floc. En el tractament de deshidratació de fangs, un excés de floculant dificulta el posterior tractament en centrífuga i/o filtre premsa.

6.9. Assaig de deshidratació de fangs: mètode de trasvasos

L'assaig de deshidratació de fangs realitzat al laboratori es basa en el Mètode de Transvasos. La metodologia a seguir d'aquest mètode és la següent:

- Es disposen dos vasos d'uns 800 ml. Un conté 300 ml de la mostra de fang i se li addiciona la quantitat de dissolució de floculant calculada.
- Es transvasa el fang d'un vas a l'altre fins a un total de 20 transvasos (quan els fangs han d'anar a centrífuga) i de 10 transvasos 8quan els fangs van a un filtre premsa). Entre transvas i transvas es pot observar la formació i el creixement dels flocs, així com la seva progressiva desintegració o trencament si és que es produeix.
- Un cop realitzats els transvasos corresponents per a cada tipus de fang, s'aboca el fang sobre un tamís normalitzat. Les aigües cauen en una proveta graduada i es cronometra el temps d'elució als 5 segons i als 15 segons. El següent esquema mostra els passos a seguir:

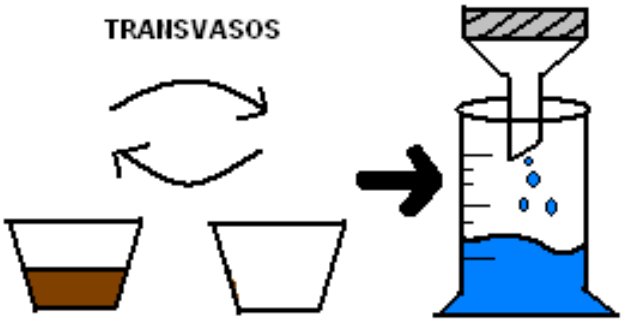


Fig. 11. Assaig de deshidratació de fangs

- Amb totes aquestes dades es construeix una taula i que facilitarà l'elaboració de conclusions per triar el floculant idoni pel tractament de la mostra.

6.9.1. ***Floculació i dosis òptima:***

Els paràmetres bàsics de floculació i aplicació de la dosis òptima són els mateixos que els comentats en el tractament de les aigües en el jar-test.

6.9.2. ***Mesura del desgot:***

La mesura del desgot és un paràmetre indicatiu del rendiment de floculació de cada floculant. Com més gran sigui el volum de clarificat que desgota, millor serà la separació de l'aigua i del fang, i més sec sortirà el fang. La mida del floc format durant la floculació determina bastant el desgot. Un excés de floculant dóna viscositat a la mostra, i dificulta a la vegada el desgot en la malla. Per aquesta raó és molt importat trobar la dosis òptima de floculant.

7. PROGRAMA CAPDETWORKS: TRACTAMENT BIOLÒGIC D'AIGÜES RESIDUALS

7.1. Introducció

Capdetworks, programa desenvolupat per Hydromantis, Inc. (2001), avalua diferents alternatives de disseny d'una EDAR des d'un punt de vista econòmic i d'eficiència de tractament. Cal dir que aquest programa no és un instrument d'optimització ni simulació. Capdetworks funciona en un entorn de Windows. Els objectius del programa Capdetworks són:

- Estimar els costos basant-se en el model Capdet
- Dissenyar el procés i predir la qualitat de l'efluent

La predicció de la qualitat de l'efluent no és gaire acurada i moltes vegades requereix que l'usuari introdueixi un factor de percentatge d'eliminació.

7.2. Funcionament

El disseny de l'EDAR s'efectua en un entorn de programació, on la configuració del diagrama de flux es fa mitjançant la unió de diferents objectes disponibles en el programa. Els objectes són classificats segons les diverses etapes que caracteritzen el diagrama de flux de l'EDAR. Cada objecte esmentat presenta una sèrie de paràmetres classificats en quatre categories:

- Paràmetres de disseny: referits a les dimensions preses de les diferents unitats del procés. El programa pot calcular aquestes dimensions o l'usuari les pot introduir.
- Paràmetres de procés: cabals, percentatges d'eliminació, concentracions, etc.
- Paràmetres d'equipament: es refereixen als costos unitaris de l'equipament. En aquest cas el programa també ofereix la possibilitat de modificar aquests costos.

- Paràmetres referents a la vida útil de la unitat: es refereixen a la vida útil que presenten les diferents unitats. Aquests paràmetres també poden ser modificats per l'usuari.

Per estimar costos de les diferents alternatives de disseny, el programa inclou una base de dades que disposa d'informació sobre costos unitaris, costos específics addicionals, costos d'equipament i índexs econòmics. L'usuari té la possibilitat de modificar aquestes bases de dades per tal d'adaptar-les a les necessitats de cada disseny.

- Costos unitaris: costos d'edificació, excavació, consums d'electricitat, compra de terreny, mà d'obra, etc.
- Costos específics addicionals: cost de bombeig de l'aigua residual, costos administratius, costos d'instrumentació, control, etc.
- Costos d'equipament: costos dels diferents equips que poden formar part del disseny de l'EDAR. El programa disposa de dues bases de dades, una referent a costos dels Estats Units de l'any 2002 i l'altra amb preus de l'any 1977.
- Índex econòmic: variació dels preus en el temps dins els algorismes que conformen el programa. S'utilitzen una sèrie d'índexs per ajustar aquests preus al present.

Un cop s'ha configurat el diagrama de procés de l'EDAR, introduïts els paràmetres necessaris o bé deixant-los per defecte, es fa l'estimació econòmica mitjançant el model CAPDET. El cost de la unitat deriva del cost estructural i del cost d'equipament. El cost estructural està format pel cost d'edificació, el cost d'excavació dels mateixos equips i pel cost d'instal·lació (mà d'obra).

El cost d'operació i manteniment deriva del cost energètic (requeriments energètics), del cost del personal d'operació (mà d'obra) i del cost dels productes químics requerits.

Un cop s'ha fet l'estimació econòmica, els costos es poden obtenir de manera genèrica o bé detallada. Els costos genèrics són el cost del projecte, el cost d'operació, el cost de manteniment, de material i de productes químics. Els costos detallats es mostren per a cada unitat que conforma el diagrama de flux sobre costos de construcció, manteniment, operació, costos energètics, productes energètics i d'amortització.

També es mostra la informació referent a l'operació del procés, dividida en seccions: paràmetres continguts en l'aigua residual d'entrada, l'aigua tractada i els fangs; i els paràmetres d'operació.. els algorismes del programa es basen en aquesta informació per estimar els pressupostos.

7.3. Prestacions del programa

El programa permet:

- Comparar entre diferents diagrames de flux. Es permet comparar gràficament tant costos com paràmetres de diverses configuracions.
- Anàlisis de sensibilitat. Gràficament es representen les estimacions econòmiques d'una configuració en funció d'una variable.
- Modificació de les bases de dades. Es poden modificar els costos unitaris, índexs econòmics i costos d'equipaments, així com les diverses tipologies de costos que configuren aquests globals.

RESULTATS

8. ANÀLISI DE LA SITUACIÓ DE L'ESCORXADOR PORCÍ DE GRANOLLERS

8.1. Característiques de l'estat de les aigües residuals i els fangs de l'escorxador porcí de Granollers

L'escorxador porcí de Granollers està dedicat al sacrifici d'aquells animals destinats a l'alimentació humana. La seva activitat consta del sacrifici de 4000 porcs/dia.

El present estudi té l'objectiu d'optimitzar el tractament de les aigües residuals i els fangs produïts a l'escorxador. Per tal de realitzar aquesta optimització, cal primerament, estudiar quines són les característiques i els paràmetres de l'aigua residual i els fangs generats a l'escorxador. Aquests paràmetres seran la base a partir de la qual, s'intentarà millorar la qualitat de l'aigua i els fangs.

8.1.1. ***Paràmetres de l'aigua residual a tractar:***

En primer lloc, s'ha de determinar el cabal d'aigua residual que s'ha de tractar. El valor del cabal serà necessari alhora de determinar el tractament de les aigües.

En funció de les dades del nombre de porcs sacrificats diàriament, i coneixent que s'utilitzen uns 250 litres d'aigua per a cada porc, es calcula el cabal d'aigües residuals generat al dia:

$$Q(l/dia) = \frac{4000\,porcs}{dia} \times \frac{250 litres}{porc} = 1000000 litres/dia$$

$$Q(m^3/dia) = \frac{1000000 litres}{dia} \times \frac{1 m^3}{1000 litres} = 1000 m^3/dia$$

En segon lloc, s'ha caracteritzat l'aigua d'entrada a fi de conèixer el valor dels diferents paràmetres. Aquests paràmetres donen una idea de l'estat de contaminació de les aigües residuals generades a l'escorxador porcí, i de la magnitud del tractament que es necessitarà. La següent taula mostra la caracterització de l'aigua residual realitzada durant diferents períodes de temps. Amb tots els valors analitzats, es fa una mitja que servirà com a base per a realitzar-ne el tractament posterior:

DATA	pH	Sòlids		DQO (mg/l)	Q (m^3/dia)	NH_4^+ (ppm)	NO_3^- (ppm)	Terbolesa (NTU)	Conduct. (µS/cm)
		%	ppm						
18/10/05	6.84	0.3366	3366	4425	1000	≈ 200	< 2.5	1222	3040
4/11/05	6.97	0.5234	5234	7015	1000	≈ 200	< 2.5	1301	3160
21/12/05	6,8	0.4300	4300	5720	1000	≈ 200	< 2.5	1256	3099
MITJANA	6.8	0.4300	4300	5720	1000	≈ 200	< 2.5	1260	3100

Per tant, es determina que l'aigua residual produïda a l'escorxador porcí de Granollers presenta les següents característiques:

MOSTRA	pH	Sòlids		DQO (mg/l)	Q (m^3/dia)	NH_4^+ (ppm)	NO_3^- (ppm)	Terbolesa (NTU)	Conduct. (µS/cm)
		%	ppm						
Entrada	6.8	0.4300	4300	5720	1000	≈ 200	< 2.5	1260	3100

8.1.2. ***Paràmetres dels fangs a tractar:***

En funció del rendiment del tractament de les aigües residuals de l'escorxador, el volum de fangs generats variarà. El cabal aproximat de fangs generat a l'escorxador i que ha de ser tractat és de 125 m^3/dia.

Al igual que amb les aigües residuals, s'ha caracteritzat el fang generat que ha de ser tractat. Els paràmetres analitzats donen una idea de l'estat de contaminació dels fangs generats a l'escorxador porcí, i de la magnitud del tractament que es necessitarà. La següent taula mostra la caracterització dels fangs realitzada durant diferents períodes de temps. Amb tots els valors

analitzats, es fa una mitja que servirà com a base per a realitzar-ne el tractament posterior:

DATA	pH	Sòlids		% Volàtils	Color
		%	ppm		
04/11/2005	6,45	4.84	4840	83,84	Marró
12/12/2005	6,27	5,2 4	59400	88,04	Marró
MITJANA	6.36	5.04	50400	85.94	Marró

Per tant, es determina que el fang produït a l'escorxador porcí de Granollers presenta les següents característiques:

MOSTRA	pH	Sòlids		% Volàtils	Color
		%	ppm		
Entrada	6.36	5.04	50400	85.94	Marró

8.2. Reglament del Consorci del Besòs

Pel que fa als límits d'abocament de les aigües d'una depuradora, aquests depenen de la ubicació de la depuradora i d'on aboca. En el cas de l'escorxador porcí de Granollers, aquest aboca a la depuradora de Granollers i la llei que regula els límits és el Reglament del Consorci del Besòs, perquè a la vegada, aquesta depuradora aboca al riu Congost.

La unitat física que constitueix l'aigua residual, des del seu origen en el punt de consum, fins el seu abocament final, a través de les xarxes municipals de clavegueram, les xarxes generals de col·lectors en alta i les estacions depuradores, exigeix una unitat de criteri i, per tant, exigeix una reglamentació única.

Un escorxador és considerat una activitat industrial, i com a tal, està subjecte a unes limitacions d'abocament. Els elements que a continuació es detallen no podran trobar-se en les aigües residuals en concentracions instantànies superiors a les que es detallen tot seguit:

Paràmetres	Límits
Temperatura	40ºC
pH	6-10 uds
DQO	1500 mg O_2/l
Conductivitat	5000 µS/cm
NO_3^-	100 mg/l
NH_4^+	50 mg/l

El clarificat obtingut de les aigües ja tractades ha de tenir els paràmetres anteriorment esmentats per sota dels límits establerts pel Reglament del Consorci del Besòs. En el cas que aquest no compleixi, el preu del cànon de l'aigua augmentarà degut a l'augment en el preu del permís d'abocament de les aigües residuals. En tot cas, sempre s'intentarà reduir els paràmetres de l'aigua d'entrada a valors per sota dels establerts. El present estudi té com a objectiu optimitzar el tractament de les aigües i els fangs a fi d'obtenir aquesta disminució dels valors dels paràmetres, i proposar alternatives de millora per tal d'aconseguir un clarificat de les aigües que compleixi amb tots els límits establerts.

8.3. Estació depuradora de l'escorxador porcí de Granollers

En aquest apartat es descriu la línia de depuració de les aigües residuals existents a l'EDAR de l'escorxador porcí de Granollers. S'explicarà amb especial atenció aquells processos, que per les seves característiques, tenen una major aplicació en els escorxadors.

El desbast de la depuradora de l'escorxador de Granollers consta de dos tamisos de diferents diàmetres, que filtren les aigües residuals:

A) Tamís Estàtic:

Es basa en un tamís estàtic inclinat, amb un diàmetre de pas de 1mm, i que es neteja automàticament. L'objectiu principal és protegir les bombes, les vàlvules, les conduccions i altres elements contra possibles danys i obstruccions.

Els sòlids retinguts són recollits posteriorment i transportats cap al femer. D'altra banda, l'aigua filtrada és conduïda a la següent operació.

B) Tamís Rotatori:

Un cop l'aigua ha passat pel tamís estàtic, aquesta va a parar a un dipòsit, i d'aquí és bombejada al tanc d'homogeneïtzació, passant abans per un tamís rotatori. El tamís rotatori té la funció de realitzar un millor filtrat de l'aigua.

Es basa en un tambor rotatori, autonetejable i amb un diàmetre de pas de l'aigua de 0.5 mm. L'aigua és descarregada sobre la superfície d'acer inoxidable del tambor cilíndric, que filtra l'aigua cap a l'interior del mateix, des d'on serà enviada cap al següent tractament. Els sòlids que queden retinguts a la superfície són arrossegats amb el gir del tambor fins a un rasclet rascador fix que els descarrega sobre un cargol sense fi, el qual els transporta al femer.

Un cop l'aigua residual ha passat pel sistema de desbast, aquesta es dirigeix cap a un homogeneïtzador. Generalment, les aigües residuals d'un escorxador no són homogènies, ja que existeixen variacions tan en la quantitat com en la qualitat de l'influent. Per aquesta raó, és important realitzar una bona homogeneïtzació de les aigües prèviament al seu tractament, a fi d'aconseguir una alimentació continua d'aquestes.

El sistema utilitzat és una homogeneïtzació en línia, on la totalitat del cabal passa a través de la bassa. L'avantatge respecte l'homogeneïtzació en

derivació, és que permet disminuir bastant la càrrega contaminant i amortiguar el cabal considerablement.

L'aigua homogeneïtzada surt del tanc homogeneïtzació i es divideix en dues línies d'aigua que arriben a dos dipòsits de tractament. Aquí les aigües són tractades mitjançant un tractament físico-químic de coagulació, ajust de pH i floculació. El dipòsit de tractament està format per dos tancs. En el primer de tots s'afegeix el coagulant i s'ajusta el pH. Un cop l'aigua està coagulada, aquesta passa a un segon tanc on s'afegeix el floculant per a realitzar la floculació de la matèria col·loidal. Posteriorment, les aigües són enviades a un flotador per separar-ne l'aigua clarificada del floc format. El sistema de flotació (DAF) es basa en la injecció d'aire a pressió, que en contacte amb l'aigua del tanc forma unes microbombolles que empenyen el floc cap a la superfície. Les bombolles es produeixen des de una solució saturada d'aire en aigua a pressió (5-8 atmosferes) que és portada fins a pressió atmosfèrica, de manera que s'elimina l'aire en excés en forma de fines bombolles que s'uneixen a les partícules provocant una ascensió cap a la superfície. A la imatge s'observa com les microbombolles empenyen el floc cap a la superfície. El color blanc de l'aigua és degut a les microbombolles. Finalment, l'aigua surt del flotador clarificada tal i com s'observa a la imatge. El fang és recollit i enviat cap a la línia de tractament de fangs.

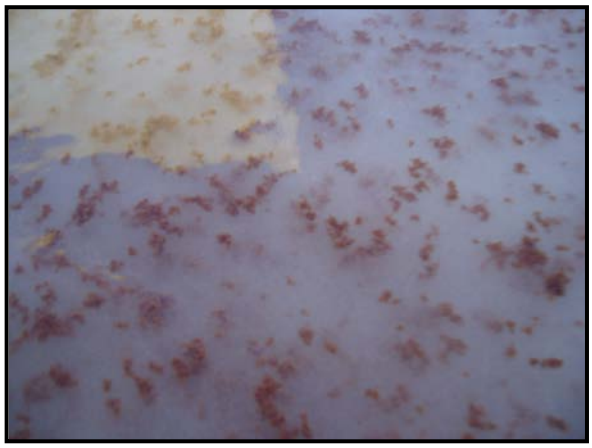


Fig.12.Microbombolles empenyent el floc.

Fig.13.Aigua clarificada sortint del flotador.

A continuació es mostra el diagrama de flux de l'EDAR:

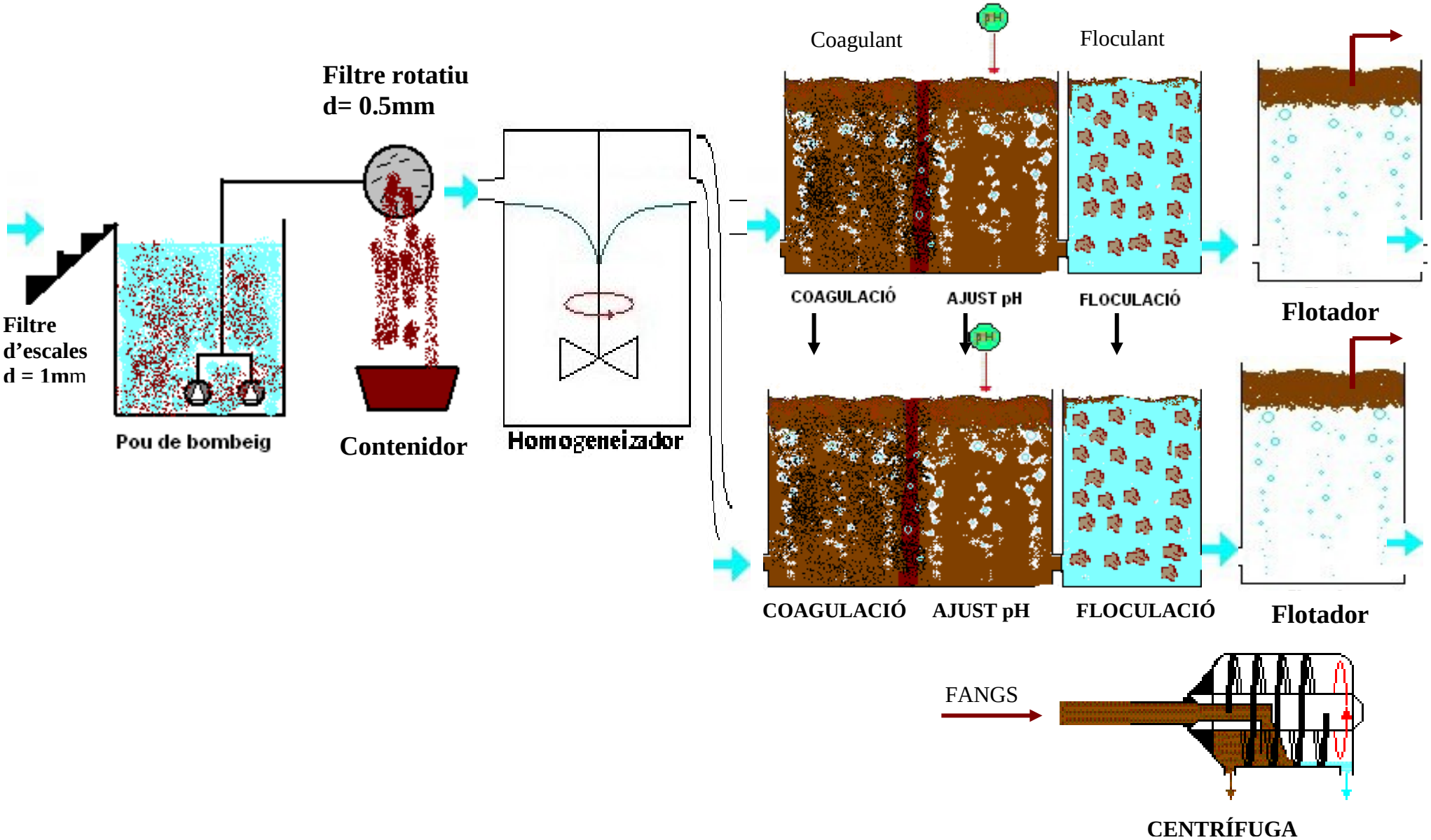


Fig.14. **Diagrama del flux d'aigua de l'EDAR de l'escorxador de Granollers**

Aquest capítol deixa ja de banda l'aspecte purament teòric de lo que és un tractament fisico-químic, i es centra ja en la resolució pràctica d'un problema: l'assaig d'una mostra d'aigua residual al laboratori. En el present estudi, les aigües residuals a tractar procedeixen d'un escorxador porcí situat al municipi de Granollers, al Vallès Oriental.

9. OPTIMITZACIÓ I ALTERNATIVES DE TRACTAMENT DE LES AIGÜES I ELS FANGS RESIDUALS

La naturalesa de les aigües d'escorxador es caracteritza per anar carregades de material contaminant com ara excrements i orina, sang, pèls, restes de carn i grassa de les canals, brutícia del terra, restes d'aliments no digerits pels intestins, budells i intestins,.....

Aquest estudi té per objectiu, proposar diferents alternatives de tractament de les aigües residuals i els fangs. Les alternatives proposades són quatre, i estan basades en funció de les necessitats del sector, les instal·lacions presents a l'escorxador porcí de Granollers i la legislació present sobre els límits d'abocament marcats pel Reglament del Consorci del Besòs.

Les alternatives proposades són:

1. **Optimització del tractament físico-químic complert:** Les aigües són tractades mitjançant processos de coagulació, ajust del pH i floculació. Els fangs generats són enviats a una línia de tractament de fangs per a ser tractats en una centrífuga.

2. **Alternativa 1: Tractament biològic:** En aquest cas, s'elimina el tractament físico-químic, i les aigües són tractades únicament mitjançant un tractament biològic del tipus SBR. Els fangs generats són enviats a una línia de tractament de fangs per a ser tractats en una centrífuga.

3. **Alternativa 2: Tractament físico-químic complert + tractament biològic:** En aquest cas, les aigües són tractades primerament amb un tractament físico-químic complert, tal i com es en el punt 2.1, i posteriorment, les aigües són enviades a un reactor biològic del tipus SBR per eliminar l'excés de nitrogen amoniacal de les aigües. Els fangs generats són enviats a una línia de tractament de fangs per a ser tractats en una centrífuga.

4. **Alternativa 3: Tractament físico-químic per desengreix + tractament biològic:** En aquest cas, s'aprofiten les instal·lacions presents per a realitzar un tractament físico-químic de desengreix, i posteriorment les aigües són tractades mitjançant un tractament biològic del tipus SBR. Els fangs generats són enviats a una línia de tractament de fangs per a ser tractats en una centrífuga.

9.1. Optimització del tractament físico-químic complert

En primer lloc s'estudiarà el tractament físico-químic de les aigües residuals, i posteriorment en l'apartat 9.1.6. el tractament dels fangs. L'alternativa d'un tractament fisico-químic complert es basa en trobar un tractament de coagulació, ajust de pH i floculació òptim, a fi d'obtenir un bon clarificat de les aigües residuals a tractar.

L'aigua residual, passa primerament pel sistema de desbast present a l'estació depuradora de l'escorxador, a fi d'eliminar els materials més grollers presents en l'aigua residual. A continuació, les aigües van a una bassa d'homogeneïtzació, i posteriorment l'aigua es divideix en dues línies de tractament de coagulació, ajust de pH i floculació. Les següents fotografies mostren el pas de l'aigua a través de l'homogeneïtzador fins als dipòsits de tractament de les aigües:

Fig.15.Tanc d'homogeneïtzació

Fig.16.Dipòsit de tractament per coagulació, ajust de pH i floculació

L'anàlisi realitzat al laboratori d'aplicació de l'empresa Derypol, té l'objectiu de trobar el millor tractament físico-químic de coagulació, ajust de pH i floculació. L'anàlisi es va basar en la realització de diferents assaigs en el jar-test, amb diferents coagulants, diferents floculants i diferents rangs de treball del pH.

Existeix una varietat molt àmplia de coagulants i floculants. En el present estudi, s'han seleccionat aquells coagulants i floculants més utilitzats pel tractament d'aigües residuals d'escorxador. A continuació es detallen els tipus de coagulants i floculants que s'han utilitzat en l'assaig del jar-test:

9.1.1. ***Coagulants:***

Les substàncies més utilitzades en el tractament d'aigües d'escorxador són les sals de ferro i alumini.

L'assaig s'ha realitzat amb la finalitat de trobar el reactiu més idoni, la concentració més adequada i les condicions del medi més efectives. En el present estudi, els coagulants utilitzats en l'assaig de les mostres són el Policlorur d'alumini (PAL-18) i el clorur fèrric ($FeCl_3$). Es realitzarà l'assaig a diferents dosis de coagulant per tal de veure el rendiment del PAL-18 respecte el del $FeCl_3$.

D'entre els diferents paràmetres que s'utilitzen per a determinar l'eficàcia d'un coagulant (terbolesa, conductivitat, DQO,...), s'ha elegit el de la demanda química d'oxigen (DQO) perquè, a part de ser un paràmetre fàcil de determinar, proporciona una idea del rendiment depurador en matèria orgànica.

9.1.2. ***Ajust de pH:***

Per tal d'aconseguir la màxima eficàcia dels coagulants, sempre és preferible que el pH de la dispersió quedi dins de la zona corresponent a la mínima solubilitat de l'ió metàl·lic implicat. En el cas de les sals d'alumini, el mínim d'ions Al^{3+} en solució correspon a un interval de 6-7.5; en el cas de les sals fèrriques, el Fe^{3+} té un marge més ampli de pH on la seva solubilitat és mínima (pH superior a 4).

L'ajust de pH es realitza amb sosa. L'objectiu de l'ajust de pH és precipitar les sals metàl·liques, de manera que la quantitat de cations Fe^{3+} i Al^{3+} sigui mínima en les aigües de sortida. Cal recordar, que en el cas de l'alumini, un ajust excessiu del valor de pH produirà la redissolució del precipitat, aconseguint un efecte contrari al desitjat.

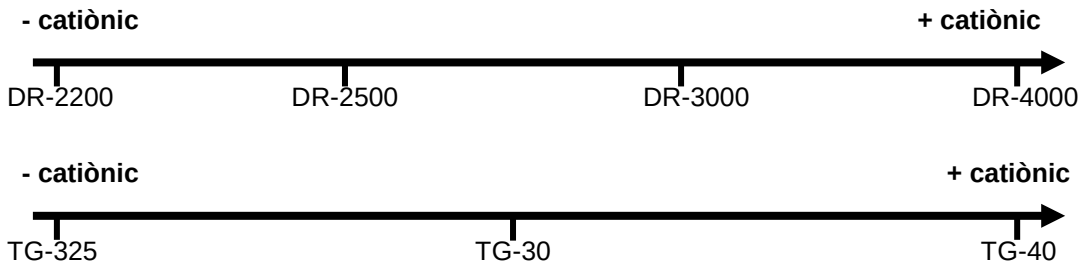
Cal tenir sempre present el valor del pH a la sortida, ja que el reglament del Consorci del Besòs no permet abocar a pH menor de 6.

9.1.3. ***Floculant:***

L'estudi de l'elecció del millor floculant es realitza tenint en compte les instal·lacions presents a l'estació depuradora de l'escorxador. Tal i com s'ha comentat anteriorment, els floculants poden presentar-se en tres estats físics: sòlid, en dispersió aquosa i en emulsió.

Els sistemes de dosificació presents a l'escorxador porcí de Granollers estan adaptats per utilitzar floculants líquids en dispersió aquosa. Per aquest motiu, els assaig es realitzaran única i exclusivament amb floculants de

diferents cationicitats en dispersió aquosa. El següent esquema mostra l'ordre de cationicitat dels diferents floculants utilitzats en l'assaig de les aigües:



9.1.4. ***Assaig de jar-test: elecció del millor tractament:***

L'ordre seguit en l'assaig del jar-test per trobar el millor tractament ha estat el següent:

1) Primerament es busca el millor floculant en dispersió aquosa per tal de conèixer la cationicitat requerida per les mostres d'aigua a tractar. Per tal de trobar el millor floculant, s'ha utilitzat el $FeCl_3$ com a coagulant ja que és el coagulant més utilitzat en tractament d'aigües d'escorxador. El pH de treball ha estat de 7.5 ja que es un pH neutre.

2) Un cop es coneix el millor floculant, s'ha treballat amb l'objectiu de trobar el pH de treball òptim. S'ha assajat amb $FeCl_3$ com a coagulant i amb el floculant escollit en el primer punt, per tal de trobar el rang de pH més idoni per tractar la mostra.

3) Finalment, un cop escollit el millor floculant i el pH de treball òptim, s'ha assajat amb dos tipus de coagulants: policlorur d'alumini (PAL-18) i clorur fèrric ($FeCl_3$). Un cop elegit el millor coagulant, es realitzen mesures de la DQO del clarificat obtingut a fi de discriminar entre tractaments i trobar el més òptim pel tractament de les aigües residuals de l'escorxador porcí.

A continuació es presenten els resultats obtinguts amb l'assaig en el jar-test en diferents taules:

Paràmetres de l'aigua residual d'entrada a l'EDAR de l'escorxador porcí de Granollers:					
Tipus: Escorxador porcí		Volum Rebut: 20 litres		Color: Marró	
pH: 6.8	Cond.(µs/cm): 3100	Terbolesa (NTU): 1260		Olor: Característic	
Sòlids: 0.43% o 4300 ppm		DQO: 5720mg O_2/l	NH_4^4: ≈200 ppm	NO_3^- : < 2.5 ppm	

Coagulant	Dosi (ppm)	Neutralitzat amb:	pH	Floculant	Dosi (ppm)	Mida Floc	Velocitat decantació	Terbolesa (NTU)	Cond. (µs/cm)	DQO (mg O_2/l)	Observacions
EL·LECCIÓ DEL MILLOR FLOCULANT											
$FeCl_3$	500	Sosa	7.5	DR-2500	33	2.5	M	114.49	3530	-	
$FeCl_3$	1000	Sosa	7.5	DR-2500	33	2	M	59.51	3690	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	DR-2500	33	5	R	4.387	4180	-	
$FeCl_3$	1500	Sosa	7.5	DR-2500	33	4.5	R	6.920	3960	-	
$FeCl_3$	2500	Sosa	7.5	DR-2500	33	6.5	R	3.416	4460	-	
$FeCl_3$	2000	-	-	DR-2500	33	3	R	52.45	3550	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	DR-2200	33	4.5	R	16.39	4190	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	DR-3000	33	4.5	R	4.985	4330	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	DR-4000	33	2.5	R	16.89	4260	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	DR-2500	33	5	R	4.387	4180	-	Millor floculant
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	TG-30	33	5	R	3.292	4170	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	TG-40	33	3	R	15.25	4290	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	TG-325	33	7	R	4.066	4150	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	TG-325	15	4.5	R	5.453	4190	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	TG-30	15	4	R	4.912	4270	-	

Coagulant	Dosi (ppm)	Neutralitzat amb:	pH	Floculant	Dosi (ppm)	Mida Floc	Velocitat decantació	Terbolesa (NTU)	Cond. (µs/cm)	DQO (mg O_2/l)	Observacions
EL·LECCIÓ DEL MILLOR pH											
$FeCl_3$	2000	Sosa	5.5	DR-2500	15	7	R	3.387	3830	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	6	DR-2500	15	6.5	R	4.066	3810	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	6.5	DR-2500	15	6	R	6.518	3890	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7	DR-2500	15	5.5	R	15.63	4000	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	7.5	DR-2500	15	5	R	18.91	4050	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	8	DR-2500	15	4.5	R	19.73	3880	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	8.5	DR-2500	15	4.5	R	20.93	4090	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	9	DR-2500	15	4	R	21.94	4060	-	
$FeCl_3$	2000	Sosa	5	DR-2500	15	7	R	4.861	3690	-	
$FeCl_3$	1500	Sosa	6.5	DR-2500	15	3.5	R	4.365	3650	-	
$FeCl_3$	1800	Sosa	6.5	DR-2200	15	4.5	R	3.817	3820	-	Millor pH

Coagulant	Dosi (ppm)	Neutralitzat amb:	pH	Floculant	Dosi (ppm)	Mida Floc	Velocitat decantació	Terbolesa (NTU)	Cond. (µs/cm)	DQO (mg O_2/l)	NH_4^+ (ppm)	NO_3^- (ppm)
EL·LECCIÓ DEL MILLOR COAGULANT												
PAL-18	1000	Sosa	7.5	DR-2500	15	1.5	M	27.99	3270	1670	≈ 200	> 2.5
PAL-18	1300	Sosa	7.5	DR-2500	15	2	M	23.20	3340	1275	≈ 200	> 2.5
PAL-18	1500	Sosa	7.5	DR-2500	15	3.5	R	13.11	3400	1130	≈ 200	> 2.5
PAL-18	1800	Sosa	7.5	DR-2500	15	1.5	L	17.90	3590	1255	≈ 200	> 2.5
PAL-18	2000	Sosa	7.5	DR-2500	15	1.5	L	16.77	3790	730	≈ 200	> 2.5
PAL-18	2500	Sosa	7.5	DR-2500	15	1	L	54.34	3790	790	≈ 200	> 2.5
PAL-18	1500	Sosa	6.5	DR-2500	15	3.5	R	30.89	3480	-	-	-
PAL-18	1500	Sosa	8	DR-2500	15	2	M	13.87	3660	-	-	-
$FeCl_3$	1000	Sosa	6.5	DR-2500	15	1.2	L	36.69	3600	820	≈ 200	> 2.5
$FeCl_3$	1300	Sosa	6.5	DR-2500	15	2	R	14.24	3640	680	≈ 200	> 2.5
$FeCl_3$	1500	Sosa	6.5	DR-2500	15	2.5	R	16.14	3650	660	≈ 200	> 2.5
$FeCl_3$	1800	Sosa	6.5	DR-2500	15	4.5	R	5.07	3820	850	≈ 200	> 2.5
$FeCl_3$	2000	Sosa	6.5	DR-2500	15	5	R	5.55	3890	750	≈ 200	> 2.5
$FeCl_3$	2500	Sosa	6.5	DR-2500	15	5	R	10.25	4110	790	≈ 200	> 2.5

9.1.5. *Resultats del tractament de jar-test de les aigües residuals:*

Un cop finalitzat l'assaig de jar-test, es conclou que:

- El millor **floculant** per a tractar les aigües residuals és el floculant en dispersió aquosa de baixa - mitjana cationicitat DR-2500. A la gràfica següent s'observa com el floculant DR-2500 és el que deixa uns nivells de terbolesa menor en el clarificat de les aigües. Es conclou doncs, que es necessita un floculant de baixa - mitjana cationicitat.

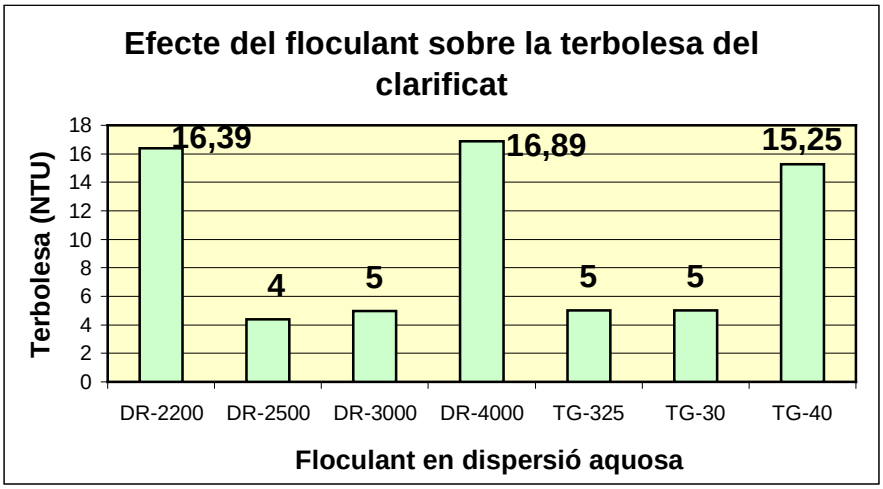


Fig.17. Efecte del floculant sobre la terbolesa del clarificat

Les següents imatges mostren el clarificat obtingut amb cadascun dels floculant. La imatge 18 mostra el tractament amb els floculants de la sèrie DR, i la imatge 19 mostra el tractament amb els floculants de la sèrie TG. S'observa com a mesura que augmenta la cationicitat del floculant, augmenta la terbolesa del clarificat.

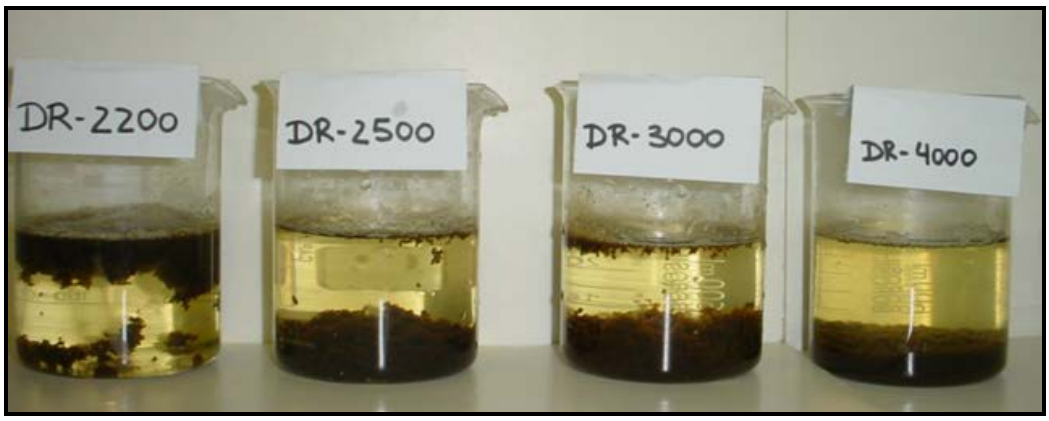


Fig.18. Tractament amb floculants de la sèrie DR

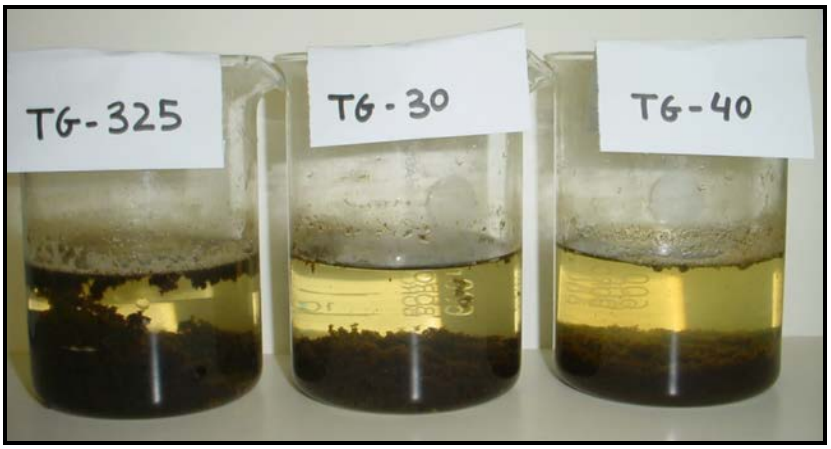


Fig.19. Tractament amb floculants de la sèrie TG.

- El **pH** òptim de treball pel tractament de les aigües varia en funció del tipus de coagulant utilitzat. La següent gràfica mostra l'efecte del pH en la terbolesa del clarificat obtingut, tant amb el tractament amb PAL-18 com amb $FeCl_3$.

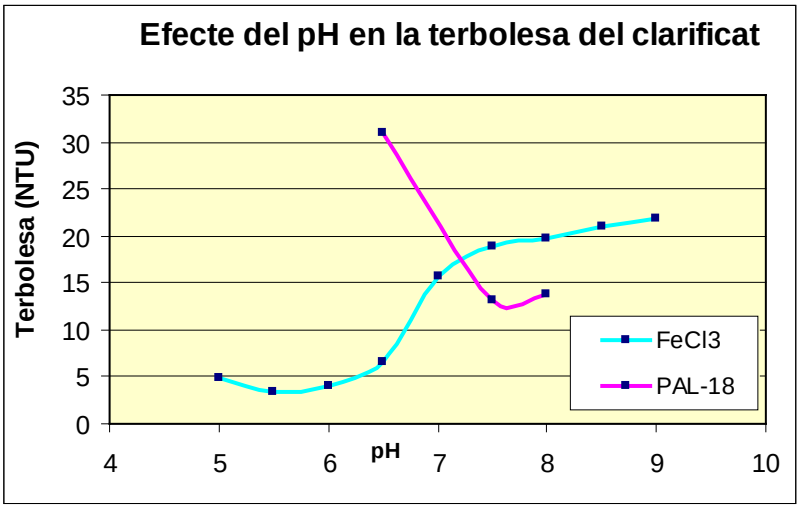


Fig.20. Efecte del pH en la terbolesa del clarificat

La gràfica mostra com en el cas del PAL-18, el pH òptim de treball és de 7.5, i en el cas del $FeCl_3$ el pH òptim de treball és a pH més àcids. De totes maneres, en el cas del $FeCl_3$, es treballarà a un pH = 6.5, ja que si es treballés a pH més baixos, tot i donar millors rendiments de terbolesa, no compliria amb els límits establerts pel Consorci del Besòs. S'observa també, com en el cas del PAL-18, la variació del pH de treball afecta molt més la terbolesa del clarificat, que en el cas del $FeCl_3$, ja que aquest té un ventall de treball a diferents pH més ampli que no pas el PAL-18.

La següent gràfica mostra l'efecte del pH en la mida del floc format.

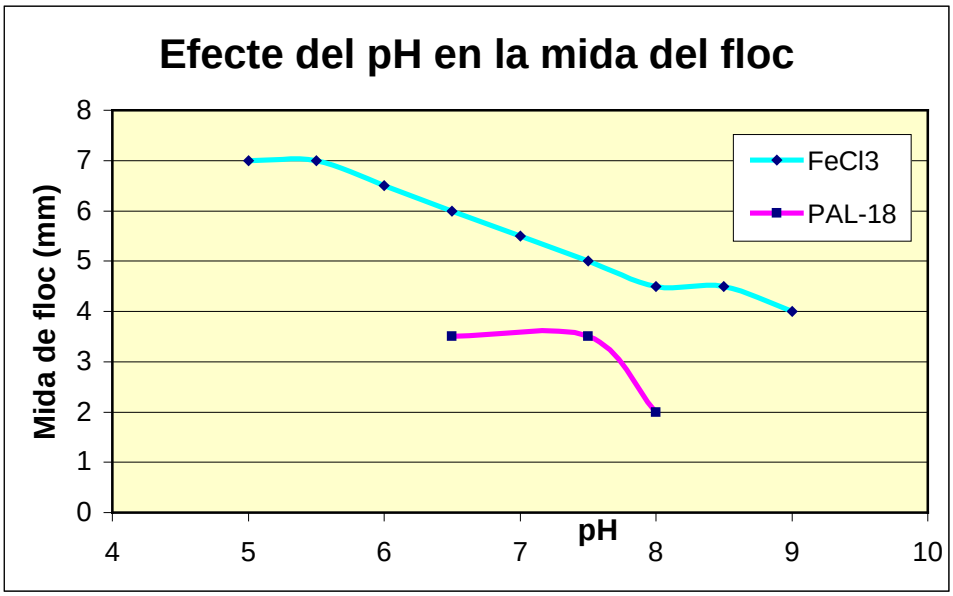


Fig.21. Efecte del pH en la mida del floc

Es pot observar com en el cas del tractament amb $FeCl_3$, com més àcid és el pH, més gran és la mida de floc, i com més bàsic és el pH de l'aigua més petita és la mida del floc. També pot observar-se com la mida del floc format és més gran amb el tractament amb $FeCl_3$ que no pas amb PAL-18. Alhora, s'observa com la disminució de la mida del floc format és més pausada a mesura que es varia el pH de l'aigua; en canvi, en el cas del PAL-18, la variació del pH de l'aigua afecta més bruscament la mida del floc format.

Les següents imatges mostres el clarificat obtingut amb el tractament amb $FeCl_3$ en funció del pH de l'aigua:

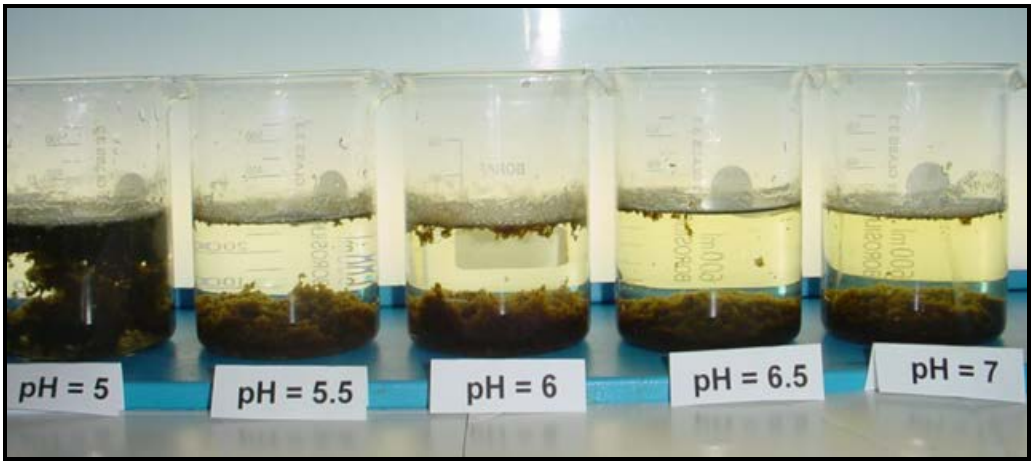


Fig.22. Clarificat en funció del pH

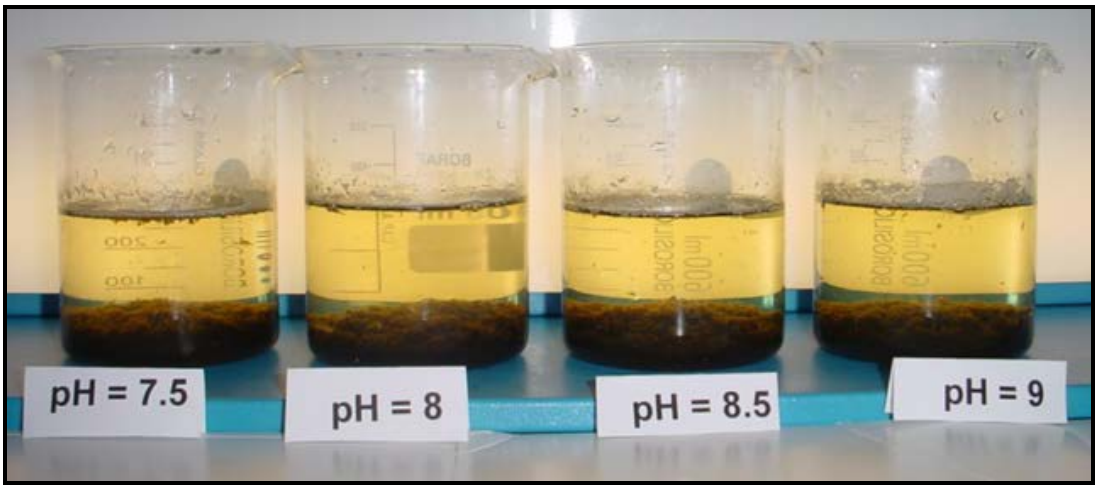


Fig.23. Clarificat en funció del pH

Les imatges reflecteixen clarament com a mesura que augmenta el pH de l'aigua empitjora la terbolesa del clarificat.

- S'han estudiat diferents alternatives de coagulants: el policlorur d'alumini (PAL-18) i el Clorur fèrric ($FeCl_3$). L'assaig realitzat per a escollir el coagulant amb millor rendiment, s'ha realitzat utilitzant com a floculant el DR-2500, i com a pH l'òptim de treball en cada coagulant: pH = 7.5 pel PAL-18 i pH =6.5 pel $FeCl_3$.

En primer lloc s'ha estudiat l'efecte del coagulant sobre la formació del floc:

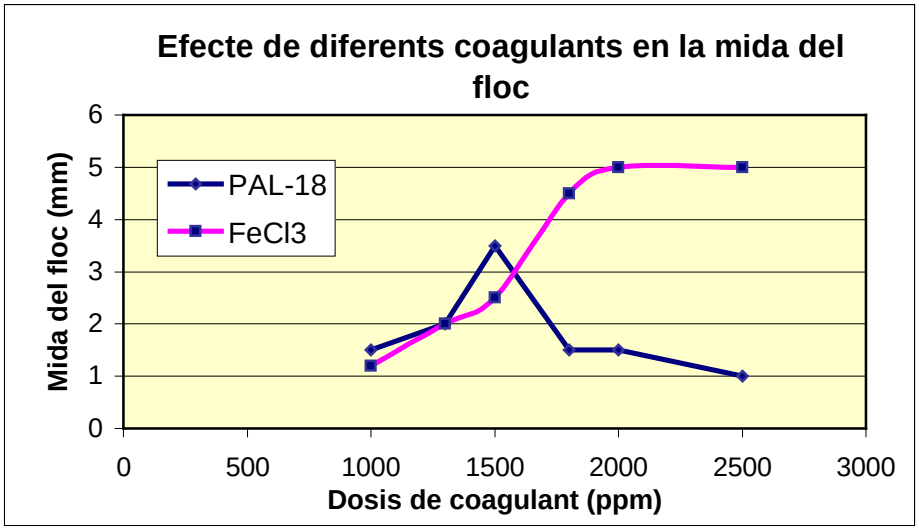


Fig.24. Efecte de diferents coagulants en la mida del floc.

La gràfica mostra com en el cas del PAL-18, si es treballa a una dosis de 1500 ppm de PAL-18 la mida del floc és més gran que el floc format pel $FeCl_3$ a aquesta mateixa dosis. De totes maneres, quan la dosis de PAL-18 es troba per sota o per sobre dels 1500 ppm, la mida del floc format disminueix bruscament. Aquest fet indica que un excés de PAL-18 provoca una disminució brusca en l'efecte coagulant, aquest deixa de funcionar. Tot el contrari passa amb el $FeCl_3$; aquest, quan treballa a una dosis superior als 1500 ppm la mida del floc no disminueix. Un excés de dosis no empitjora la coagulació i per tant la formació posterior del floc. En el cas del $FeCl_3$ la mida del floc augmenta fins a concentracions de $FeCl_3$ de 2000 ppm. A dosis majors de 2000 ppm de $FeCl_3$ la mida del floc es manté constant. Com més gran sigui la mida del floc, millor flotarà quan entri al tanc de flotació.

Les imatges següents mostren com la mida del floc format és major quan el tractament es realitza amb $FeCl_3$ respecte quan s'utilitza PAL-18:

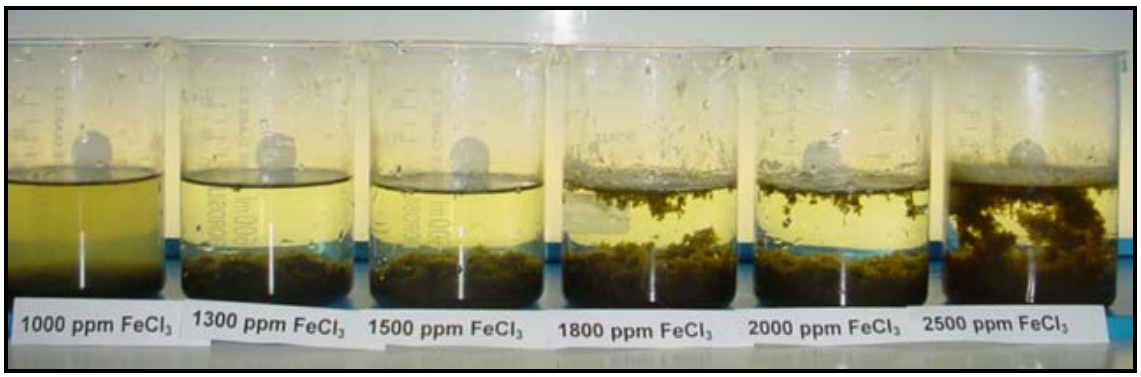


Fig.25. Efecte del $FeCl_3$ en la mida del floc.

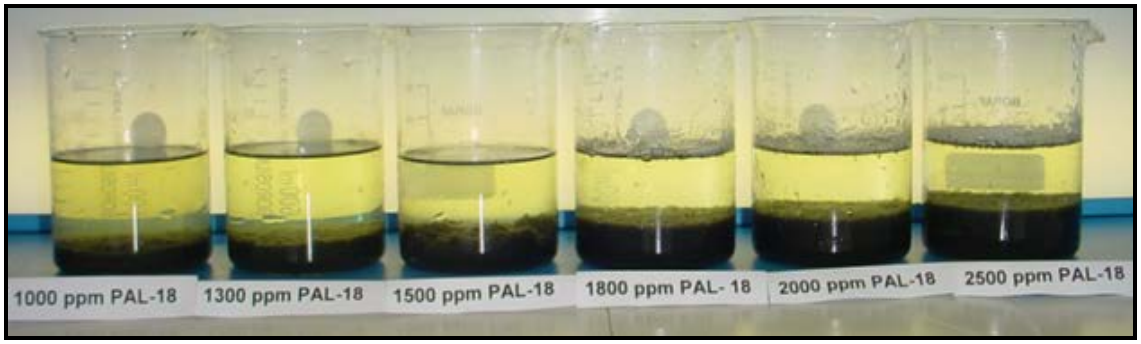


Fig.26. Efecte del PAL-18 en la mida del floc.

També s'ha estudiat l'efecte que te el coagulant sobre la terbolesa obtinguda en el clarificat de les aigües.

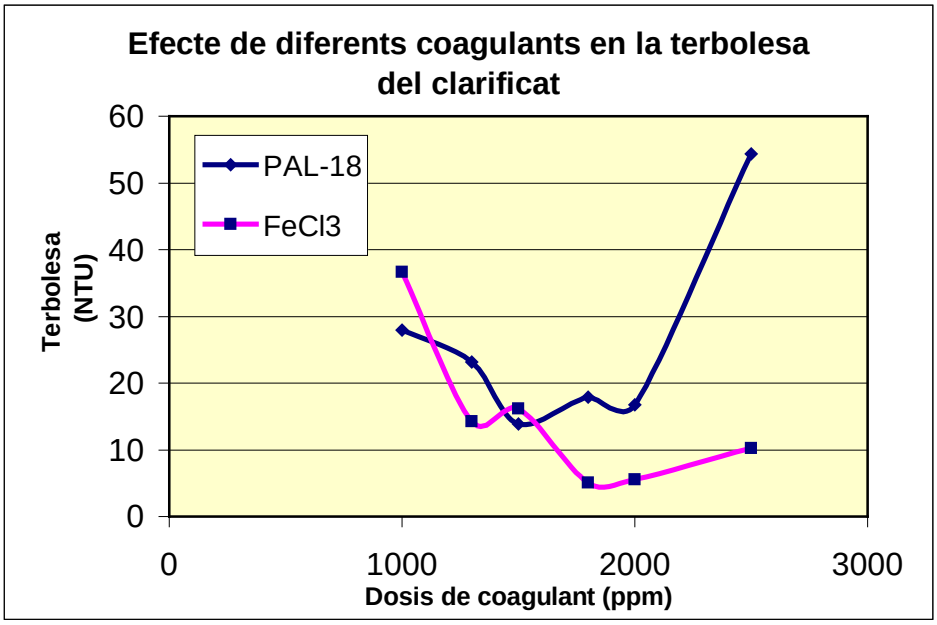


Fig.27. Efecte de diferents coagulants en la terbolesa del clarificat.

La gràfica mostra com la terbolesa obtinguda amb el tractament amb $FeCl_3$ és millor que amb el tractament amb PAL-18. Tal i com s'ha comentat abans, el PAL-18 deixa de funcionar com a agent coagulant quan es produeix un excés de dosis, i com a conseqüència la terbolesa del clarificat augmenta bruscament. En canvi en el cas del $FeCl_3$ la terbolesa es manté constant a altes dosis de $FeCl_3$.

Finalment s'ha estudiat l'efecte del tractament amb PAL-18 i $FeCl_3$ sobre la disminució de la DQO de l'aigua. Cal recordar que la DQO inicial de l'aigua d'entrada es de 5720 mg O_2/l.

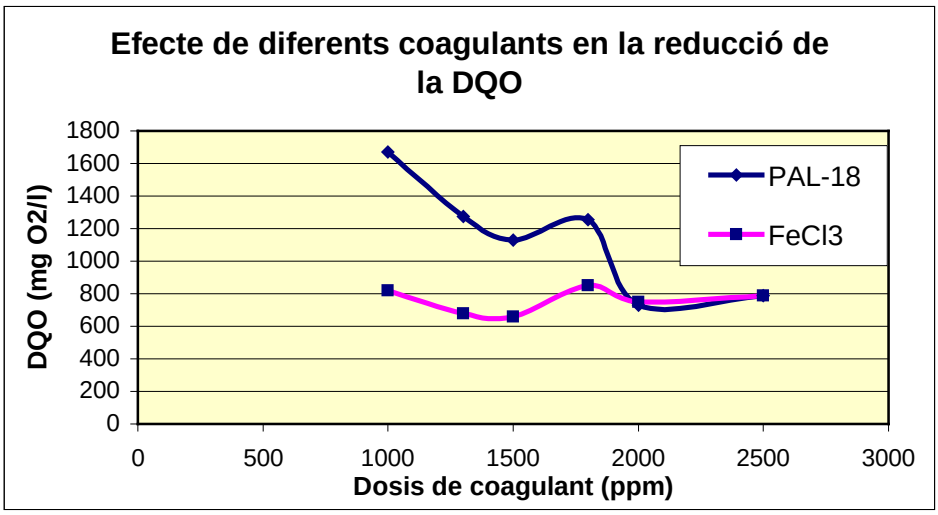


Fig.28. Efecte de diferents coagulants en la reducció de la DQO.

La gràfica mostra com a menor dosis de $FeCl_3$, la disminució de la DQO del clarificat és major en comparació al tractament amb PAL-18.

- Finalment, s'observa que amb el tractament físico-químic es disminueix la DQO, sòlids en suspensió i terbolesa del clarificat, però no s'aconsegueix eliminar la concentració present de nitrogen amoniacal (NH_4^+) per sota dels 50 ppm marcats pel Reglament del Consorci del Besòs.

En conclusió, es determina que el millor coagulant és el $FeCl_3$ ja que forma un floc més gran que flotarà millor, la seva acció coagulant no disminueix quan hi ha excés de dosis, dóna millor terbolesa del clarificat i redueix més els nivells de DQO. Per contra, s'observa que no s'eliminen els nivells de nitrogen amoniacal presents en l'aigua residual. Es determina que cal un tractament biològic per eliminar el nitrogen amoniacal.

Tractament recomanat al laboratori:

La següent imatge mostra el resultat obtingut amb el tractament amb $FeCl_3$ i amb PAL-18 respecte la mostra inicial:

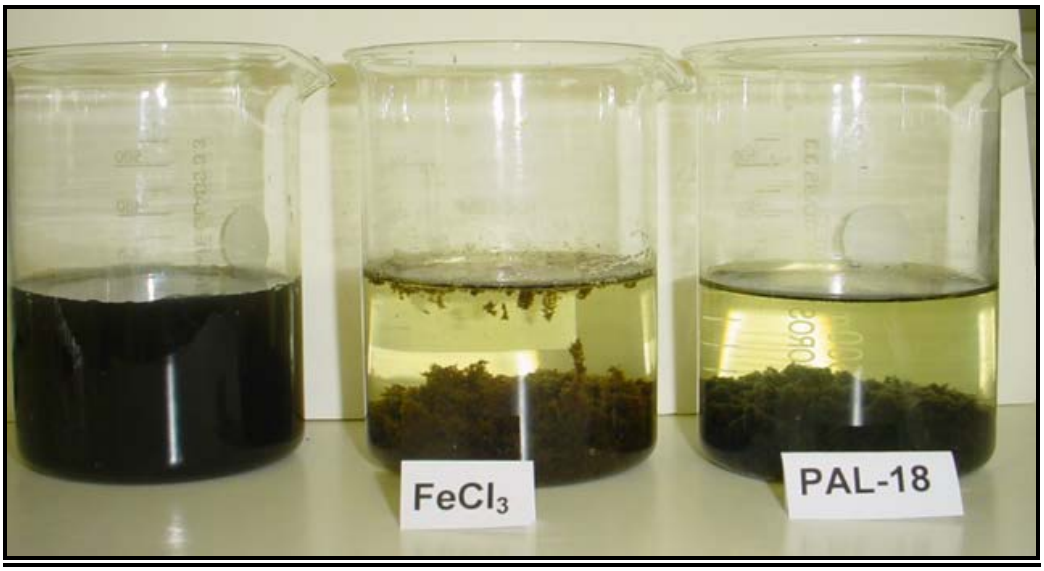


Fig.29.Tractament amb $FeCl_3$ vs PAL-18.

1800 ppm $FeCl_3$ + ajust de pH = 6.5 + 15 ppm DR-2500

La següent taula compara els resultats obtinguts amb el tractament F/Q respecte els paràmetres de l'aigua d'entrada i els marcats pel Reglament del Consorci del Besòs. S'observa com es compleixen tots els paràmetres excepte el del nitrogen amoniacal.

Tipus d'aigua	pH	DQO (mgO_2/l)	Conductivitat (µS/cm)	NH_4^+ (ppm)	NO_3^- (ppm)
Entrada	6.84	5720	3100	200	> 2.5
Després del tractament F/Q	6.5	850	3820	200	> 2.5
R. Consorci Besòs	6-10	1500	5000	50	100

Tractament recomanat en planta:

A partir de l'assaig realitzat al laboratori, es calcula la dosi de reactius que es necessitarà per a tractar el cabal d'aigües residuals de l'escorxador porcí. Tenint en compte que el cabal d'aigües residuals diari és de 1000 m^3/dia o també 42 m^3/h, es calculen els litres de cada reactiu que es necessitaran cada hora per tractar els 42 m^3 d'aigua residual.

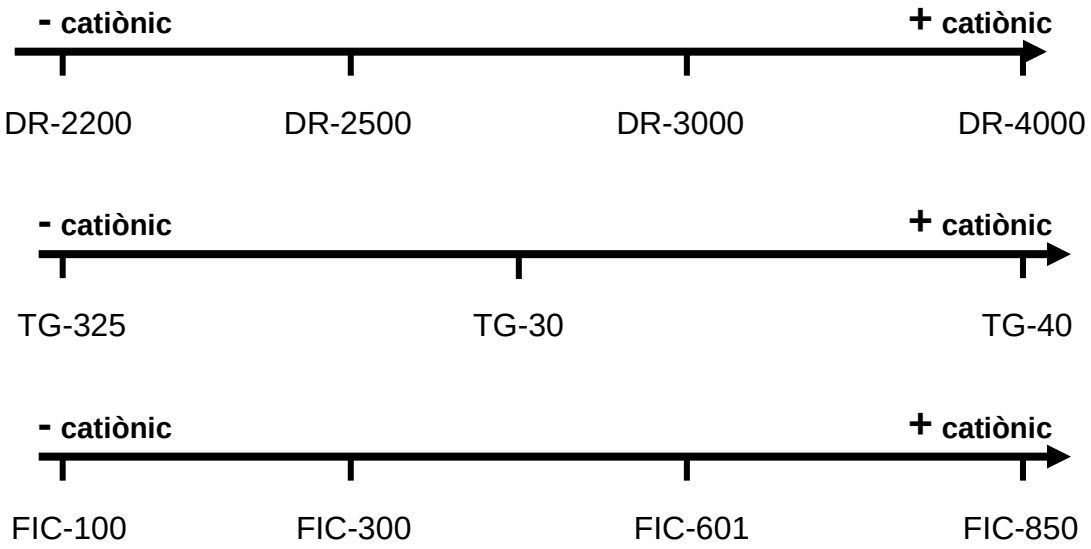
El volum de reactius s'ha calculat de tres maneres diferents:

- Coagulant ($FeCl_3$): - litres de producte pur necessaris cada hora
  - litres de producte diluït al 10% necessaris cada hora
  - litres de producte diluït al 25% necessaris cada hora
- Floculant (DR-2500): - litres de producte pur necessaris cada hora
  - litres de producte diluït al 0.5% necessaris cada hora
  - litres de producte diluït al 1% necessaris cada hora

Cabal entrada	$FeCl_3$			ajust	DR-2500		
	pur	10,0%	25,0%	pH	pur	0,5%	1,0%
42	76	756	302,4	6,5	0,63	126	63
(m^3/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	NaOH	(l/h)	(l/h)	(l/h)

9.1.6. ***Assaig de deshidratació de fangs: elecció del millor tractament***

L'assaig de deshidratació de fangs s'ha realitzat al laboratori d'aplicació de l'empresa Derypol. L'assaig, es realitza amb floculants líquids en dissolució aquosa i en emulsió, ja que els tancs dosificadors estan preparats per a dosificar únicament floculants líquids. El següent esquema mostra l'ordre de cationicitat dels diferents floculants utilitzats en l'assaig dels fangs:



La sèrie DR i TG correspon a floculants en dispersió aquosa, i la sèrie FIC correspon a floculants en emulsió. A continuació es presenta una taula amb els assaigs realitzats pel tractament dels fangs:

FULL D´ASSAIG DE FANGS

Color: Marró **pH:** 6.36 **Olor:** Característic **Volum:** 10 l **Sòlids:** 5.04% o 50400 ppm
Volàtils: 85.94 % **Observacions:** Fang per a centrífuga

Floculant s en dispersió aquosa:

Producte		Dosi (ppm)	Transv. Form. floc	Transv. Trenc. floc	Velocitat desgot (ml/s)	Tamany floc	Terbolesa (NTU)	Valoració
	DR-2500	1000	No flocula					-
	DR-3000	666	5	15	3,33	FMD	430,40	-
	DR-3000	1000	5	>20	9,67	FPeR	86,82	4
	DR-4000	666	5	16	6,00	FMD	192,40	-
	DR-4000	1000	5	>20	10,33	FPeR	73,11	3
☆	TG-30	666	5	>20	11,00	FPeR	70,97	1
	TG-30	1000	5	>20	5,67	FPeR	69,11	-
	TG-40	666	5	20	8,67	FPeD	110,50	-
	TG-40	1000	5	>20	10,67	FPeR	87,53	2

Floculants en emulsió:

Producte		Dosi (ppm)	Transv. Form. floc	Transv. Trenc. floc	Velocitat desgot (ml/s)	Tamany floc	Terbolesa (NTU)	Valoració
	FIC-100	500	No flocula					-
	FIC-300	500	No flocula					-
	FIC-601	500	5	14	10	FMD	448	2
☆	FIC-850	500	5	>20	15	FMR	79	1

FMD: floc mitjà dèbil ; FMR: floc mitjà resistent

9.1.7. ***Resultats del tractament de deshidratació de fangs:***

Un cop realitzat el tractament de deshidratació de fangs, es conclou que:

- El millor floculant en dispersió aquosa pel tractament dels fangs és el TG-30 de cationicitat mitja alta.
- El millor floculant en emulsió és el FIC-850 de cationicitat elevada.
- El floculant en emulsió FIC-850 treballa a menys dosis que el floculant TG-30.
- El floculant en emulsió FIC-850 dóna una velocitat de desgot major respecte el floculant en dispersió aquosa TG-30.
- Els floculants en emulsió formen un floc més gran que el format pels floculants en dispersió aquosa. Probablement per aquest motiu, la velocitat de desgot és més elevada en el floculant amb emulsió que no pas amb el floculant en dispersió aquosa.
- El percentatge de sequedat obtingut amb el fang de sortida de la centrífuga és d'un 20%.

La següent gràfica mostra com el floculant en emulsió FIC-850 dona una terbolesa semblant a la del floculant en dispersió aquosa DR-4000, però treballant a la meitat de dosis.

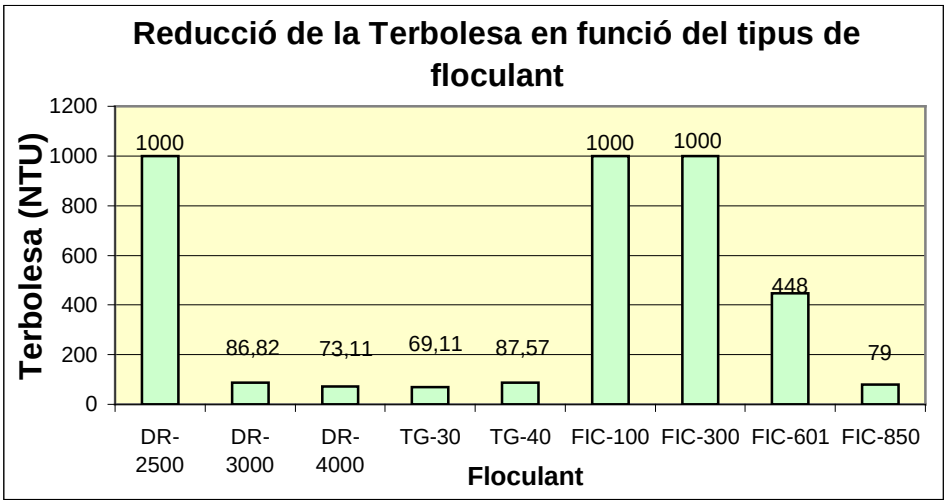


Fig.30.Reducció de la terbolesa en funció del tipus de floculant..

La següent gràfica mostra com el floculant en emulsió FIC-850 és el que dona una velocitat de desgot major. La velocitat de desgot és un factor molt important i que es té molt en compte alhora de discriminar entre floculants ja que aquest paràmetre indica el grau de separació de l'aigua respecte el fang. Per aquest motiu l'assaig es diu assaig de deshidratació del fang, perquè l'objectiu és separar el màxim volum d'aigua del fang. Com major sigui la velocitat de desgot, major volum d'aigua desgotarà, i per tant, major volum d'aigua s'haurà extret del fang i aquest sortirà més sec.

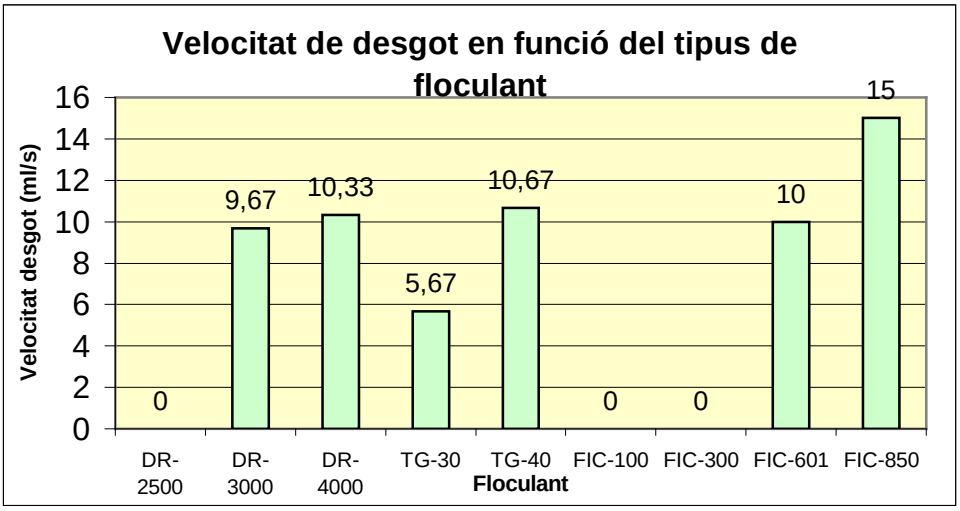


Fig.31. Velocitat de desgot en funció del tipus de floculant

Tractament recomanat al laboratori:

El tractament recomanat al laboratori en l'assaig de deshidratació de fangs és:

500 ppm FIC-850

Tractament recomanat en planta:

A partir de l'assaig realitzat al laboratori, es calcula la dosi de reactius que es necessitarà per a tractar el fang generat a l'escorxador porcí. El càlcul es realitza prenent com a referència un cabal de 125 m^3 de fang/h. En funció de la potència de la bomba centrífuga i del volum de fangs que es generin s'afegirà més o menys dosis de floculant.

El volum de floculant s'ha calculat de tres maneres diferents:

- Floculant (FIC-850): - litres de producte pur necessaris cada hora
  - litres de producte diluït al 0.5% necessaris cada hora
  - litres de producte diluït al 1% necessaris cada hora

Cabal entrada	FIC-850		
	pur	0,5%	1,0%
5,2	2,6	520	260
(m^3/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)

Les següents imatges mostren el resultat en planta del tractament del fang amb el floculant en emulsió FIC-850.

Fig.*32.Dipòsit de preparació del floculant FIC-850*

Fig.33. Centrífuga

Fig.34.Sortida dels fangs de la centrífuga

Fig.35.Fangs caient en un contenidor per ser tractats

Un cop els fangs cauen al contenidor, aquests són recollits per un gestor residu que els porta a fer compostatge per posteriorment utilitzar-lo com a abono agrícola o per terraplè. Actualment, es generen 25000 Kg fang/dia, amb un 20% de sequedat, i que s'han de tractar per un gestor especialitzat de residus.

9.1.8. ***Cost econòmic del tractament físico-químic complert:***

El cost econòmic s'ha realitzat tot comptabilitzant el cost anual dels reactius utilitzats pel tractament de les aigües i els fangs, i el cost anual de gestió dels fangs. La següent taula mostra el preu de cada reactiu, i el preu a pagar per cada Kg de fang que s'ha de gestionar per dur a compostatge.

Reactiu o tractament	Preu (€/Kg)
$FeCl_3$	0.1
DR-2500	1.6
FIC-850	2.5
Tractament fang	0.04

Cost tractament de les aigües				
Cabal a tractar:		42 m^3/h	365000 m^3/any	
Reactiu	**Volum gastat**		**Cost**	
	litres/h	**litres/any**	**€/h**	**€/any**
$FeCl_3$	76	665760	7,6	66576
DR-2500	0,63	5518,8	1,008	8830,08
Total			**8,608**	**75406,08**

Cost tractament dels fangs				
Cabal a tractar:		5,2 m^3/h	45625 m^3/any	
Tractament	**Volum gastat**		**Cost**	
	litres/h	**litres/any**	**€/h**	**€/any**
FIC-850	2,6	22776	6,5	56940

Tractament	**Volum fang generat**		**Cost**	
	Kg/h	**Kg/any**	**€/h**	**€/any**
Gestor residu	1041,66	9125000	41,66	365000

Total	**41,16**	**421940**
COST TOTAL F/Q:	**56,768 €/h**	**497346,1€/any**

9.2. Alternativa 1: Tractament biològic

En aquest cas, s'elimina el tractament físico-químic, i les aigües són tractades únicament mitjançant un tractament biològic del tipus SBR (explicat en el primer bloc d'introducció, punt 4.3.2.

9.2.1. ***Resultats de simulació donats pel programa informàtic Capdetworks:***

Mitjançant el programa informàtic Capdetworks, s'ha dissenyat un reactor biològic del tipus SBR, a partir de les dades de l'aigua residual d'entrada, sense ésser tractada prèviament. A continuació es mostra en una taula les característiques de l'aigua d'entrada, i a continuació, les característiques de simulació del reactor biològic SBR donades pel programa informàtic Capdetworks.

- **Característiques de l'aigua d'entrada:**

Q (m^3/dia)	TKN soluble (g/m)	TKN (g/m^3)	Sòlids		DQO (mg/l)	DQO soluble (mg/l)	NH_4^+ (ppm)	% SSV	DBO (g O_2/m^3)	DBO soluble (g O_2/m)
			%	g/m^3						
1000	224	320	0.43	4300	5720	3445	200	75	4205	1529

- **Resultats de simulació donats pel Capdetworks:**

A l'annex de l'estudi, s'inclouen tots els paràmetres donats pel programa informàtic Capdetworks, i tots els paràmetres que s'han introduït per dissenyar el reactor SBR. A continuació s'inclouen els resultats més representatius que donen informació suficient per entendre els paràmetres de disseny i de funcionament del reactor SBR:

Nombre de reactors SBR	2	**Volum total 2 SBR:**	625 m^3
Nombre de difusors per airejar:	1080	**Volum de fang generat:**	3800 Kg/dia
Temps d'aireació:	4 h	**Volum fang purgat:**	473 m^3/dia
Temps sense aireació:	2 h	**Concentració fang:**	8000 g/m^3
Temps de decantació:	1.5 h	**Q d'aireació necessari:**	44100 m^3/h
Temps de retenció hidràulic:	15 h	**Alçada reactor:**	5 m

La següent taula mostra els paràmetres obtinguts de l'aigua un cop aquesta ha estat tractada biològicament en el reactor, en comparació amb l'aigua d'entrada. Es pot observar com la concentració de nitrogen amoniacal s'ha reduït a valors inferiors als 50 ppm marcats pel Reglament del Consorci del Besòs.

MOSTRA	TKN soluble (g/m)	TKN (g/m^3)	**Sòlids**	**DQO (mg/l)**	**DQO soluble (mg/l)**	**NH_4^+ (ppm)**	**% SSV**	**DBO (g O_2/m^3)**	**DBO soluble (g O_2/m)**
			g/m^3						
Entrada	224	320	4300	5720	3445	200	75	4205	1529
Sortida	0.93	0.932	25	41.9	15	**0.93**	71.7	11.8	10

9.2.2. ***Cost econòmic del tractament biològic:***

Cost construcció reactor biològic SBR		
Cabal a tractar:	42 m^3/h	365000 m^3/any

Cost Construcció:	785.593,22 €
Cost operació:	78728,81 €/any
Cost manteniment:	40508,47 €/any
Cost materials:	27457,62 €/any
Cost reactius:	0 €/any
Cost energètic:	227966,10 €/any

COST CONSTRUCCIÓ SBR:	**785593,22**	**€**
COST TOTAL CADA ANY:	**374661**	**€/any**

Cost tractament dels fangs		
Cabal a tractar:	473 m^3/dia	172645 m^3/any

Tractament	**Volum gastat**		**Cost**	
	litres/h	**litres/any**	**€/h**	**€/any**
FIC-850	9.85	86286	24.62	215715

Tractament	**Volum fang generat**		**Cost**	
	Kg/h	**Kg/any**	**€/h**	**€/any**
Gestor residu	3942	34531920	157,68	1381276,8
		Total	**182,305**	**1596991.8**

COST CONSTRUCCIÓ SBR:	**785593,22 €**
COST TOTAL OPERACIÓ BIOLÒGIC/ANY:	**1971652.8 €/any**

9.3. Alternativa 2: Tractament físico-químic complert + tractament biològic

En aquest cas, les aigües són tractades primerament amb el tractament físico-químic complert, tal i com es en el punt 9.1, i posteriorment, les aigües són enviades a un reactor biològic del tipus SBR per eliminar l'excés de nitrogen amoniacal de les aigües, tal i com s'ha explicat en el punt 9.2. En aquest cas, la càrrega contaminant de l'aigua d'entrada al reactor biològic SBR serà menor que en l'apartat 9.2 on l'aigua no patia cap tractament previ .

9.3.1. ***Resultats de simulació donats pel programa informàtic Capdetworks:***

Mitjançant el programa informàtic Capdetworks, s'ha simulat el disseny d'un reactor biològic del tipus SBR, a partir de les dades de l'aigua residual d'entrada, després d'ésser tractada mitjançant el tractament físico-químic explicat a l'apartat 9.1. A continuació es mostra en una taula les característiques de l'aigua d'entrada, i a continuació, les característiques del reactor biològic SBR donades pel programa informàtic Capdetworks.

- **Característiques de l'aigua d'entrada:**

La següent taula mostra els paràmetres de l'aigua d'entrada al reactor biològic SBR:

Q (m^3/dia)	TKN soluble (g/m)	TKN (g/m^3)	**Sòlids**		**DQO (mg/l)**	**DQO soluble (mg/l)**	**NH_4^+ (ppm)**	**% SSV**	**DBO (g O_2/m^3)**	**DBO soluble (g O_2/m)**
			%	**g/m^3**						
1000	224	320	0.14	1400	576	347	200	75	423	154

- **Resultats donats pel Capdetworks:**

A l'annex de l'estudi, s'inclouen tots els paràmetres donats pel programa informàtic Capdetworks, i tots els paràmetres que s'han introduït per dissenyar el reactor SBR. A continuació s'inclouen els resultats més representatius que donen informació suficient per entendre els paràmetres de disseny i de funcionament del reactor SBR:

Nombre de reactors SBR	2	**Volum total 2 SBR:**	625 m^3
Nombre de difusors per airejar:	337	**Volum de fang generat:**	912 Kg/dia
Temps d'aireació:	4 h	**Volum fang purgat:**	111 m^3/dia
Temps sense aireació:	2 h	**Concentració fang:**	8000 g/m^3
Temps de decantació:	1.5 h	**Q d'aireació necessari:**	13700 m^3/h
Temps de retenció hidràulic:	15 h	**Alçada reactor:**	5 m

La següent taula mostra els paràmetres obtinguts de l'aigua un cop aquesta ha estat tractada biològicament en el reactor, en comparació amb l'aigua d'entrada:

MOSTRA	TKN soluble (g/m)	TKN (g/m^3)	**Sòlids g/m^3**	**DQO (mg/l)**	**DQO soluble (mg/l)**	**NH_4^+ (ppm)**	**% SSV**	**DBO (g O_2/m^3)**	**DBO soluble (g O_2/m)**
Entrada	224	320	1400	576	347	200	75	423	154
Sortida	0.93	0.931	25	38.1	10	**0.93**	61.6	10.7	10

9.3.2. *Cost econòmic del tractament físico-químic complert + biològic:*

COST TOTAL F/Q:	**56,768 €/h**	**497346,1€/any**

Cost construcció reactor biològic SBR		
Cabal a tractar:	42 m^3/h	365000 m^3/any

Cost Construcció:	580508.47 €
Cost operació:	46186.44 €/any
Cost manteniment:	20847.45 €/any
Cost materials:	17033.89 €/any
Cost reactius:	0 €/any
Cost energètic:	71779.66 €/any

COST CONSTRUCCIÓ:	**580508.47**	**€**
COST TOTAL CADA ANY:	**155847.44**	**€/any**

Cost tractament dels fangs		
Cabal a tractar:	111 m^3/dia	40515 m^3/any

Tractament	**Volum gastat**		**Cost**	
	litres/h	**litres/any**	**€/h**	**€/any**
FIC-850	2,31	20235,6	5,775	50589

Tractament	**Volum fang generat**		**Cost**	
	Kg/h	**Kg/any**	**€/h**	**€/any**
Gestor residu	925	8103000	37	324120
		Total	**42,775**	**374709**

COST CONSTRUCCIÓ SBR:	**580508.47 €**
COST TOTAL OPERACIÓ BIOLÒGIC/ANY:	**530556,44 €/any**

COST CONSTRUCCIÓ SBR:	**580508.47 €**
COST TOTAL TRACTAMENT/ANY:	**1027902.54 €/any**

9.4. Alternativa 3: Tractament físico-químic per desengreix + tractament biològic

En aquest cas, s'aprofiten les instal·lacions presents per a realitzar un tractament físico-químic de desengreix, i posteriorment les aigües són tractades mitjançant un tractament biològic del tipus SBR. L'etapa de desengreix serveix per eliminar les grasses presents en l'aigua i aquella matèria en suspensió en l'aigua. L'objectiu és descarregar la càrrega contaminant de l'aigua abans que aquesta entri al biològic.

9.4.1. ***Tractament de desengreix amb l'addició de floculant:***

Les aigües d'escorxador contenen una gran quantitat de grasses, que creen nombrosos problemes en la depuració de les aigües, i en moltes de les instal·lacions següents:

- En reixes fines causen obstrucció augmentant els costos de manteniment.
- En els decantadors formen una capa superficial dificultant la sedimentació, al atraure cap a la superfície petites quantitats de matèria orgànica.
- En la depuració biològica de fangs actius, dificulten la correcta aireació, i participen en el fenomen de "bulking".
- Pertorben la digestió dels fangs.
- La DQO en escorxadors s'incrementa d'un 8 a un 15% per les grasses contingudes en les aigües.

Una bona solució per evitar el problema de les grasses en les aigües residuals és la instal·lació de cameres de desengreix. En el cas dels escorxadors, la tècnica més utilitzada per a la separació de les grasses és la flotació. Aquesta, es pot veure afavorida amb l'addició d'algun reactiu químic.

En el cas de les aigües de l'escorxador porcí de Granollers, es realitza una addició del floculant en dispersió aquosa DR-2500, utilitzat en l'assaig físico-químic del punt 2.1. Mitjançant la dosificació de floculant, s'aconsegueix separar les grasses i aquella matèria que no està en dissolució en l'aigua. La dosificació de floculant i el sistema de flotació tipus DAF present en les instal·lacions de l'escorxador porcí de Granollers, permeten realitzar una separació bastant bona de les grasses i sòlids en suspensió de l'aigua.

Després de realitzar l'assaig al laboratori, es determina el volum de reactiu necessari per a dur a terme el desengreix de les aigües residuals. La següent taula mostra el volum de reactiu utilitzat, i la següent fotografia mostra el tractament obtingut amb l'addició de DR-2500 per tal de realitzar un desengreix en les aigües residuals.

Cabal entrada	DR-2500		
	pur	0,5%	1,0%
42	2,52	504	252
(m^3/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)

Fig.36. Tractament de desengreix

- **Característiques de l'aigua d'entrada:**

Q (m^3/dia)	TKN soluble (g/m)	TKN (g/m^3)	Sòlids		DQO (mg/l)	DQO soluble (mg/l)	NH_4^+ (ppm)	% SSV	DBO (g O_2/m^3)	DBO soluble (g O_2/m)
			%	g/m^3						
1000	224	320	0.17	1700	932	561	200	75	685	249

9.4.2. *Resultats de simulació donats pel programa informàtic Capdetworks:*

Mitjançant el programa informàtic Capdetworks, s'ha dissenyat un reactor biològic del tipus SBR, a partir de les dades de l'aigua residual d'entrada, després d'ésser tractada mitjançant el tractament de desengreix. A continuació es mostren les característiques del reactor biològic SBR donades pel programa informàtic Capdetworks.

- **Resultats donats pel Capdetworks:**

A l'annex de l'estudi, s'inclouen tots els paràmetres donats pel programa informàtic Capdetworks, i tots els paràmetres que s'han introduït per dissenyar el reactor SBR. A continuació s'inclouen els resultats més representatius que donen informació suficient per entendre els paràmetres de disseny i de funcionament del reactor SBR:

Nombre de reactors SBR	2	**Volum total 2 SBR:**	625 m^3
Nombre de difusors per airejar:	389	**Volum de fang generat:**	1170 Kg/dia
Temps d'aireació:	4 h	**Volum de fang purgat:**	143 m^3/dia
Temps sense aireació:	2 h	**Concentració fang:**	8000 g/m^3
Temps de decantació:	1.5 h	**Q d'aireació necessari:**	15800 m^3/h
Temps de retenció hidràulic:	15 h	**Alçada reactor:**	5 m

La següent taula mostra els paràmetres obtinguts de l'aigua un cop aquesta ha estat tractada biològicament en el reactor, en comparació amb l'aigua d'entrada:

MOSTRA	TKN soluble (g/m)	TKN (g/m^3)	**Sòlids g/m^3**	**DQO (mg/l)**	**DQO soluble (mg/l)**	**NH_4^+ (ppm)**	**% SSV**	**DBO (g O_2/m^3)**	**DBO soluble (g O_2/m)**
Entrada	224	320	1700	932	249	200	75	685	249
Sortida	0.93	0.931	25	38.8	10	**0.93**	63.6	10.9	10

9.4.3. ***Cost econòmic del tractament de desengreix + biològic:***

Cost tractament desengreix de les aigües		
Cabal a tractar:	42 m^3/h	365000 m^3/any

Reactiu	**Volum gastat**		**Cost**	
	litres/h	**litres/any**	**€/h**	**€/any**
DR-2500	2.52	22075.2	**4.032**	**35320.32**

Cost tractament dels fangs		
Cabal a tractar:	72 m^3/dia	26280 m^3/any

Tractament	**Volum gastat**		**Cost**	
	litres/h	**litres/any**	**€/h**	**€/any**
FIC-850	1,5	13140	3,75	32850

Tractament	**Volum fang generat**		**Cost**	
	Kg/h	**Kg/any**	**€/h**	**€/any**
Gestor residu	582	5098320	23,28	203932,8

Total	**27,03**	**236782,8**

COST TOTAL DESENGREIX:	**31,062 €/h**	**272103,12€/any**

Cost construcció reactor biològic SBR		
Cabal a tractar:	42 m^3/h	365000 m^3/any

Cost Construcció:	599152,54 €
Cost operació:	49237,28 €/any
Cost manteniment:	22542,37 €/any
Cost materials:	18050,84 €/any
Cost reactius:	0 €/any
Cost energètic:	82627,12 €/any

COST CONSTRUCCIÓ SBR:	**599152,54**	**€**
COST TOTAL CADA ANY:	**172457,61**	**€/any**

Cost tractament dels fangs		
Cabal a tractar:	143 m^3/dia	52195 m^3/any

Tractament	Volum gastat		Cost	
	litres/h	**litres/any**	**€/h**	**€/any**
FIC-850	2.97	26017,2	7,425	65043

Tractament	Volum fang generat		Cost	
	Kg/h	**Kg/any**	**€/h**	**€/any**
Gestor residu	1190	10424400	47,6	416976
		Total	**55,025**	**482019**

COST CONSTRUCCIÓ SBR:	**599152,54 €/any**
COST TOTAL OPERACIÓ BIOLÒGIC/ANY:	**654476,61 €/any**

COST CONSTRUCCIÓ SBR:	**599152,54 €/any**
COST TOTAL TRACTAMENT/ANY:	**926579,73 €/any**

10. DISCUSSIÓ I CONCLUSIÓNS

Després d'estudiar les l'optimització del tractament F/Q, i les 3 alternatives de tractament de les aigües de l'escorxador porcí de Granollers, es compara a continuació en les següents taules, les diferències tan qualitatives com econòmiques dels tractaments proposats.

10.1. Paràmetres importants de l'aigua

TRACTAMENT	Sòlids g/m^3	DQO (mg/l)	NH_4^+ (ppm)	DBO (g O_2/m^3)
Legislació	750	1500	50	750
Aigua entrada	4300	5720	200	4205
F/Q sol	50-100	850	**200**	-
Biològic sol	25	41.9	**0.93**	11.8
F/Q + biològic	25	38.1	**0.93**	10.7
Desengreix + biològic	25	38.8	**0.93**	10.9

S'observa doncs, que amb el tractament físico-químic s'aconsegueix reduir la DQO i els sòlids en suspensió. Per contra, el tractament físico-químic no és suficient per eliminar la concentració de nitrogen amoniacal present en l'aigua, i per tant, es requereix d'un tractament biològic per eliminar el nitrogen amoniacal.

D'altra banda, es pot observar que les 3 alternatives proposades que inclouen un tractament biològic, aconsegueix disminuir tots els paràmetres de l'aigua per sota dels nivells establerts pel Reglament del Consorci del Besòs, entre ells, el nitrogen amoniacal.

De totes maneres, els resultats de qualitat de l'aigua obtinguts amb el programa informàtic Capdetworks no són del tot fiables, ja que són resultats calculats a partir de balanços de matèria molt senzills. Per tant, la reproductibilitat dels resultats no és del 100% fiable, però si que són resultats prou orientatius per poder comparar entre tractaments. Per arribar a optimitzar el funcionament del reactor, s'haurien de fer simulacions amb models rigorosos com ara el ASM1 o ASM2d.

10.2. Comparació del cost de cada tractament

Les propostes de tractament de les aigües residuals de l'escorxador porcí de Granollers han estat:

1) Optimització del tractament físico-químic complert
2) Alternativa 1: Tractament biològic en un reactor del tipus SBR
3) Alternativa 2: Tractament físico-químic complert + tractament biològic en SBR
4) Alternativa 3: Tractament de desengreix + tractament biològic en SBR

En funció del tipus de tractament, el cost de construcció, manteniment, operació, energia i volum de reactius varia. La següent taula mostra la diferència del cost de construcció del reactor biològic SBR en cadascun dels tractaments estudiats, i el cost anual d'operació i manteniment de l'equip, i tractament i gestió de les aigües i els fangs generats:

TRACTAMENT	COST CONSTRUCCIÓ SBR €	COST €/any	
Tractament F/Q	**0 €**	Cost tractament	Cost operació, manteniment SBR
		497346,1	0
		TOTAL: 497346,1 €/any	
Tractament biològic	**785593,22 €**	Cost tractament	Cost operació, manteniment SBR
		1596991,8	374661
		TOTAL: 1971652,8 €/any	
F/Q + Biològic	**580508,47 €**	Cost tractament	Cost operació, manteniment SBR
		497346,1+374709	155847,44
		TOTAL: 1027902,54 €/any	
Desengreix + Biològic	**599152,54 €**	Cost tractament	Cost operació, manteniment SBR
		272103,12+482019	172457,61
		TOTAL: 926579,73 €/any	

A partir de l'estudi dels costos de cada tractament, es pot observar com en funció de la càrrega contaminant de l'aigua d'entrada al reactor biològic SBR, varien els costos de construcció, operació, manteniment i subministrament energètic. Això és així, degut a que en funció de la càrrega a tractar, varien els equips i varia el sistema d'aireació (nombre de difusors). Com més carregada entri l'aigua, més aireació requerirà el tractament biològic i com a conseqüència més nombre de difusors es necessitaran per airejar el reactor. Aquest fet repercuteix en el cost energètic, cost de manteniment,....

S'observa com l'alternativa 1 (Tractament biològic sol), tot i no requerir tractament previ de l'aigua amb reactius abans d'entrar al reactor, té un cost anual superior al cost de l'alternativa 2, on es realitza un tractament físico-químic complert de l'aigua prèviament a l'entrada a reactor. Aquest fet és degut a diferents aspectes:

- Cost de tractament i gestió del gran volum de fangs generats en el tractament biològic. L'elevada càrrega contaminant present en l'aigua d'entrada al SBR genera un volum de fangs molt gran que posteriorment tindrà un cost de tractament i gestió.
- L'elevada càrrega contaminant de l'aigua d'entrada requereix una major aireació, i per tant, un augment en el nombre d'equips, un augment en el cost energètic, cost d'operació i cost de manteniment.

D'altre banda, cal tenir en compte el cost de tractament de l'aigua previ a l'entrada en el reactor biològic SBR. Cal esmentar, la importància del cost de tractament de l'aigua, ja que aquest no solament inclou el preu dels reactius emprats, sinó que també té en compte el volum de fangs generats a ser tractats, i el volum de fangs produït en el procés de deshidratació de fangs. Els fangs produïts, hauran de ser gestionats per un gestor de residus, que cobrarà a l'empresari per cada Kg de fang que hagi d'emportar-se a compostatge.

Per aquest motiu, cal prendre atenció en el cost de tractament de cadascuna de les alternatives estudiades. Es pot observar com en el cas de l'alternativa 2 (tractament F/Q + SBR), el cost de tractament de l'aigua és quasi el doble que en el cas de l'alternativa 3 on es realitza un desengreix. Aquestes diferències de cost es deuen principalment a la disminució en el volum de reactius aplicat, i sobretot en la disminució de fangs generats en

el tractament de desengreix respecte el tractament físico-químic complert. Aquesta disminució del volum de fangs generats, suposa una menor addició de reactius per a tractar-los, i un menor volum de fangs a pagar per a ser gestionats pel gestor de residus.

Per aquest motiu, i tenint en compte les necessitats de la planta depuradora de l'escorxador porcí de Granollers, es creu que, tot i tenir un cost de construcció major a l'alternativa 2, l'alternativa més viable econòmicament i de fàcil aplicació és l'alternativa 3: **Tractament de desengreix + tractament biològic tipus SBR.**

10.3. Alternativa proposada: Tractament de desengreix + Tractament biològic SBR

L'alternativa 3 (desengreix + tractament biològic SBR) presenta moltes avantatges respecte les altres alternatives:

- *Eliminació de greixos i DQO*: És molt comú veure un tractament de desengreix en moltes estacions depuradores d'escorxador. Amb el procés de desengreix, s'elimina tota la matèria que està en suspensió i també DQO. L'addició de floculant (DR-2500) i el sistema de flotació DAF present a la planta depuradora, ajuden a recollir la matèria que no està dissolta en l'aigua. L'addició de floculant no elimina només els greixos, també elimina la matèria en suspensió; per aquest motiu s'aconsegueix reduir bastant els nivells de DQO de l'aigua. Es considera que les grasses formen part de la matèria orgànica, i per aquest motiu s'aconsegueix una reducció de la DQO amb el desengreix.
- S'aconsella el desengreix previ al tractament biològic per evitar problemes en el tractament de les aigües. Les grasses són les causants de problemes relacionats amb: embussament dels difusors, obstrucció de reixes, en els decantadors formen una capa superficial dificultant la sedimentació en el biològic, dificulten la correcta aireació en la depuració de fangs actius i afavoreixen el fenomen de bulking, la DQO en escorxadors incrementa d'un 8 a un 15% per les grasses de l'aigua,....
- Flotació: el present tanc de flotació de tipus DAF en l'escorxador, permet la implantació d'un sistema de desengreix.

- Aprofitament de la línia actual de realització del F/Q. Les presents instal·lacions poden ésser aprofitades per a dur a terme un desengreix de les aigües. En aquest cas, s'elimina l'addició de coagulant i ajust de pH de l'aigua, i s'utilitza la línia per homogeneïtzar bé la mostra i facilitar la incorporació del floculant abans d'entrar al tanc de flotació.
- En el cas que el reactor biològic deixés de funcionar, sempre es poden utilitzar les instal·lacions actuals per a dur a terme un tractament F/Q complert de l'aigua com a solució momentània mentre s'arregla el reactor biològic SBR.
- Cost de tractament i gestió de fangs menor.
- Utilització d'un sol reactiu per a tractar les aigües.
- Tot i tenir un cost de construcció del reactor SBR major en relació a l'alternativa 2, el cost total anual és menor. Alternativa més rentable de totes.

BIBLIOGRAFIA

Llibres

Alexander, J. *et al.* (1994). *Water Reuse. Manual of practice.* 2ond edition. Water Pollution Control Federation. Alexandria.

Arnau, J i San Lorenzo, G. (1994). *Reutilització d'aigües residuals urbanes*, UdG. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient.

Boyd, C. (1999). *Water Quality. An Introduction.* Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachussets.

Colprim, J.; Rigola, M.; Poch, M. i Panizo, M.L. 1999. *Eliminación de nitrógeno en aguas residuales de industrias agroalimentarias.*

Endress and Hauser. (2003). *General Specifications Catalogue 2003*. *Industrial Measurement Technology. Volume 2.* Germany.

Marañón, E.; Castrillón, L.; Fernández, J.J. i Sastre, H. 1999*. Efluentes de un matadero general asturiano*.

Mujeriego, R. (1990). *Riego con agua residual municipal regenerada. Manual práctico.* Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

Núñez, L.A.; González, R.; Cabezas, J.L. i Martínez, B. 1998. *Aguas residuales de matadero.*

Oskar Prändl et alt. *Tecnología e higiene de la carne*. Ed. ACRIBIA, S.A.

R.S. Ramalho. *Tratamiento de aguas residuales*. Ed. Reverté, S.A..

R. L'ópez Vázquez y A. Casp Vanaclocha. *Tecnología de los mataderos*. Ediciones Mundi-Prensa, 2004.

Ronzano, E. i Dapena, J.L. 1995. Tratamiento biológico de las aguas residuales. Ediciones Díaz de Santos, Madrid.

Seoánez, M. (1999). *Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos. Tecnologias. Diseño.* Ediciones Mundi-Prensa.

Catàlegs

Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Reactores secuenciales por tandas. EPA, Setembre 1999.

La depuració d'aigües a les industries I activitats classificades (Publicació de l'associació I del Col.legi d'enginyers Industrials de Catalunya, 1989).

Manual de Derypol: *"Introducción al tratamiento de aguas*".

Manual: "*Soluciones para la protección del medio ambiente*".

Revista Medio Ambiente: "*Criterios para seleccionar el sistema de depuración más adecuado a su actividad industrial"*. Novembre, 1995.

Revista Tecnología del agua: *"Estudio comparativo de distintos coagulantes inorgánicos en el tratamiento de efluentes líquidos de matadero*", 1987.

Sludge treatment with centrifugues (Bleaching and water chemicals) defussa.

Tecnología del agua. Artículo técnico: "*Jar-test en el tratamiento de aguas: una valiosa herramient")*.

Altres

Apunts de l'assignatura de tractament d'aigües residuals del GSTA.

Reglament del Consorci del Besòs, aprovat per la Junta General del dia 21 de febrer de 1991, Publicat al Butlletí Oficial de la Província de Barcelona, núm. 148, del dia 22 de juny de 1994.

www.fao.org

www.google.es

M’agradaria anomenar a totes aquelles persones sense les quals m’hagués estat impossible la realització d’aquest projecte.

En primer lloc, m’agradaria donar les gràcies a Derypol per ajudar-me i prestar-me tot allò que m’ha estat necessari per a dur a terme aquest projecte. En especial, m’agradaria donar les gràcies a l’Eduard Cardona per la seva constant ajuda i implicació en el projecte. Gràcies Eduard per contestar-me tantes preguntes pesades que sense cessar t’he preguntat durant tots aquests mesos. Gràcies també a tots el companys del laboratori per ajudar-me en les tasques d’anàlisi i per orientar-me en l’ampli camp de la química, gràcies: Albert, Maite, MºAngeles, Pilar, Vicenç, Mar, Marta, German i Lali. Gràcies també Ferran per animar-me a realitzar el projecte quan jo no n’estava del tot convençuda.

En segon lloc, m’agradaria donar les gràcies incondicionals al meu tutor Ignasi Roda - Rodríguez per la seva constant dedicació i implicació en voler prendre part de la realització d’aquest projecte. Gràcies Ignasi per les hores dedicades, inclòs quan no gaudies de temps. Gràcies també a Xavier Flores per ajudar-me en el desenvolupament del Software CAPDETWORKS. Gràcies per implicar-te tan i tantes hores, quan no en tenies la obligació.

Gràcies també a l’escorxador porcí de Granollers per permetre’m utilitzar les seves instal·lacions, i pel seu recolzament.

Finalment, m’agradaria donar les gràcies a tots aquells amics i familiars que m’han ajudat, recolzat i animat en la realització d’aquest projecte. En especial, m’agradaria donar les gràcies a la meva àvia Joaquima per animar-me tan després de tot el que ha passat, ja que malgrat les circumstàncies, ella sempre ha estat allà pensant en mi envers de n’ella.

A tots ells, moltes gràcies.