INFORME TÈCNIC

DEFINICIÓ DE TRACTAMENT ADEQUAT PER ALS MUNICIPIS DE MENYS DE 2000 hab-eq DE CATALUNYA

Rafael Mujeriego
Dr. Enginyer de Camins
Catedràtic d'Enginyeria Ambiental

Joan García
Dr. en Biologia
Professor Associat

Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental
Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental
ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports
Universitat Politècnica de Catalunya

Aquest estudi s'ha realitzat com una part del Conveni Específic de Col·laboració entre la Junta de Sanejament de la Generalitat de Catalunya i la Universitat Politècnica de Catalunya en Matèria de Recerca i Desenvolupament d'Estudis Relacionats amb el Cicle Integral de l'Aigua

Barcelona, març de 1999

INFORME TÈCNIC

DEFINICIÓ DE TRACTAMENT ADEQUAT PER ALS MUNICIPIS DE MENYS DE 2000 hab-eq DE CATALUNYA

Rafael Mujeriego
Dr. Enginyer de Camins
Catedràtic d'Enginyeria Ambiental

Joan García
Dr. en Biologia
Professor Associat

Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental
Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental
ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports
Universitat Politècnica de Catalunya

Aquest estudi s'ha realitzat com una part del Conveni Específic de Col·laboració entre la Junta de Sanejament de la Generalitat de Catalunya i la Universitat Politècnica de Catalunya en Matèria de Recerca i Desenvolupament d'Estudis Relacionats amb el Cicle Integral de l'Aigua

Barcelona, març de 1999

AGRAÏMENTS

Aquest Informe Tècnic ha estat elaborat com una part dels compromisos adquirits per la Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental en el Conveni Específic de Col·laboració entre la Junta de Sanejament de la Generalitat de Catalunya i la Universitat Politècnica de Catalunya. Un dels objectius principals d'aquest Conveni és la definició de tractament adequat per als nuclis de menys de 2000 habitants equivalents de Catalunya.

L'elaboració d'aquest Informe Tècnic ha estat possible gràcies a la col·laboració de l'alumne Miquel Roma i Peix, que va realitzar la recollida preliminar de dades i va realitzar una proposta inicial, que posteriorment es va convertir en la seva Tesina d'Especialidad a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports. Els autors reconeixen la seva valuosa aportació inicial.

L'elaboració del text final d'aquest Informe Tècnic ha estat possible gràcies a la col·laboració del personal tècnic de la Junta de Sanejament. En particular, els autors desitgen agrair als Srs. Josep Maria Obis, Lluís Godé, Josep Bou i Josep Maria Aguiló, les suggerències, els comentaris i les aportacions que han realitzat durant tot l'estudi.

ÍNDEX

Capítol 1. Introducció i objectius 1
Objectius 2

Capítol 2. Tractaments primaris 3
Fosses sèptiques 3
Tancs Imhoff 6
Decantadors primaris 8
Quadres resum dels tractaments primaris 13

Capítol 3. Tractaments naturals 17
Filtres verds 17
Sistemes d'infiltració ràpida 26
Sistemes d'escorriment superficial 35
Llacunatge 40
Aiguamolls construïts 53
Llits de torba 60
Quadres resum dels tractaments naturals 63

Capítol 4. Tractaments convencionals 71
Fangs activats 71
Biodiscs 81
Filtres percoladors 86
Quadres resum dels tractaments convencionals 91

Capítol 5. Exemples d'instal.lacions en funcionament 95
Filtre verd de Begur (Girona) 95
Llacunatge natural de Sant Gregori (Girona) 97
Llacunatge natural de Madremanya (Girona) 101
Llacunatge natural de Castelló d'Empúries (Girona) 103
Aiguamoll de flux subsuperficial de Can Massaguer (Girona) 104
Aiguamoll de flux superficial d'Empúriabrava (Girona) 106
Centre Experimental d'Aigües Residuals de Ranilla (Sevilla) 108
Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla) 109
Eliminació de nutrients mitjançant sistemes naturals 112
Sistemes de tractament autònom Gappei-Shori Johkasou (Japó) 114
Experiència a Catalunya sobre els reactors biològics seqüencials 117
Instal·lacions a les Illes Balears 118

Capítol 6. Sanejament de petits nuclis en d'altres països 121
França 121
Itàlia 128
Dinamarca 129

Alemanya 132
Noruega 133
Estats Units 137
Síntesi del sanejament de petites aglomeracions a d'altres països 141
Pla Director de tecnologies no convencionals d'Andalusia 142

Capítol 7. Proposta i directrius de sanejament en les aglomeracions de menys de 2000 hab-eq 143
Aglomeracions menors de 2000 hab-eq 143
Principis generals en l'elecció de la tecnologia adequada 144
Consideracions específiques del programa 144
Selecció del tractament adequat 146

Capítol 8. Conclusions i recomanacions 149

Referències bibliogràfiques 154

ÍNDEX DE TAULES

Capítol 2

Taula 2.1 Capacitat de les fosses sèptiques segons el país(EPA, 1981) 5
Taula 2.2 Càrregues hidràuliques superficials a cabal mitjà en decantadors primaris ($m^3/m^2.h$). Extret de Hernández *et al.* (1996). 10
Taula 2.3 Càrregues hidràuliques superficials a cabal màxim en decantadors primaris ($m^3/m^2.h$). Extret de Hernández *et al.* (1996) 10
Taula 2.4 Temps de permanència hidràulic dels decantadors primaris (en hores). Extret de Hernández *et al.* (1996) 11
Taula 2.5 Dimensions més habituals per als decantadors primaris rectangulars i lamel·lars. Extret de Hernández *et al.* (1996) 11
Taula 2.6 Temps de permanència dels fangs en els pous de recollida de decantadors primaris (en hores). Extret de Hernández *et al.* (1996) 12

Capítol 3

Taula 3.1 Nivells de tractament previ necessaris dels filtres verds de tipus II establerts per la OMS 20
Taula 3.2 Problemes en l'explotació dels filtres verds deguts a irregularitats en el cultiu. Extret de WPCF (1990b). 24
Taula 3.3 Problemes en l'explotació dels filtres verds deguts a irregularitats en el bombament. Extret de WPCF (1990b) 24
Taula 3.4 Problemes en l'explotació dels filtres verds deguts a l'aplicació de l'aigua residual. Extret de WPCF (1990a). 25
Taula 3.5 Altres problemes en l'explotació dels filtres verds. Extret de WPCF (1990b). 25
Taula 3.6 Costos de construcció (incloent l'adquisició del terreny) i d'explotació i manteniment dels filtres verds segons la població tractada. Extret de Colado (1992). 26
Taula 3.7 Rendiments obtinguts pels filtres verds en l'eliminació dels diferents contaminants de l'aigua residual. Elaborada a partir de WPCF (1990a) 27
Taula 3.8 Cicles operatius dels sistemes d'infiltració ràpida adoptats segons l'objectiu del tractament. Extret de WPCF (1990a) 31
Taula 3.9 Costos de construcció (incloent l'adquisició del terreny) i d'explotació i manteniment dels sistemes d'infiltració ràpida per un rang de població tractada d'entre 1000 i 2000 hab·eq. Extret de Collado (1992). 34
Taula 3.10 Rendiments obtinguts pels sistemes d'infiltració ràpida en l'eliminació dels diferents contaminants de l'aigua residual (WPCF, 1990a) 35
Taula 3.11 Valors més usuals dels paràmetres de disseny dels sistemes d'escorriment superficial en funció del tipus de tractament previ 38

Taula 3.12 Valors esperats de les concentracions i els rendiments dels sistemes d'escorriment superficial en l'eliminació dels diferents contaminants de l'aigua residual. 40
Taula 3.13 Taula comparativa dels diferents tipus de llacunes segons el mètode d'oxigenació i la distribució d'oxigen dissolt a la massa d'aigua. Extret d'EPA (1983) 43
Taula 3.14 Problemes deguts al creixement excessiu de microalgues en els sistemes de llacunatge. Extret de WPCF (1990b) 49
Taula 3.15 Problemes deguts a la presència d'organismes vius superiors en els sistemes de llacunatge. Extret de WPCF (1990b) 49
Taula 3.16 Problemes detectables sensitivament i alteracions en els paràmetres físic-químics de qualitat de l'efluent dels sistemes de llacunatge. Extret de WPCF (1990b) 50
Taula 3.17 Costos de construcció (incloent els d'adquisició dels terrenys) i manteniment dels sistemes de llacunatge. Extret de Collado (1992). 51
Taula 3.18 Algunes combinacions usuals entre diferents tipus de llacunes que integren els sistemes de llacunatge. Extret de Hernández *et al.* (1996) 53
Taula 3.19 Rendiments d'eliminació mitjans dels contaminants en els sistemes de llacunatge. 53
Taula 3.20 Característiques del material de reompliment utilitzat en els aiguamolls construïts de flux subsuperficial (Cooper et al., 1996) 59
Taula 3.21 Costos de construcció (incloent els d'adquisició dels terrenys) i manteniment dels aiguamolls construïts de flux subsuperficial. Extret de Collado (1992). 59
Taula 3.22 Paràmetres de disseny dels llits de torba (Collado, 1992) 62
Taula 3.23 Costos de construcció (incloent els d'adquisició dels terrenys) i d'explotació i manteniment dels llits de torba. Extret de Collado (1992). 62
Taula 3.24 Rendiments d'eliminació dels contaminants aconseguits amb els llits de torba 63

Capítol 4

Taula 4.1 Dimensions característiques dels tancs d'aireig (en metres). Extret d'Hernández *et al.* (1996). 77
Taula 4.2 Paràmetres de dimensionament més característics dels decantadors. Extret d'Hernández *et al.* (1996). 77
Taula 4.3 Paràmetres de dimensionament més característcs dels sobreeixidors dels decantadors secundaris segons el tamany del tanc. Extret d'Hernández *et al.* (1996). 79
Taula 4.4 Costos unitaris de construcció, d'explotació i manteniment per al procés de fangs activats d'aireig perllongat. Extret de Collado (1992) i de la informació disponible de la Junta de Sanejament 80
Taula 4.5 Rendiments d'eliminació de contaminants assolits amb fangs activats d'aireig perllongat. Extret de Collado (1992) 81

Taula 4.6 Càrregues orgàniques (total i dissolta) adoptades pel disseny de biodiscs. Elaborada a partir de la informació disponible a WPCF (1991). 84
Taula 4.7 Número mínim d'etapes en un sistema de biodiscs segons la qualitat de l'efluent 84
Taula 4.8 Costos de construcció i d'explotació i manteniment dels biodiscs. Extret de Collado (1992). 85
Taula 4.9 Rendiments d'eliminació dels contaminants assolits amb un sistema de biodiscs de 3-4 etapes. Els rendiments aconseguits varien en funció del nombre d'etapes. Extret de Collado(1992) 86
Taula 4.10 Classificació dels filtres percoladors segons la càrrega orgànica i la càrrega hidràulica aplicades. Extret de Metcalf i Eddy (1991) 86
Taula 4.11 Problemes en l'explotació dels filtres percoladors. Extret de WPCF (1990b). 90
Taula 4.12 Costos de construcció i d'explotació i manteniment dels filtres percoladors segons la població tractada. Extret de Collado (1992) 90
Taula 4.13 Rendiments d'eliminació dels contaminants obtinguts amb filtres percoladors. Extret de Collado (1992) 91

Capítol 5

Taula 5.1 Estadístiques de qualitat de l'aigua residual i de l'efluent de la EDAR de Begur (Girona) des de gener de 1992 a juliol de 1996. Dades de Sala *et al.* (1997) 96
Taula 5.2 Valors de les principals característiques físiques de l'EDAR de Sant Gregori (Girona). Extret de Mujeriego *et al.* (1998) 98
Taula 5.3 Valors mitjans d'alguns dels paràmetres característics de l'EDAR de Sant Gregori (Girona) obtinguts fins a l'agost de 1997 i valors utilitzats per al seu disseny. Elaborada a partir de Mujeriego *et al.* (1998) 98
Taula 5.4 Costos de construcció del llacunatge de Sant Gregori (Girona) en pessetes de 1999 99
Taula 5.5 Mitjanes aritmètiques, desviacions estàndard i rangs de variació de la MES i la DBO_5 de l'aigua de l'EDAR de Sant Gregori (Girona). Els càlculs es basen en 18 dades. Dues xifres significatives. 100
Taula 5.6 Mitjanes aritmètiques, desviacions estàndard i rangs de variació dels nutrients a l'EDAR de Sant Gregori (Girona). Els càlculs es basen en 18 dades. Dues xifres significatives. 100
Taula 5.7 Característiques de les llacunes del sistema de llacunatge de Madremanya (Girona). Extret d'Ordeix (1991). 101
Taula 5.8 Concentració dels contaminants a l'afluent i l'efluent de l'EDAR de Madremanya (Girona). També s'indiquen els rendiments d'eliminació. Extret d'Ordeix (1991) 102
Taula 5.9 Concentracions mitjanes dels contaminants a l'afluent i l'efluent de l'EDAR de Castelló d'Empúries (Girona). També s'indiquen els rendiments d'eliminació. 104
Taula 5.10 Principals característiques de l'aiguamoll de Can Massaguer (Girona). Extret de García *et al.* (1997) 105

Taula 5.11 Comparació dels costos de construcció i d'explotació i manteniment de l'aiguamoll construït de Can Massaguer (Girona) amb els d'un sistema convencional compacte per a la mateixa casa de colònies. Extret de García *et al.*, (1997) 105
Taula 5.12 Concentracions mitjanes dels contaminants a l'afluent i l'efluent de l'aiguamoll de Can Massaguer (Girona). També s'indiquen els rendiments d'eliminació. Extret de Arias *et al.* (1980) 106
Taula 5.13 Principals característiques tècniques del sistema d'aiguamolls construïts d'Empuriabrava (Girona). Extret en part de García i Mujeriego (1997) 107
Taula 5.14 Concentracions mitjanes dels nutrients a l'afluent i l'efluent del sistema d'aiguamolls construïts d'Empuriabrava (Girona) des de juny fins a l'agost de 1998. Dades facilitades pel Sr. Lluís Sala (consorci de la Costa Brava) 107
Taula 5.15 Principals característiques tècniques de les tres llacunes de què consta el llacunatge del Centre Experimental d'Aigües Residuals de Ranilla (Sevilla) (EMASESA, 1985) 108
Taula 5.16 Rendiments mitjans d'eliminació dels contaminants en el sistema de llacunatge del Centre Experimental d'Aigües Residuals de Ranilla (Sevilla) mantenint la càrrega orgànica fixa en 100 kg DBO_5/ha.d. Extret d'EMASESA (1985) 109
Taula 5.17 Rendiments mitjans d'eliminació dels contaminants del filtre verd de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Extret de Junta de Andalucía (1994) 110
Taula 5.18 Rendiments mitjans d'eliminació dels contaminants del sistema d'escorriment superficial de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Extret de Junta de Andalucía (1994) 110
Taula 5.19 Rendiments mitjans d'eliminació (en %) dels contaminants en relació a l'aigua residual a cadascuna de les llacunes que integren el llacunatge de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Extret de Junta de Andalucía (1994) 111
Taula 5.20 Rendiments mitjans d'eliminació (en %) dels contaminants en els diferents tipus de combinacions de sistemes de tractament amb llits de torba de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Extret de Junta de Andalucía (1994) 112
Taula 5.21 Principals característiques de disseny de les EDAR de Cercs i de Santa Pau (basades en el procès de fangs activats de flux seqüencial). Extret de Barajas (1998) 117
Taula 5.22 EDAR construïdes a l'illa de Menorca en municipis de menys de 2000 hab·eq fins l'abril de 1995. També s'indiquen alguns dels paràmetres de disseny. Extret d'Iturbide (1995) 119
Taula 5.23 EDAR construïdes a l'illa d'Eivissa en municipis de menys de 2000 hab·eq fins l'abril de 1995. També s'indiquen alguns dels paràmetres de disseny. Extret d'Iturbide (1995) 119
Taula 5.24 EDAR construïdes a l'illa de Mallorca en municipis de menys de 2000 hab·eq fins l'abril de 1995. També s'indiquen alguns dels paràmetres de disseny. Extret d'Iturbide (1995) 120

Capítol 6

Taula 6.1 Tecnologies de tractament adequat segons la població equivalent a França. Extret de la Circular de 17 de febrer de 1997 sobre el sanejament col·lectiu d'aglomeracions de menys de 2000 hab·eq (AESN, 1997) 124
Taula 6.2 Nivells de tractament que han d'assolir els efluents d'instal·lacions de depuració que tracten aigües residuals procedents d'aglomeracions de menys de 2000 hab·eq a França. Extret de la Circular de 17 de febrer de 1997 sobre el sanejament col·lectiu d'aglomeracions de menys de 2000 hab·eq (AESN, 1997) 125
Taula 6.3 Nivells de tractament necessaris per a les aglomeracions menors de 2000 hab·eq de França per tal d'assolir els objectius de qualitat fixats per al medi receptor. Extret de la Circular de 17 de febrer de 1997 sobre el sanejament col·lectiu d'aglomeracions de menys de 2000 hab·eq (AESN, 1997) 126
Taula 6.4 Límits de qualitat dels efluents abocats en les aigües superficials continentals a Itàlia. Extret de Chabrier *et al.* (1993) 128
Taula 6.5 Tipus de tractaments en petites EDAR a Itàlia (dades de 1987). Extret de Chabrier *et al.* (1993) 128
Taula 6.6 Costos de construcció, d'explotació i de manteniment de les tecnologies de depuració aplicades per petites aglomeracions a Itàlia (1987). Extret de Chabrier *et al.* (1993) 130
Taula 6.7 Valors dels requeriments de qualitat per als efluents de les instal·lacions de menys de 5000 hab·eq del comtat d'Aarhus (Dinamarca) segons la tecnologia utilitzada. També es mostren els requeriments nacionals danesos per a plantes de més de 5000 hab·eq. Extret de Jansen *et al.* (1993). 131
Taula 6.8 Classificació dels abocaments d'aigües residuals en categories segons la població equivalent i la càrrega orgànica sedimentable a Alemanya. Extret de Bundesgesetzblatt (1997) 133
Taula 6.9 Requeriments dels efluents d'instal·lacions depuradores per a poder ser abocats a les masses d'aigua superficial a Alemanya. Extret de Bundesgesetzblatt (1997) 133
Taula 6.10 Rendiments d'eliminació obtinguts per les diferents tecnologies de depuració aplicades a les petites aglomeracions de Noruega. Extret de Rusten *et al.* (1995). 137
Taula 6.11 Límits de qualitat pels efluents de petites plantes a Noruega. Extret de Ødegaard i Skrovseth (1995) 138
Taula 6.12 Requeriments mínims de qualitat dels efluents de totes les EDAR de EEUU. Extret de Metcalf i Eddy (1991). 139

Capítol 7

Taula 7.1 Tractaments de depuració secundaris per a aglomeracions de menys de 2000 hab·eq de Catalunya 147

ÍNDEX DE FIGURES

Capítol 2

Figura 2.1 Esquema en alçat d'una fossa sèptica. Extret de Collado (1992) 5
Figura 2.2 Esquema en alçat d'un tanc Imhoff. Extret de Collado (1992) 8
Figura 2.3 Esquema d'un decantador primari estàtic cilíndric-cònic. Extret de Collado (1992) 9

Capítol 3

Figura 3.1 Esquema de funcionament d'un filtre verd. Extret de Metcalf i Eddy (1991) 18
Figura 3.2 Esquema dels sistemes de distribució de l'aigua residual en filtres verds. A) Sistema d'asersió. B) Sistema d'aplicació superficial en recs. C) Xarxa de distribució. Extret de Metcalf i Eddy (1991) 21
Figura 3.3 Esquema del sistema d'infiltració ràpida amb llacunes d'extensió 27
Figura 3.4 Distribució dels pous de bombament per baixar el nivell freàtic en els sistemes d'infiltració ràpida 32
Figura 3.5 Recuperació de l'aigua efluent per drens subterranis en sistemes d'infiltració ràpida 33
Figura 3.6 Recuperació de de l'aigua efluent amb pous en sistemes d'infiltració ràpida 33
Figura 3.7 Esquema de funcionament d'un sistema d'escorriment superficial 36
Figura 3.8 Esquema de la distribució amb canonada perforada amb dos vessants en un sistema d'escorriment superficial 37
Figura 3.9 Esquema d'una llacuna anaeròbica 42
Figura 3.10 Esquema d'un aiguamoll construït de flux subsuperficial. Extret de Collado (1992) 54
Figura 3.11 Esquema de funcionament d'un llit de torba 60

Quadres Resum dels tractaments naturals 63
Filtres verdes 64
Sistemes d'infiltració ràpida 65
Sistemes d'escorriment superficial 66
Llacunatges naturals 67
Aiguamolls construïts 68
Llits de torba 69

Capítol 4

Figura 4.1 Esquema d'un tractament de fangs activats amb reactor de flux en pistó. 72
Figura 4.2 Esquema d'un tractament de fangs activats amb reactor de mescla completa 72
Figura 4.3 Esquema d'un tractament de fangs activats amb alimentació esgraonada. 73
Figura 4.4 Esquema de fangs activats amb canal d'oxidació 74
Figura 4.5 Esquema de fangs activats amb purga des de la línia de recirculació 76
Figura 4.6 Esquema d'un decantador de planta circular. 78
Figura 4.7 Entrada d'aigua a un decantador circular, on h = 0,65 - 1,90 m 78
Figura 4.8 Esquema d'un filtre percolador d'una etapa. Extret de Metcalf i Eddy (1991) 87
Figura 4.9 Esquemes de filtres percoladors de dues etapes. A) Sense decantació després de la primera etapa. B) Amb decantació després d'ambdues etapes. Extret de Metcalf i Eddy (1991) 87
Figura 4.10 Esquema d'un filtre percolador de planta circular 88
Figura 4.11 Esquema d'un filtre percolador de planta quadrada 89

Quadres Resum dels tractaments convencionals 91
Fangs activats. 92
Biodiscs. 93
Filtres percoladors 94

Capítol 5

Figura 5.1 Esquema de les principals instal·lacions de l'EDAR de Sant Gregori (Girona). Extret de Mujeriego *et al.* (1998) 97
Figura 5.2 Percentatges relatius de les espècies de nitrogen a l'afluent i l'efluent de l'EDAR de Sant Gregori (Girona) 101
Figura 5.3 Esquema de l'EDAR de Madremanya (Girona). Extret d'Ordeix (1991). 102
Figura 5.4 Esquema general del sistema de llacunatge del Centre Experimental d'Aigües Residuals Ranilla (Sevilla). Extret d'EMASESA (1985) 108
Figura 5.5 Esquema de situació i del procés del sistema de tractament Gappei-Shori Johkasou aplicat al Japó per a petites aglomeracions. Extret de JECES (1995) 114
Figura 5.6 Esquema dels compartiments de què consta la unitat principal del sistema de tractament Gappei-Shori Johkasou aplicat al Japó per a petites aglomeracions. Extret de JECES (1995). 114

Capítol 6

Figura 6.1 Mapa de la situació del comtat d'Aarhus a Dinamarca. 130
Figura 6.2 Nombre d'EDAR segons els rangs de població equivalent tractada al comtat d'Aarhus (Dinamarca). Extret de Jansen *et al.* (1993). 131

Figura 6.3 Nombre d'EDAR segons la tecnologia de depuració utilitzada al comtat d'Aarhus (Dinamarca). Extret de Jansen *et al.* (1993) 132
Figura 6.4 Plantes de tractament químic per a aglomeracions de menys de 2000 hab·eq a Noruega. Extret de Rusten *et al.* (1995) 134
Figura 6.5 Plantes de tractament biològic per a aglomeracions de menys de 2000 hab·eq a Noruega. Extret de Rusten *et al.* (1995) 135
Figura 6.6a Plantes de tractament químic i biològic per a aglomeracions de menys de 2000 hab·eq a Noruega. Extret de Rusten *et al.* (1995) 135
Figura 6.6b Plantes de tractament químic i biològic per a aglomeracions de menys de 2000 hab·eq a Noruega. Extret de Rusten *et al.* (1995) 136

Capítol 7

Figura 7.1 Diagrama de selecció de la tecnologia de tractament més adequada (tractament secundari) en aglomeracions d'entre 50 i 300 hab·eq. 149
Figura 7.2 Diagrama de selecció de la tecnologia de tractament més adequada (tractament secundari) en aglomeracions d'entre 300 i 1000 hab·eq. 150
Figura 7.3 Diagrama de selecció de la tecnologia de tractament més adequada (tractament secundari) en aglomeracions d'entre 1000 i 2000 hab·eq. 151

CAPÍTOL 1

INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

La Directiva Europea 91/271 sobre el tractament de les aigües residuals urbanes estableix que els Estats Membres han d'adoptar les mesures necessàries per garantir que les seves aigües residuals siguin tractades correctament abans del seu abocament al medi. Per aconseguir aquest objectiu, la Directiva imposa que aquestes aigües siguin recollides i tractades amb més o menys intensitat, en diferents terminis, i en funció de la dimensió de la població tractada i de la *sensibilitat* de la zona on es produeix l'abocament.

El Programa de Sanejament d'Aigües Residuals Urbanes de la Junta de Sanejament que actualment s'està executant preveu la recollida i el tractament de les aigües residuals de les aglomeracions de més de 2 000 hab·eq. Tanmateix, la Directiva Europea estableix que les aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq que aboquin les seves aigües residuals en aigües continentals o estuaris i les de menys de 10 000 hab·eq que ho facin en aigües costaneres han de disposar d'un *tractament adequat* d'aquestes aigües abans de l'1 de gener de l'any 2006. És necessari doncs establir els criteris pràctics que permetin: 1) definir el *tractament adequat* i 2) elaborar un Programa de Sanejament per aquestes aglomeracions.

Els terminis que esmenta la Directiva Europea 91/271 i el tractament que s'ha de realitzar en funció de la població es descriuen a continuació:

31 de desembre de l'any 1998

Nuclis de més de 10 000 hab·eq que aboquen en zones sensibles: tractament més rigorós.
Prohibició d'abocament dels fangs a les aigües superficials.

31 de desembre de l'any 2000

Nuclis de més de 15 000 hab·eq que aboquen en zones normals: tractament secundari.
Nuclis d'entre 15 000 i 150 000 hab·eq que aboquen en zones menys sensibles: tractament primari.
Tractament de les aigües industrials biodegradables quan equivalguin a una població de més de 4 000 hab·eq.

31 de desembre de l'any 2005

Nuclis de més de 2 000 hab·eq que aboquen en zones normals (aigües continentals i estuaris): tractament secundari.
Nuclis de més de 10 000 hab·eq que aboquen en zones normals (aigües costaneres): tractament secundari.
Nuclis d'entre 2 000 i 10 000 hab·eq que aboquen en zones menys sensibles (estuaris): tractament primari.
Nuclis d'entre 10 000 i 15 000 hab·eq que aboquen en zones menys sensibles (aigües costaneres): tractament primari.

Nuclis de població de menys de 2 000 hab·eq que aboquen en aigües continentals i estuaris: tractament adequat.
Nuclis de població de menys de 10 000 hab·eq que aboquen en aigües costaneres: tractament adequat.

OBJECTIUS

Els objectius d'aquest informe tècnic són bàsicament:

1) La definició dels criteris que permetin establir el *tractament adequat* per a cadascuna de les aglomeracions de menys de 2000 hab·eq de Catalunya.

2) L'establiment d'un protocol de selecció que permeti realitzar una primera aproximació a la tecnologia més adequada per a cada cas, depenent del nivell de tractament exigit i de les característiques específiques de l'aglomeració en qüestió.

Per assolir aquests objectius s'ha realitzat una revisió bibliogràfica de les diferents tecnologies de depuració que poden constituir el *tractament adequat* de l'aigua residual d'aquestes aglomeracions (tractaments primaris i secundaris -tecnologies naturals i convencionals-) (Capítols 2, 3 i 4).

Es documenta l'experiència prèvia, fonamentalment a Catalunya, sobre sistemes naturals de depuració i la seva capacitat per eliminar nutrients (Capítol 5). També es revisen les directrius seguides en d'altres països per a la definició de *tractament adequat*, i les propostes i mesures de sanejament per a les aglomeracions de menys de 2000 hab·eq establertes en aquests països (Capítol 6).

Amb aquesta informació s'ha redactat una sèrie de propostes, directrius i recomanacions destinades a poder definir el *tractament adequat* aplicable en cada aglomeració en particular i a establir els criteris de selecció de les tecnologies aplicables (Capítol 7). Finalment, s'exposen les conclusions i les recomanacions del treball (Capítol 8).

CAPÍTOL 2

TRACTAMENTS PRIMARIS

En aquest capítol es revisen els principals sistemes de tractament primari de l'aigua residual: 1) fosses sèptiques, 2) tancs Imhoff i 3) decantadors primaris. Per a cadascun d'aquests sistemes es descriu el funcionament, les tipologies existents i els criteris a seguir en el seu disseny. També s'avaluen els seus avantatges i inconvenients, els problemes d'explotació, les despeses d'inversió i d'explotació i manteniment, els residus generats i els rendiments d'eliminació de contaminants que assoleixen.

FOSSES SÈPTIQUES

Les fosses sèptiques són dipòsits enterrats on sedimenta i es mineralitza la matèria orgànica en suspensió de l'aigua residual. Normalment estan compartimentades i les més completes consten de tres compartiments. El tractament primari té lloc a l'interior dels dos primers compartiments. En arribar l'aigua al primer compartiment, la matèria més densa sedimenta i es diposita al fons en forma de fang, mentre que la matèria més lleugera forma escuma a la superfície. L'aigua passa al segon compartiment a través d'una paret amb orificis a mitja alçada. En aquest segon compartiment també té lloc una sedimentació de sòlids i una formació d'escumes deguda als materials que han escapat del primer compartiment (tot i que en menor quantitat que en el compartiment anterior). En el tercer compartiment hi ha un cert tractament secundari. En aquest capítol es tracten les fosses sèptiques que no inclouen el tercer compartiment, ja que s'estan contemplant aquest tipus d'instal·lacions en la seva vessant exclusiva de tractament primari.

Els sòlids (fangs) retinguts al fons del primer compartiment sofreixen una descomposició anaeròbica, que fa que es redueixi el seu volum, la qual cosa permet que la fossa funcioni en períodes de temps llargs sense necessitat d'extreure els fangs (neteja). Les bombolles de gas produït durant la descomposició anaeròbica obstaculitzen la sedimentació normal dels sòlids. És per això que s'afegeix un segon compartiment en el qual les partícules més lleugeres es trobin en condicions de sedimentació més favorables (ABLB, 1980; MULT, 1985).

Exigències

a) Cal que estiguin a una cota inferior que la de pous i fonts d'aigua potable de la zona, i a una distància mínima de 30 m en planta.

b) Profunditat del nivell freàtic: han d'estar per sobre del nivell freàtic, per prevenir la contaminació de les aigües subterrànies en cas de fissuració.

c) Càrrega contaminant: no s'admeten generalment abocaments procedents d'aglomeracions de més de 200 hab·eq per limitacions constructives. Quan hi ha aquest inconvenient es pot construir més d'un mòdul.

d) Superfície unitària de la fossa: entre 0,1 i 0,5 m^2/hab·eq.

e) Tractament previ: en instal·lacions de sanejament col·lectiu, l'afluent s'ha de sotmetre a un pretractament consistent en un desbast de gruixuts (obligatori) i un de fins (recomanable).

f) Requisits de l'aigua residual: el tractament no és adequat quan l'aigua residual conté concentracions elevades de productes de neteja o desinfecció.

Avantatges

a) El manteniment és molt simple. Com a tasca fonamental cal remarcar l'extracció periòdica de fangs. Tanmateix, si el disseny és adequat aquesta extracció es pot portar a terme cada 2 ó 3 anys.

b) La construcció és molt simple (sempre i quan el terreny sigui fàcilment excavable). A més, existeixen al mercat mòduls prefabricats que simplifiquen encara més la construcció.

Disseny

Les normes de dimensionament són bastant vagues i diferents d'uns països a d'altres degut a una manca d'informació o d'estudis seriosos sobre el seu funcionament. Tanmateix, a tot arreu es coincideix en contemplar les següents característiques (ABLB, 1980; MULT, 1985):

a) Ubicació: es col·loquen enterrades, amb una capa de terra per sobre d'entre 25 i 30 cm, sempre més baixes que els pous d'aigua i fonts, i com a mínim a 30 m de distància d'aquests.

A més, s'han de construir en emplaçaments de fàcil accés, on el terreny sigui excavable sense masses dificultats.

b) Geometria: és un factor molt important perquè d'ella depèn el bon funcionament de la fossa: la velocitat de circulació de l'aigua residual, el gruix de la capa de fangs que s'acumula i les zones de possible estancament. L'esquema característic en alçat d'una fossa sèptica és el detallat a la Figura 2.1.

L'alçada útil d'aigua sol estar entre 1,2 i 1,7 m, deixant un resguard a la part superior de 0,3 m. La llargada total ha d'ésser entre dues i tres vegades l'amplada dels compartiments.

Quan la fossa sèptica és de dos compartiments es recomana que el primer ocupi un 66% del volum total; mentre que quan és de tres, només el 50%, repartint-se la resta de volum a parts iguals entre el segon i el tercer compartiments.

c) Capacitat: és fixa de diferent manera segons el país (Taula 2.1). El temps de permanència sol ser com a mínim d'un dia.

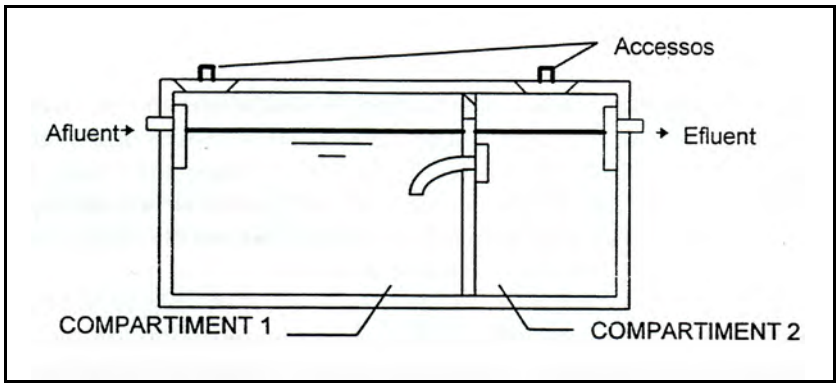


Figura 2.1. Esquema en alçat d'una fossa sèptica. Extret de Collado (1992).

Taula 2.1. Capacitat de les fosses sèptiques segons el país (EPA, 1981).

País	Població equivalent, *P*	Capacitat, L
Bèlgica	< 10	300•*P*
	> 10	225•*P*
França	< 20	250•*P*
	> 20	300•*P*
Gran Bretanya		180•*P*+2000
USA		4252+0.75•*Q* (*Q* és el cabal, en L/d)

Problemes en l'explotació

Els problemes que poden sorgir en l'explotació d'aquest tipus d'instal·lacions són bàsicament els deguts a un disseny inadequat o a un manteniment deficient. Els més corrents són els següents:

1) Emissió de males olors: per evitar-les s'han de preveure dispositius de ventilació, que permetin la sortida dels gasos produïts durant la descomposició anaeròbica de la matèria orgànica.

2) Acumulació excessiva de fangs: és deguda a una alçada de disseny massa petita o a una manca d'extracció de fangs amb la periodicitat adequada. S'ha de disposar del volum suficient d'emmagatzematge i dels dispositius per a la seva evacuació. El temps de permanència ha de ser aproximadament com a mínim d'un dia, descomptant el volum màxim d'emmagatzematge de fangs.

3) Alçada massa gran: es pot produir un corrent directe des de l'entrada cap a la sortida.

4) Amplada massa gran: es poden crear espais morts on el líquid pràcticament no es mourà.

5) Amplada massa petita: la velocitat de circulació de l'aigua per l'interior de la fossa pot ser massa gran. La sedimentació no és eficaç.

Despeses

Les despeses més importants d'aquests tipus d'instal·lacions són les de construcció, que varien segons la població tractada entre 12000 (de 100 a 200 hab·eq) i 15000 ptes(1998)/hab·eq (fins a 100 hab·eq) (Collado, 1992). Aquestes despeses inclouen les següents partides: 1) excavació, 2) obra de fàbrica (o adquisició dels mòduls prefabricats), 3) construcció de les conduccions d'evacuació de greixos i de ventilació, 4) construcció de les conduccions d'evacuació de l'efluent i 5) cobriment.

Quant a l'explotació i manteniment, les úniques despeses importants són les d'evacuació de fangs i escumes, que representen aproximadament 800 ptes(1998)/hab·eq.any (Collado, 1992).

Residus

Els residus generats per una fossa sèptica són les escumes i els fangs. El manteniment consisteix en l'eliminació de l'escuma de la superfície i en l'extracció periòdica de fangs (cada 2 ó 3 anys).

Rendiments

Els rendiments de les fosses sèptiques oscil·len entre 50 i 85% per a l'eliminació de la MES i entre 15 i 30% quant a l'eliminació de DBO_5. Les fosses sèptiques amb 3 compartiments poden assolir rendiments d'eliminació de la DBO_5 de fins al 60%. Tanmateix, moltes vegades aquests rendiments no s'assoleixen per escàs manteniment (que com ja s'ha vist, tot i que no implica grans despeses econòmiques, cal que es porti a terme periòdicament).

TANCS IMHOFF

També s'anomenen tancs de decantació·digestió. El principi de funcionament d'aquests tancs és similar al de les fosses sèptiques. Tanmateix, els processos de digestió i sedimentació es separen físicament, aconseguint d'aquesta manera que els gasos produïts en la digestió no afectin a la sedimentació de la MES.

El tanc Imhoff consta de dos compartiments situats l'un sobre l'altre. El compartiment superior actua com a decantador mentre que l'inferior funciona com a digestor. Les partícules sòlides sedimentables es dipositen al fons del compartiment superior, des d'on llisquen cap a l'inferior, on es produeix la digestió. L'escuma s'acumula a la superfície del compartiment de sedimentació. El gas produït en el procés de digestió en el compartiment inferior s'evacua per conductes de ventilació.

Tipologies

a) Convencional: la digestió del fang té lloc a temperatura ambient i l'extracció es realitza manualment.

b) Moderns: hi ha un escalfament de la zona de fangs, accelerant d'aquesta manera la digestió. L'extracció de fang es porta a terme mecànicament.

Exigències

a) Cal que aquestes instal·lacions es trobin a una cota inferior que la de pous i fonts d'aigua potable de la zona, i a una distància mínima de 30 m en planta.

b) Profunditat del nivell freàtic: han d'estar per sobre del nivell freàtic. D'aquesta manera, s'evita la contaminació de les aigües subterrànies en cas de fissuració.

c) Càrrega hidràulica de la zona de sedimentació: sol ser de 1 a 1,3 $m^3/m^2.h$.

d) Càrrega contaminant: no s'admeten abocaments procedents d'aglomeracions de més de 500 hab·eq per limitacions constructives. Quan hi ha aquest inconvenient es pot construir més d'un mòdul.

e) Superfície unitària del tanc Imhoff: entre 0,05 i 0,1 m^2/hab·eq. Els hab·eq que pot tractar un tanc Imhoff calculats a partir de la superfície unitària i a partir de la càrrega hidràulica de la zona de sedimentació (suposant una dotació teòrica d'aigua residual) no han de coincidir necessàriament.

f) Tractament previ: l'afluent ha de ser sotmès a un desbast de gruixuts i opcionalment també a un desbast de fins.

g) El tractament no és adequat quan l'aigua residual conté concentracions elevades de productes de neteja o de desinfecció.

Avantatges

a) Les operacions de manteniment són molt senzilles. Com a tasca important cal remarcar -igual que per a les fosses sèptiques- l'extracció periòdica de fangs. Aquesta extracció es pot portar a terme en períodes compresos entre 6 mesos i 3 anys, depenent del disseny.

b) La construcció és molt simple, sempre i quan el terreny sigui fàcilment excavable. Les operacions de moviment de terres poden ser importants. Existeixen a la venda mòduls prefabricats que simplifiquen encara més la construcció.

Disseny

a) Ubicació: els tancs es col·loquen enterrats i amb una capa de terra cobrint-los d'entre 25 i 30 cm, sempre més baixos que els pous d'aigua i fonts i com a mínim a 30 m de distància d'aquests.

b) Geometria: a la Figura 2.2 es pot veure un esquema en alçat d'un tanc Imhoff. Solen ser rectangulars, tot i que també s'utilitzen alguns de circulars de petit diàmetre. En cas de tancs Imhoff rectangulars, la seva longitud és de tres a cinc vegades l'amplada, essent gairebé sempre d'entre 7,5 i 30 m. L'alçada útil es troba sempre entre 6 i 9 m.

Despeses

Les despeses més importants d'aquests tipus d'instal·lacions són les de construcció, que varien segons la població tractada de la següent manera: 10 000 (de 200 a 500 hab·eq), 12 000 (de 100 a 200 hab·eq) i 15 000 ptes(1998)/hab·eq (fins a 100 hab·eq) (Collado, 1992), incloent les mateixes partides que les fosses sèptiques. Quant a l'explotació i manteniment, les úniques despeses importants són les d'evacuació de residus i oscil·len al voltant de les 800 ptes(1998)/hab·eq.any.

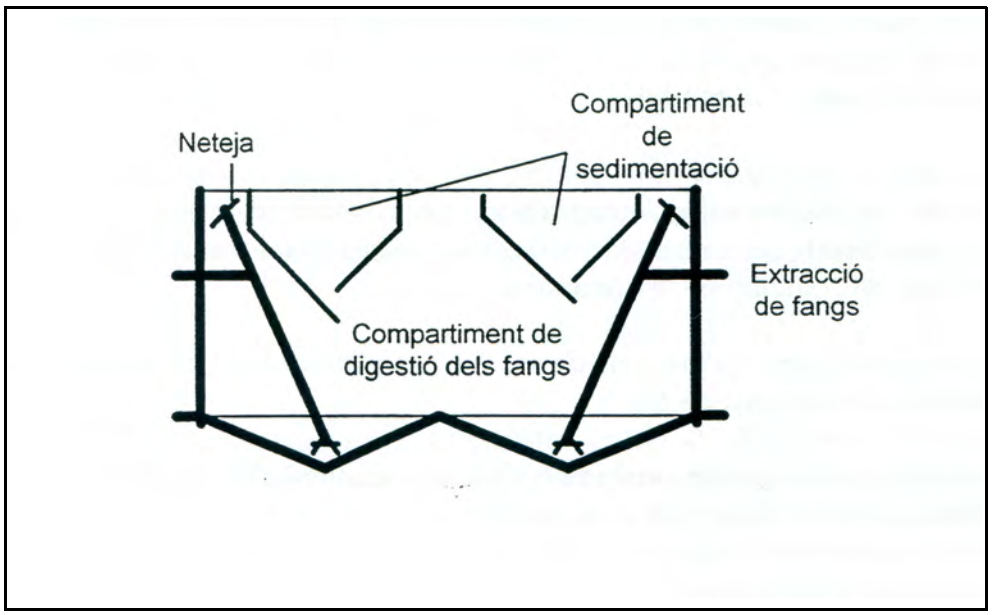


Figura 2.2. Esquema en alçat d'un tanc Imhoff. Extret de Collado (1992).

c) Temps de permanència: sol ser d'unes tres hores a la zona de sedimentació. A la zona de digestió els fangs poden estar entre 6 mesos i 3 anys, segons el disseny.

Residus

Els residus que produeix una instal·lació d'aquest tipus són els mateixos que es produeixen en una fossa sèptica: escumes i fangs. El manteniment consisteix en l'eliminació de l'escuma de la superfície i en l'extracció periòdica de fangs (entre 6 mesos i 3 anys).

Rendiments

Els rendiments d'eliminació dels contaminants són similars als de les fosses sèptiques: entre 50 i 85% per a la MES i entre 15 i 30% quant a la DBO_5.

DECANTADORS PRIMARIS

La decantació primària consisteix en l'eliminació de la matèria en suspensió com a conseqüència de la diferència de densitat entre l'aigua i les partícules (també té lloc a les fosses sèptiques i els tancs Imhoff). Generalment no es planteja com un tractament per si mateix, sinó com una part d'un tractament més complet.

Tipologies

Els decantadors primaris es classifiquen segons tinguin parts mòbils o no:

a) Decantadors estàtics: no tenen elements mecànics; es classifiquen en:

Decantadors cilíndrico-cònics: només s'utilitzen per poblacions petites. La matèria en suspensió entra en contacte amb les parets còniques, que tenen un pendent d'entre 45 i 65º, i llisca fins al pou de recollida (Figura 2.3).

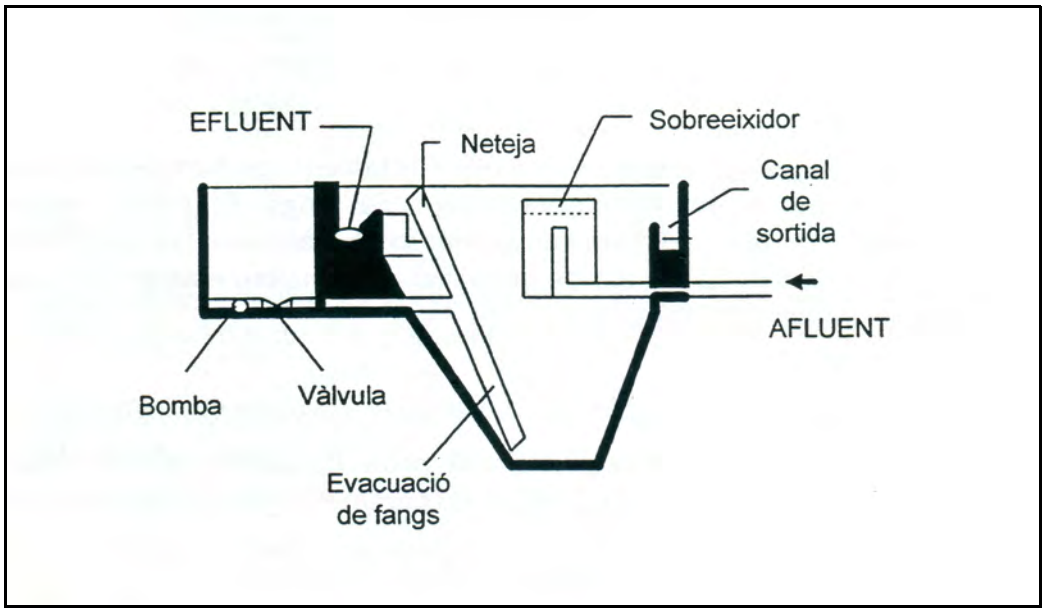


Figura 2.3. Esquema d'un decantador primari estàtic cilíndric-cònic. Extret de Collado (1992).

Decantadors lamel·lars: solen ser de planta rectangular. El sistema consta d'unes superfícies (lamel·les) contra les quals xoca la matèria en suspensió durant la seva sedimentació. El volum de decantació es redueix perquè s'augmenta la superfície efectiva de decantació i es poden aplicar càrregues hidràuliques superficials més grans. També poden ser decantadors primaris de tipus dinàmic.

b) Decantadors dinàmics: tenen parts mòbils destinades fonamentalment a l'evacuació de residus. Segons la seva geometria poden ser:

Decantadors rectangulars: els fangs són arrossegats amb un sistema de rasquetes o amb un pont mòbil amb una única rasqueta de fons fins a un dels extrems del decantador. Posteriorment s'evacuen amb purgues periòdiques, normalment per bombament.

Decantadors circulars: els fangs s'arrosseguen cap a un pou molt proper al centre, per mitjà d'uns braços giratoris que escombren el fons. Les escumes i d'altres elements surants es retiren amb un braç radial que gira solidari amb les rasquetes de fons.

Exigències

a) Càrrega hidràulica: com a màxim de 1,4 $m^3/m^2.h$.

b) Superfície unitària: 0,1 m^2/hab·eq. Els hab·eq que pot tractar un decantador primari calculats a partir de la superfície unitària i a partir de la càrrega hidràulica (suposant una dotació teòrica d'aigua residual) no han de coincidir necessàriament.

c) Tractament previ: per obtenir un funcionament òptim, l'aigua residual requereix un pretractament consistent en un desbast de grollers i de fins. A més, es recomana la separació dels greixos i de totes aquelles substàncies que poden eliminar-se per flotació, minimitzant així la presència d'escumes.

Avantatges

L'avantatge més important respecte als altres tractaments primaris és que requereixen menys volum perquè no hi ha emmagatzematge de fangs. Es poden aplicar per a aglomeracions (de més de 200·500 hab·eq) en que les fosses sèptiques i els tancs Imhoff s'han d'utilitzar de forma modular. La manca de capacitat d'emmagatzematge de fangs es pot considerar com un inconvenient important.

Disseny

L'objectiu és aconseguir que l'aigua circuli prou lentament per tal d'assolir una sedimentació efectiva de la matèria en suspensió. Els paràmetres que cal tenir en compte són els següents:

a) Superfície de decantació: s'obté de la relació entre el cabal que s'ha de tractar i la càrrega hidràulica superficial (Taules 2.2 i 2.3)

Taula 2.2. Càrregues hidràuliques superficials a cabal mitjà en decantadors primaris ($m^3/m^2.h$). Extret d'Hernández et *al.* (1996).

Decantadors	Valor mínim	Valor típic	Valor màxim
Circulars	0,7	1	1,4
Rectangulars	0,6	0,9	1,3

Taula 2.3. Càrregues hidràuliques superficials a cabal màxim en decantadors primaris ($m^3/m^2.h$). Extret de Hernández et *al.* (1996).

Decantadors	Valor mínim	Valor típic	Valor màxim
Circulars	1,4	1,8	2,1
Rectangulars	1,3	1,5	1,8

b) Volum de decantació primària: s'obté a partir de l'expressió següent:

$$V = Q \bullet T_r \qquad (2\cdot1)$$

on,

V és el volum de decantació, en m^3

Q és el cabal a tractar, en m^3/h

T_r és el temps de permanència en el decantador, que es pot obtenir a partir de la Taula 2.4.

Taula 2.4. Temps de permanència hidràulic dels decantadors primaris (en hores). Extret de Hernández et *al.* (1996).

Temps de permanència	Valor mínim	Valor típic	Valor màxim
Per a Q mitjà	1	1,4	2,1
Per a Q màxim	0,7	1,0	1,4

c) Dimensions:

Decantadors circulars i cilíndric-cònics: són gairebé sempre de diàmetre inferior a 40 m i de menys de 3 m d'alçada.

Decantadors rectangulars i lamel·lars: les dimensions més habituals són les indicades a la Taula 2.5.

Taula 2.5. Dimensions més habituals per als decantadors primaris rectangulars i lamel·lars. Extret de Hernández et *al.* (1996).

Paràmetre	Valor mínim	Valor típic	Valor màxim
Longitud (m)	5	·	90
Longitud/alçada	5	15	40
Longitud/amplada	1,5	4,5	7,5
Alçada (m)	1,5	3	3

d) Entrada de l'afluent: s'han de projectar de forma que l'aigua es reparteixi homogèniament per tot el tanc. Per assegurar la repartició es solen col·locar deflectors.

e) Sortida de l'efluent: és important una bona anivellació del sobreeixidor per tal de poder garantir un comportament hidràulic adequat. Per evitar l'aixecament de fangs, la relació de cabal efluent amb la longitud de sobreeixidor ha de ser inferior a 10-12 $m^3/m.h$

Problemes en l'explotació

Els principals problemes són: 1) emissió de males olors, 2) producció de fangs i manca de capacitat d'emmagatzematge i 3) circulació preferent de l'aigua degut a errors en el disseny.

Despeses

Les despeses més importants d'aquest tipus d'instal·lacions són les de construcció, que oscil·len entre 6 500 i 8 500 ptes(1998)/hab·eq per a nuclis de 1 000 a 2 000 hab·eq (segons informacions de la Junta de Sanejament). S'inclouen partides similars a les de les fosses sèptiques i els tancs Imhoff. Quant a l'explotació i el manteniment, les despeses més importants són les d'evacuació de residus, sobretot en els decantadors dinàmics (on aquesta evacuació es porta a terme amb equips electromecànics). En aquest tipus de decantadors, les despeses d'explotació i manteniment són aproximadament de 800 ptes/(1998)/hab·eq.any.

Residus

El sistema de recollida de fangs pot ser per rascat del fons amb equips mòbils (decantadors dinàmics) o mitjançant un fons amb prou pendent de manera que la matèria en suspensió llisqui per gravetat fins al pou de recollida (decantadors estàtics). El volum de fangs que es genera amb aquesta tecnologia és aproximadament entre 1 i 2 l per cada m^3 d'aigua residual tractada (Collado, 1992).

Sabent el temps de permanència aconsellable del fang en els pous de recollida (Taula 2.6) es pot calcular el volum dels pous:

$$V = Q_f \bullet T_r \qquad (2\text{·}2)$$

on,

Q_f és el cabal de fangs generat, en m^3/h

T_r és el temps de retenció, en h

V és el volum dels pous de recollida de fangs, en m^3

Taula 2.6. Temps de permanència dels fangs en els pous de recollida de decantadors primaris (en hores). Extret de Hernández et *al.* (1996).

Decantadors	Valor mínim (h)	Valor típic (h)	Valor màxim (h)
Cilíndric·cònics	0,5	2	5
Dinàmics circulars	4	6	8
Lamel·lars o dinàmics rectangulars	4	10	24

Rendiments

Els objectius de la decantació primària són bàsicament dos:

1) Eliminació d'aproximadament el 60% de la MES, amb la qual cosa s'obté a més una reducció de la DBO_5 del 30%.

2) Protecció dels processos de tractament posteriors enfront de fangs primaris de densitat elevada, evitant així l'abrasió dels equips mecànics.

QUADRES RESUM DELS TRACTAMENTS PRIMARIS

A continuació es mostren les característiques més importants de cadascuna de les tecnologies de tractament primari.

Fosses Sèptiques
Exigències a. Per sota dels pous i fonts d'aigua potable. Distància mínima en planta 30 m. b. Profunditat del nivell freàtic: per sobre del nivell freàtic. c. Càrrega contaminant: menys de 200 hab·eq. d. Superfície unitària: entre 0,1 i 0,5 m^2/hab·eq. e. Tractament previ: desbast de gruixuts (obligatori) i desbast de fins (recomanable). f. Requisits de l'aigua residual: no és adequat quan conté elevades concentracions de productes de neteja o de desinfecció.
Avantatges a. Manteniment molt simple. Extracció de fangs cada 2 ó 3 anys. b. Construcció molt simple. Existència de mòduls prefabricats.
Factors de disseny a. Ubicació. b. Geometria. c. Capacitat i temps de permanència.
Problemes en l'explotació a. Emissió de males olors. b. Acumulació excessiva de fangs. c. Alçada massa gran, amplada massa gran o amplada massa petita.
Despeses a. Despeses de construcció: entre 12 000 (de 100 a 200 hab·eq) i 15 000 ptes/hab·eq (fins a 100 hab·eq). b. Despeses d'explotació i manteniment: 800 ptes/hab·eq.any.
Residus a. Escumes. b. Fangs (extracció cada 2 ó 3 anys).
Rendiments d'eliminació a. DBO_5: 15 a 30% (fins a 60%, fosses amb 3 compartiments). b. MES: 50 a 85%.

Tancs Imhoff

Tipologies
- a. Convencionals: digestió a temperatura ambient i extracció dels fangs manual.
- b. Moderns: escalfament dels fangs durant la digestió i extracció mecànica.

Exigències
- a. Per sota dels pous i fonts d'aigua potable. Distància mínima en planta 30 m.
- b. Profunditat del nivell freàtic: per sobre del nivell freàtic.
- c. Càrrega hidràulica: 1-1,3 m^3/m^2.h.
- d. Càrrega contaminant: menys de 500 hab·eq.
- e. Superfície unitària: entre 0,05 i 0,1 m^2/hab·eq
- f. Tractament previ: desbast de gruixuts (obligatori) i desbast de fins (recomanable).

Avantatges
- a. Manteniment molt senzill. Extracció de fangs entre 6 mesos i 3 anys.
- b. Construcció molt simple. Existència de mòduls prefabricats.

Factors de disseny
- a. Ubicació.
- b. Geometria.
- c. Capacitat.
- d. Temps de permanència.

Problemes en l'explotació
- a. Emissió de males olors.
- b. Acumulació excessiva de fangs.

Despeses
- a. Despeses de construcció: 10 000 (entre 200 i 500 hab·eq) 12 000 (entre 100 i 200 hab·eq) i 15 000 ptes/hab·eq (fins a 100 hab·eq).
- b. Despeses d'explotació i manteniment: 800 ptes/hab·eq.any.

Residus
- a. Escumes.
- b. Fangs (extracció entre 6 mesos i 3 anys).

Rendiments d'eliminació
- a. DBO_5 : 15 a 30% .
- b. MES: 50 a 85%.

Decantadors Primaris

Tipologies
- a. Decantadors estàtics: cilíndric-cònics i lamel·lars.
- b. Decantadors dinàmics: rectangulars (també lamel·lars) i circulars.

Exigències
- a. Càrrega hidràulica: fins a 1,4 m^3/m^2.
- b. Superfície unitària: 0,1 m^2/hab·eq.
- c. Tractament previ: desbast de grollers i de fins (obligatori), i desengreixat (recomanable).

Avantatges
- a. Requereixen menys volum de tractament que els altres tractaments primaris perquè no hi ha emmagatzematge de fangs. La manca de capacitat d'emmagatzematge de fangs en petites aglomeracions es pot considerar com un inconvenient important.

Factors de disseny
- a. Superfície de decantació.
- b. Volum de decantació primària.
- c. Relació longitud/amplada.
- d. Entrada de l'afluent.
- e. Sortida de l'efluent.

Problemes en l'explotació
- a. Emissió de males olors.
- b. Producció de fangs i manca de capacitat d'emmagatzematge.
- c. Problemes deguts a la circulació preferència de l'aigua.

Despeses
- a. Despeses de construcció: entre 6 500 a 8 500 ptes/hab·eq (entre 1 000 i 2 000 hab·eq).
- b. Despeses d'explotació i manteniment: 800 ptes/hab·eq.any.

Residus
- a. Fangs: entre 1 i 2 L/m^3 d'aigua residual aplicada.

Rendiments d'eliminació
- a. DBO_5 : 30%
- b. MES: 60%

CAPÍTOL 3

TRACTAMENTS NATURALS

En aquest capítol es revisen els principals sistemes de tractament natural de l'aigua residual: 1) filtres verds, 2) infiltració ràpida, 3) escorriment superficial, 4) llacunatges naturals, 5) aiguamolls construïts i 6) llits de torba. Per a cadascun d'aquests sistemes es descriu el funcionament, les tipologies existents i els criteris a seguir en el seu disseny. També s'avaluen els seus avantatges i inconvenients, els problemes d'explotació, les despeses d'inversió i d'explotació i manteniment, els residus generats i els rendiments d'eliminació de contaminants que assoleixen.

Els sistemes de tractament natural es caracteritzen perquè depuren les aigües mitjançant l'energia natural ambiental (fonamentalment la radiació solar en sistemes de tipus aquàtic i el caràcter filtrant en sistemes d'aplicació al terreny), de manera que requereixen una superfície de tractament superior a la necessària pels sistemes convencionals. A Europa els sistemes de tractament natural es solen aplicar per aglomeracions inferiors a 2 000 hab·eq (Kadlec i Knight, 1996; Mara i Pearson, 1998). Tanmateix, no hi cap límit poblacional per aplicar-los mentre es disposi de la superfície necessària. Per exemple, a la província d'Almeria hi ha llacunatges naturals que tracten les aigües residuals de 10 000 - 15 000 hab·eq (Mara i Pearson, 1998). Als Estats Units i Austràlia hi ha aiguamolls construïts de centenars d'hectàrees (EPA, 1993; Kadlec i Knight, 1996).

FILTRES VERDS

També s'anomenen sistemes d'aplicació al terreny de baixa càrrega. Consisteixen en l'aplicació de l'aigua residual sobre un terreny cultivat amb dos objectius fonamentals: 1) tractar l'aigua i 2) regar la vegetació existent (Maresca, 1979; WPCF, 1990a). L'aigua aplicada és consumida per evapotranspiració i també percola horitzontal i verticalment a través del sòl (Figura 3.1). El tractament de l'aigua té lloc per filtració, adsorció, intercanvi iònic, precipitació, degradació microbiana i assimilació per part de les plantes.

Tipologies

Els filtres verds es classifiquen en:

a) Tipus I, en els quals l'objectiu principal és el tractament de l'aigua residual que s'aplica. Requereixen prèviament un tractament primari.

b) Tipus II, en els quals l'objectiu principal és regar. Requereixen un tractament primari si el cultiu no està destinat al consum humà i un tractament secundari i desinfecció si ho està.

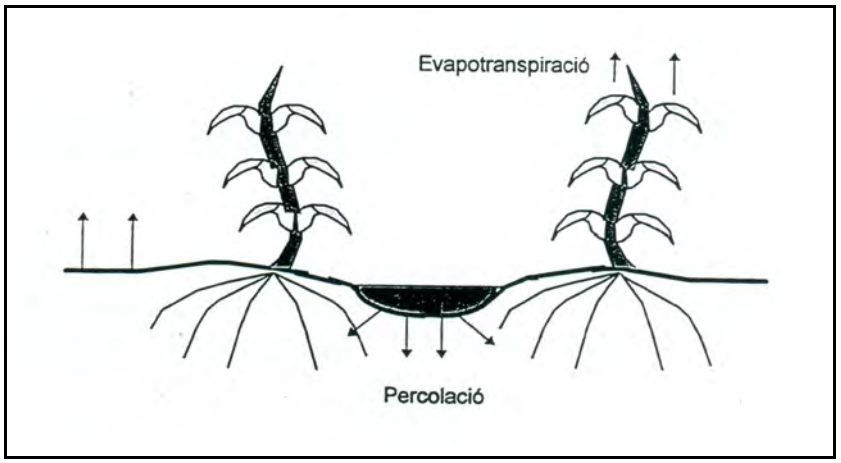


Figura 3.1. Esquema de funcionament d'un filtre verd. Extret de Metcalf i Eddy (1991).

Exigències i requisits

a) Condicions climàtiques: el fred i la pluja poden causar conjuntament la congelació del terreny i per tant la reducció de la seva capacitat d'infiltració. Quan la temperatura baixa per sota de 0°C no s'aplica aigua residual. El clima determina doncs quin ha de ser el període d'aplicació i els requeriments d'emmagatzematge.

b) Profunditat del nivell freàtic: ha de ser d'un mínim de 0,6 a 0,9 m.

c) Pendent: ha de ser de menys del 15% en terreny cultivat i de menys del 40% si es tracta de terreny forestal, per evitar un escorriment superficial excessiu.

d) Càrrega hidràulica anual: entre 1,7 i 6,1 m^3/m^2.any.

e) Càrrega orgànica superficial: entre 3 i 11 kg DBO_5/ha.dia.

f) Permeabilitat: ha de ser superior a 0,15 cm/h.

g) Superfície unitària: entre 15 i 50 m^2/hab·eq.

h) Tractament previ: pretractament (eliminació de fins i de grollers i desengreixat segons el cas) i tractament primari en el cas de filtres verds de tipus I. La intensitat del tractament previ per als filtres verds de tipus II depèn del cultiu que es rega.

i) Vegetació: ha d'estar desenvolupada abans d'aplicar l'aigua residual.

j) Requisits de l'aigua residual: ha de ser fàcilment biodegradable, amb nivells baixos de metalls pesats i d'altres substàncies tòxiques.

k) Efluent: es pot recuperar si és necessari mitjançant drens.

Avantatges

a) És un mètode molt eficaç per a la reutilització de l'aigua residual regenerada per al reg i per a la producció agrícola (tipus II). Tanmateix, l'aigua residual ha d'haver estat sotmesa a un tractament previ més o menys intens depenent del tipus de productes que siguin regats (veure Taula 3.1).

b) Pot contribuir indirectament a la recàrrega d'aqüífers.

c) Està poc limitat pel pendent del terreny.

Disseny

a) Emplaçament

Ha de construir-se en un terreny que permeti el drenatge, però que alhora retingui els contaminants de l'aigua residual. La profunditat de la capa de sòl fins al nivell freàtic o la roca mare és molt important per a la retenció física i química dels contaminants, la degradació bacteriana i l'assimilació per part de les plantes.

b) Selecció del cultiu

Els cultius poden ser agrícoles o forestals (aquests últims són els més habituals a Espanya). En qualsevol cas, atès que el principal criteri de dimensionament és la minimització de la superfície necessària, es tenen en compte els següents aspectes:

Consum d'aigua en evapotranspiració: depèn sobretot de les característiques físiques del cultiu, de l'estadi de creixement en què es trobi, del sòl i del clima del lloc. El seu valor es pot estimar mitjançant el càlcul de l'evapotranspiració potencial.

Tolerància a la salinitat: sovint l'aigua residual té nivells de salinitat superiors als que toleren alguns cultius.

Tolerància a la humitat: els cultius adequats són aquells que poden estar molt temps amb nivells elevats d'humitat en el sòl sense sofrir cap tipus d'alteració. Només són aptes els cultius hidròfils.

Capacitat d'assimilació de nutrients.

Qualitat necessària de l'efluent.

Els cultius adequats són aquells que admeten altes càrregues d'aplicació, que assimilen concentracions elevades de nutrients, que tenen consums elevats d'aigua i que presenten tolerància a les condicions d'humitat i salinitat. Els cultius més utilitzats en els filtres verds són:

Tipus I: arbres de fulla caduca (àlbers, freixes, oms, cirerers, eucaliptus i pollancres) i cereals (blat i ordi).

Tipus II: més tipus de cultius perquè se segueixen més aviat criteris agronòmics que no pas de depuració. Es poden utilitzar cotó, faveres i tot tipus de cereals i fruiters (cítrics, pomers i vinya). També es poden utilitzar farratgers i trèvols.

c) Determinació del nivell de pretractament

L'aplicació de l'aigua residual crua sense una planificació exhaustiva té un risc sanitari imprevissible. El grau de tractament previ necessari pels filtres verds de tipus I és com a mínim d'un tractament primari. El grau de tractament previ necessari mínim pels filtres verds de tipus II ha estat establert per la OMS en base a una sèrie de criteris sanitaris que s'exposen a la Taula 3.1.

Taula 3.1. Nivells de tractament previ necessaris dels filtres verds de tipus II establerts per la OMS.

Tipus de cultiu	Criteris sanitaris	Grau de depuració mínim
Cultius no destinats al consum humà directe (cotó i farratges)	Absència de partícules sòlides grosses. Eliminació d'ous de paràsits. No pot haver-hi cap substància química que produeixi l'aparició de metabolits secundaris tòxics en les plantes.	Tractament primari
Cultius que es consumeixen cuinats (cereals i faves)	Absència de partícules sòlides grosses. Reducció de la càrrega bacteriana	Tractament primari Tractament secundari Certa desinfecció
Cultius que es consumeixen crus (fruita)	Com els anteriors, però amb una desinfecció efectiva. No es pot sobrepassar el límit de 100 CF/100 mL en més del 80% de les mostres.	Tractament primari Tractament secundari Desinfecció

d) Sistema de distribució

A la Figura 3.2 es mostra un esquema dels sistemes de distribució que es descriuen a continuació:

Aspersió: és el més utilitzat perquè es pot adaptar fàcilment a:

1) Un rang molt ampli de sòls: la única limitació és que el sòl tingui una permeabilitat mínima de 0,15 cm/h.
2) Un rang molt ampli de condicions topogràfiques: hi ha alguns sistemes en funcionament per terrenys amb pendents de fins al 20%.
3) Qualsevol tipus de cultiu.

Presenta l'inconvenient d'una elevada producció d'aerosols.

Aplicació superficial en regs (per inundació): es fan solcs a la superfície del terreny que s'omplen amb l'aigua residual, deixant que aquesta s'infiltri i percoli.

Xarxa de distribució: consisteix en el repartiment de l'aigua mitjançant canonades amb petits orificis localitzats a prop de la base de les plantes. La presència de matèria en suspensió a l'aigua pot limitar el seu ús perquè tendeix a obturar els orificis de sortida. Per aquesta raó, només s'utilitza quan l'aigua ha estat sotmesa a un tractament previ que inclogui la filtració.

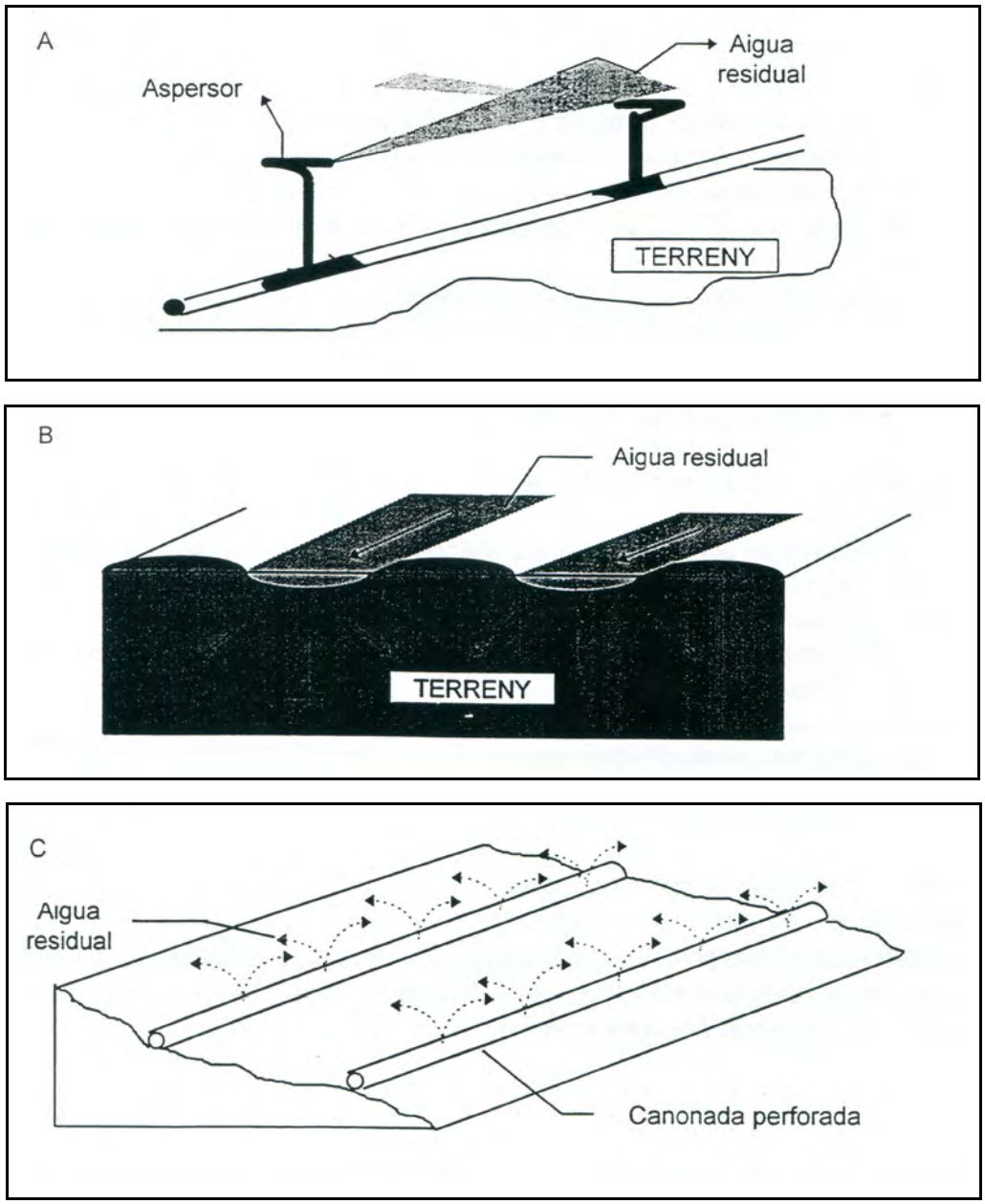


Figura 3.2. Esquema dels sistemes de distribució de l'aigua residual en filtres verds. A) Sistema d'aspersió. B) Sistema d'aplicació superficial en recs. C) Xarxa de distribució. Extret de Metcalf i Eddy (1991).

e) Determinació de la càrrega hidràulica (EPA, 1977; WPCF, 1990a)

Tipus I: es calcula la càrrega hidràulica basada en la permeabilitat del sòl i en el contingut de nitrogen. Finalment es selecciona el menor d'aquests dos valors.

Basada en la permeabilitat del sòl

$$L_w(p) = (E \cdot P + W_p) \cdot 12 \qquad (3\text{-}1)$$

on,

$L_w(p)$ és la càrrega hidràulica, en m^3/m^2.any
E és l'evapotranspiració mitjana mensual, en m^3/m^2.mes
P és la precipitació mitjana mensual, en m^3/m^2.mes
W_p és la taxa d'infiltració mensual, en m^3/m^2.mes, que es calcula com:

$$W_p \text{ (diària)} = 0{,}24 \cdot k \qquad (3\text{-}2)$$

$$W_p \text{ (mensual)} = W_p \text{ (diària)} \cdot \text{dies d'aplicació al mes} \qquad (3\text{-}3)$$

on,

k és la taxa d'infiltració horària, en cm/h.

Per poder fer aquest càlcul, s'ha de:

1) Conèixer els valors de precipitació mitjana mensual, amb un període de retorn de 10 anys.

2) Estimar l'evapotranspiració mitjana mensual de la zona, d'acord amb el tipus de cultiu seleccionat.

3) Determinar mitjançant assaigs de camp la taxa d'infiltració horària (k) més baixa del sòl amb aigua neta, amb l'objectiu de determinar el valor mínim. Si s'observen grans variacions es calcula la mitjana dels mínims.

Basada en el contingut de nitrogen

Com a criteri general s'ha d'assegurar que la concentració de nitrats que arriba a les aigües subterrànies no sobrepassi un valor de 10 mg NO_3-N/L, especialment si hi ha fonts d'aigua potable a les rodalies.

$$L_w(N) = \frac{[N_i \cdot (P-E) + 10 \cdot U]}{(1-f) \cdot N_a - N_i} \cdot 12 \qquad (3\text{-}4)$$

on,

$L_w(N)$ és la càrrega hidràulica, en m^3/m^2.any
N_i és la concentració de nitrat de l'aigua infiltrada, en mg N/L
N_a és la concentració de nitrat en l'aigua afluent, en mg N/L
f és la fracció de nitrogen de l'aigua afluent eliminada per desnitrificació del nitrat, volatilització de l'amoníac i adsorció de l'amoníac
U és el nitrogen assimilat pel cultiu, en kg/ha.mes

E és l'evapotranspiració mitjana mensual, en m^3/m^2.mes
P és la precipitació mitjana mensual, en m^3/m^2.mes

Tipus II: La càrrega hidràulica de disseny es determina en aquest tipus de sistemes segons la quantitat d'aigua necessària per a regar el cultiu:

$$L_w = (IR - P) \cdot 12 \qquad (3\text{-}5)$$

on,

L_w és la càrrega hidràulica, en m^3/m^2.any
IR és la necessitat d'irrigació, en m^3/m^2.mes
P és la precipitació, en m^3/m^2.mes

f) Determinació de la superfície necessària

Es calcula a partir del cabal mitjà diari i de la càrrega hidràulica anual considerada:

$$A = \frac{365 \cdot Q}{L_w} \qquad (3\text{-}6)$$

on,

A és la superfície de tractament, en m^2
Q és el cabal mitjà diari, en m^3/dia
L_W és la càrrega hidràulica calculada anteriorment (equacions 3·1, 3·4 i 3·5), en m^3/m^2.any

S'ha de preveure una reserva de terreny addicional per als camins d'accés, servei i explotació, marges de protecció de les instal·lacions i equips de control i manteniment.

g) Necessitats d'emmagatzematge

Durant els períodes en què el cabal d'aigua residual afluent excedeix el cabal de disseny i durant els períodes de congelació, s'ha d'emmagatzemar aigua que posteriorment es va tractant. Per calcular el volum d'emmagatzematge es segueix un mètode similar a l'utilitzat per un dipòsit de regulació i retenció.

h) Control del procés

Els principals paràmetres de control són la quantitat i la qualitat de l'aigua afluent i de l'aigua infiltrada (que es pot recollir amb dispositius de drenatge). També s'analitzen les següents propietats del sòl:

1) metalls i toxicitat, cada 2 · 4 anys
2) nutrients, potassi, sodi i salinitat
3) pH, que és un paràmetre de mesura molt senzilla i indica l'estat del sistema: un pH < 4,2 ó pH > 8,4; indica mal funcionament del procés.

   un pH > 8,5; indica també nivells de sodi elevats i per tant disminució de la capacitat d'infiltració del terreny per precipitació de sals.

Problemes en l'explotació

Els principals problemes d'explotació són les irrregularitats en el cultiu, en el bombament, en l'aplicació de l'aigua residual i d'altres com l'erosió i les males olors. A les Taules 3.2, 3.3, 3.4 i 3.5 es mostren els principals problemes que es poden presentar així com les causes més probables i algunes de les possibles solucions.

Taula 3.2. Problemes en l'explotació dels filtres verds deguts a irregularitats en el cultiu. Extret de WPCF (1990b).

Problema	Causa probable	Solució
El cultiu es mor	S'ha aplicat massa aigua o massa poca	Reduir o incrementar l'aplicació d'aigua
	L'aigua residual conté substàncies tòxiques	Controlar els abocaments industrials i l'aplicació de pesticides i d'insecticides
	Drenatge inadequat que provoca que les plantes quedin negades d'aigua	Millorar el drenatge o limitar l'aplicació
El cultiu creix poc	L'aigua residual conté pocs nutrients	Adobar el cultiu

Taula 3.3. Problemes en l'explotació dels filtres verds deguts a irregularitats en el bombament. Extret de WPCF (1990b).

Problema	Causa probable	Solució
Amb pressió normal el flux és massa gran	Trencament d'alguna peça de l'aspersor	Reparar-la
	La zona regada és massa gran	Tancar les vàlvules que faci falta
Amb pressió elevada el flux és massa petit	S'ha obturat el sistema de distribució (aspersors o vàlvules) o bé s'ha glaçat l'aigua	Localitzar l'obturació i eliminar-la
La pressió i el flux són massa petits	El pretractament està obturat	S'ha de netejar
	L'impulsor de la bomba no funciona bé	Arreglar-lo o canviar-lo

Despeses

A la Taula 3.6 es mostren els costos de construcció i d'explotació i manteniment dels filtres verds segons el tamany de la població tractada. Les despeses que s'ha de tenir en compte en els filtres verds es divideixen en quatre partides fonamentals:

Taula 3.4. Problemes en l'explotació dels filtres verds deguts a l'aplicació de l'aigua residual. Extret de WPCF (1990a).

Problema	Causa probable	Solució
Entollament d'aigua a la zona d'irrigació	La càrrega hidràulica és massa gran. Variació estacional del nivell freàtic. Problemes en els pous de drenatge.	Reduir-la. Emmagatzemar l'aigua fins que baixi. Regar només les zones amb nivell freàtic baix. Reparar els pous de drenatge o incrementar el bombament.
Corrossió de les canonades de distribució	El temps de permanència de l'aigua dins de les canonades és massa gran. Presència de metalls en concentracions elevades.	Drenatge de les canonades quan no funcionin. Instal·lació de recobriments i de proteccions anòdiques i catòdiques.
No surt aigua pels broquets dels aspersors	S'han obturat els broquets amb partícules grolleres.	Reparar o canviar la pantalla de filtració
L'aigua residual escorre per sobre de l'àrea d'irrigació	L'aigua residual té massa sodi i s'ha impermeabilitzat el terreny. La superficie del terreny està plena de sòlids. La càrrega hidràulica aplicada és superior a la capacitat d'infiltració. Trencament de la tuberia de distribució. Disminució de la permeabilitat del sòl . La pluja ha saturat el sòl.	Afegir a l'aigua calci i magnesi. Llaurar el terreny. Reduir la càrrega fins que sigui compatible amb la capacitat d'infiltració. Reparar-la. Deixar reposar el terreny d'infiltració 2 ó 3 dies entre aplicacions per tal de permetre el drenatge del sòl. Emmagatzemar l'aigua residual fins que el sòl hagi drenat.

Taula 3.5. Altres problemes en l'explotació dels filtres verds. Extret de WPCF (1990b).

Problema	Causa probable	Solució
Massa erosió del terreny	La càrrega hidràulica aplicada és massa gran i provoca escorriment superficial. Poca cobertura vegetal.	Reduir la càrrega. Ressembrar o canviar el cultiu.
Olors desagradables	L'aigua residual està en condicions anòxiques durant el transport fins a la zona de rec. L'olor prové de la zona d'emmagatzematge de l'aigua residual.	Recollir i tractar els gasos emesos. Millorar el tractament previ o airejar el dipòsit d'emmagatzematge.
Augment de la concentració de nitrats de l'aigua subterrània de les proximitats de la zona	No es porta a terme la recol·lecció del cultiu. S'obliden les tasques de manteniment.	Els cultius s'han de recol·lectar i substituir amb una certa periodicitat.

Taula 3.6. Costos de construcció (incloent l'adquisició del terreny) i d'explotació i manteniment dels filtres verds segons la població tractada. Extret de Collado (1992). (a)

Població equivalent	Costos de construcció, ptes (1998)/hab·eq	Costos d'explotació i manteniment, ptes (1998)/hab·eq.any
< 100	65 000	800
101 · 200	55 000	800
201 · 500	40 000	800
501 · 1000	27 300	800
1001 · 2000	25 800	800

a) Preus actualitzats (1998) segons dades de l'INE.

a) Adquisició del terreny: aquesta partida és molt important, ja que la superfície necessària per aquest tipus de tractament és molt elevada.

b) Acondicionament del terreny: on hi hagi precipitacions importants s'ha de prendre mesures per evitar una erosió excessiva, consistents en:

   1) Disposar el terreny en terrasses per obtenir uns pendents menors.
   2) Cultivar gespa a les vores del terreny d'infiltració.

c) Sistema de distribució de l'aigua residual.

d) Sistemes d'emmagatzematge.

Residus

Els únics residus produïts són els provinents de la recol·lecció periòdica dels cultius i del tractament previ. El volum de residus produït pel propi filtre es pot considerar gairebé nul.

Rendiments obtinguts

A la Taula 3.7 es mostren els rendiments d'eliminació de la DBO_5, el nitrogen, el fòsfor, els microcontaminants orgànics i els microorganismes indicadors de contaminació fecal que s'obtenen amb els filtres verds quan hi ha recuperació de l'efluent.

SISTEMES D'INFILTRACIÓ RÀPIDA

També s'anomenen sistemes d'aplicació al terreny d'alta càrrega o d'infiltració-percolació (ME, 1993). Consisteixen en l'aplicació intermitent de l'aigua residual sobre un terreny sovint no cultivat amb velocitats d'infiltració elevades i pèrdues per evaporació baixes, amb l'objectiu principal de tractar l'aigua residual. L'aigua aplicada percola horitzontal i verticalment a través

del sòl (Figura 3.3). El tractament de l'aigua té lloc per filtració, adsorció, intercanvi iònic, precipitació, degradació microbiana i assimilació per part de les plantes.

Taula 3.7. Rendiments obtinguts pels filtres verds en l'eliminació dels diferents contaminants de l'aigua residual. Elaborada a partir de WPCF (1990a).

Paràmetre	Càrrega kg/ha.dia	Rendiment d'eliminació, %	Comentaris
DBO_5	3 · 11	90 - 99	...
Nitrogen	0,3 · 2,4	65 - 95	L'eficiència d'eliminació depèn del tipus de cultiu
Fòsfor	0,1 · 3,0	75 - 99	Les plantes n'assimilen un 25%
Microcontaminats orgànics	...	Varia segons el tipus de sòl i el tipus de micro-contaminant	L'eliminació només és efectiva pels microcontaminants orgànics volàtils i biodegradables
Microorganismes indicadors de contaminació fecal	...	> 99,99	Gairebé s'aconsegueix una eliminació completa

És un sistema amb rendiments d'eliminació inferiors als obtinguts amb els filtres verds (quan hi ha recuperació dels efluents) perquè les càrregues hidràuliques aplicades són més grans i els sòls permeables que s'utilitzen tenen menys capacitat de retenció dels contaminants de l'aigua residual.

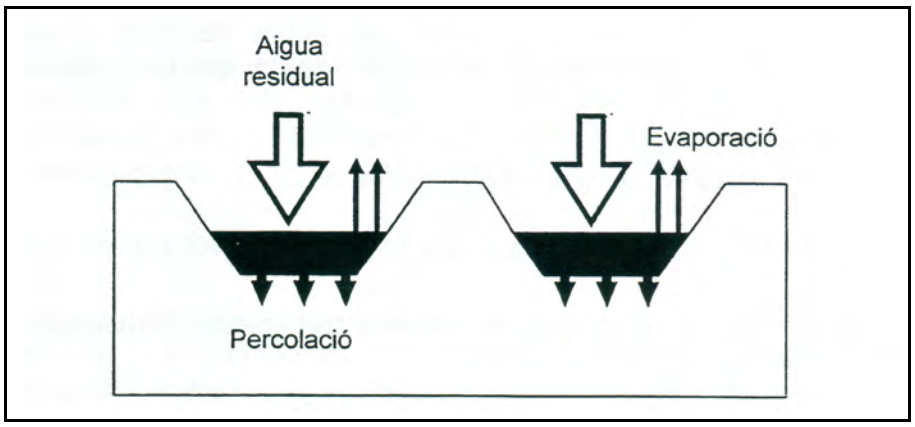


Figura 3.3. Esquema del sistema d'infiltració ràpida amb llacunes d'extensió.

Tipologies

Els sistemes d'infiltració ràpida es classifiquen en funció del sistema d'aplicació.

a) Llacunes d'extensió: l'àrea d'infiltració es divideix en una sèrie de llacunes reblertes de material drenant, el número i dimensions de les quals vénen controlats per la topografia, les càrregues hidràuliques i la permeabilitat del sòl (Figura 3.3). Per

assegurar una distribució uniforme de l'aigua sobre la superfície, el seu fons ha d'estar anivellat.

Normalment aquestes llacunes no es planten. Tanmateix, la vegetació pot ajudar a interceptar els sòlids en suspensió i a mantenir les taxes d'infiltració. La plantació obliga a fer un manteniment més acurat, ja que els sòls sense vegetació només cal escarificar-los cada cert temps.

b) Aspersió: només es fa servir quan la topografia de la zona no aconsella la construcció de llacunes d'extensió. En aquests casos, es planta vegetació per protegir el sòl de l'erosió i evitar l'escorriment superficial. El sistema es comporta doncs com un filtre verd, però amb una càrrega hidràulica més elevada.

Exigències i requisits

a) Condicions climàtiques: no imposen grans limitacions. És el tractament natural basat en el sòl més adaptable als climes freds perquè no depèn de la vegetació. Tanmateix, quan la temperatura baixa per sota de 0°C i es produeix congelació no és aconsellable aplicar aigua residual (que s'ha d'emmagatzemar per aplicar-la posteriorment).

b) Profunditat del nivell freàtic: ha de ser d'un mínim de 3 metres. Es pot usar amb profunditats menors quan s'instal·len drenatges subsuperficials i s'impermeabilitza el terreny en profunditat. L'existència d'una capa prima de sòl sobre un subsòl fissurat o l'existència d'una capa de sòl poc permeable en superfície poden limitar l'aplicació d'aquests sistemes de tractament.

c) Pendent: no és crític des del punt de vista del tractament. No obstant, s'ha de tenir en compte que pendents molt elevats, per sobre del 40%, poden donar lloc a moviments de terres importants durant la construcció, augmentant les despeses d'inversió.

d) Càrrega hidràulica anual: entre 6 i 90 m^3/m^2.any.

e) Càrrega orgànica superficial: entre 45 i 158 kg DBO_5/ha.dia.

f) Permeabilitat: ha de ser elevada. Els terrenys que solen utilitzar-se són sorrencs, amb permeabilitat superior a 2,5 cm/h.

g) Superfície unitària: entre 4 i 10 m^2/hab·eq.

h) Tractament previ: pretractament (eliminació de fins i de grollers i desengreixat segons el cas) i decantació primària com a mínim.

i) Vegetació: depèn de la tipologia utilitzada. En les llacunes d'extensió no és necessària. En canvi, en els sistemes per aspersió és indispensable. En aquest últim cas s'utilitzen sempre gespes hidròfiles.

Avantatges

a) Pot contribuir indirectament a la recàrrega d'aqüífers.

b) La superfície de tractament és molt menor que la que requereixen els filtres verds (de 3 a 10 vegades).

Disseny

a) Emplaçament

La permeabilitat del terreny ha de ser elevada. Els sòls més adequats per aquest tipus de sistema de tractament solen tenir continguts elevats de sorres i graves. Els processos que s'indiquen a continuació tendeixen a disminuir la permeabilitat i poden portar a l'obstrucció del sòl:

La compactació i l'amassat durant la construcció de les instal·lacions.

L'aplicació d'aigües amb un contingut elevat de matèria en suspensió; d'aquí la importància d'un bon tractament previ.

El desenvolupament d'una pel·lícula biològica a la superfície del sòl.

El deteriorament estructural del sòl per intercanvi iònic de les argiles.

La precipitació de sulfurs metàl·lics insolubles.

b) Determinació del nivell de tractament previ:

El tractament previ és indispensable per aconseguir una bona reducció de la concentració de matèria en suspensió i evitar l'obstrucció del sistema. El grau mínim de tractament previ és l'equivalent a un tractament primari (a part de les instal·lacions de pretractament).

c) Sistema de distribució:

Llacunes d'extensió: l'aigua es reparteix a cada estany mitjançant una xarxa de canonades a baixa pressió o per gravetat. S'ha de procurar obtenir una bona anivellació del fons per assegurar una distribució uniforme de l'aigua residual. Prèviament, el fons s'escarifica i s'afegeix una capa de sorres o graves, assegurant així una infiltració ràpida (Figura 3.3).

Aspersió: s'utilitza quan els pendents són tan elevats que l'excavació de llacunes d'extensió conduiria a despeses de moviments de terres molt importants.

d) Determinació de la càrrega hidràulica (EPA, 1977; WPCF, 1990a)

Basada en la permeabilitat del sòl

$$L_w = W_p \cdot O \cdot F \qquad (3\cdot7)$$

on,

L_w és la càrrega hidràulica, en m^3/m^2.any
W_p és la taxa d'infiltració mínima diària, en m^3/m^2.dia
O són els dies d'aplicació, en dies/any
F és el factor d'aplicació, que depèn del sistema de distribució i que val entre el 10 i 15% de la taxa mínima d'infiltració.

Per poder fer aquest càlcul, s'ha de determinar amb assaigs de camp la taxa d'infiltració horària (k) més baixa del sòl amb aigua neta, amb l'objectiu d'establir el valor mínim. Si s'observen grans variacions, es calcula la mitjana dels mínims. Després es calcula la taxa d'infiltració mínima diària (W_p).

Basada en els rendiments d'eliminació de contaminants

És de difícil estimació. Es calcula l'eliminació dels contaminants de l'aigua residual per la càrrega hidràulica que s'ha calculat segons la permeabilitat del sòl, consultant dades de funcionament de sistemes similars al que s'està dissenyant (quant a textura, profunditat del sòl i càrregues hidràuliques aplicades). Després, es calcula el percentatge d'eliminació i es determina si aquest és suficient. Si no ho és, s'ha de considerar una càrrega hidràulica menor i tornar a repetir el procés.

e) Paràmetres de disseny

També són importants en el disseny d'aquest tipus d'instal·lacions l'establiment de la velocitat d'aplicació i la durada dels períodes d'aplicació i de repòs.

La velocitat d'aplicació es calcula mitjançant la següent expressió:

$$R_a = \frac{L_w \cdot D_c}{365 \cdot D_a} \qquad (3\text{-}8)$$

on,

R_a és la velocitat d'aplicació, en m^3/m^2.any
L_w és la càrrega hidràulica, en m^3/m^2.any
D_c és el nombre de dies per cicle operatiu, en dies/cicle
D_a és el nombre de dies per aplicació, en dies/aplicació

Els cicle operatiu del sistema es basa en l'alternança de períodes d'aplicació i de repòs. Després d'una aplicació es deixa assecar el sòl per garantir la descomposició de la matèria orgànica i potenciar la nitrificació. Els cicles es planegen amb l'objectiu de maximitzar la infiltració, l'eliminació de matèria orgànica i la nitrificació.

Un dimensionament insuficient o un excés de compactació del sòl durant la construcció es sol manifestar amb una pèrdua important de la capacitat d'infiltració durant els dos primers anys. Tanmateix, malgrat que la construcció hagi estat correcta, també s'observa una reducció de la velocitat d'infiltració, que té lloc en tres fases:

1) Disminució ràpida de la velocitat d'infiltració per reacció dels materials del sòl amb els contaminants de l'aigua.

2) Recuperació ràpida de la velocitat d'infiltració després de l'assecat com a conseqüència de l'extracció de l'aire contingut en el sòl gràcies a l'aigua que circula pels seus porus.

3) Reducció progressiva de la velocitat d'infiltració, degut fonamentalment a la formació d'una biopel·lícula a la superfície.

A la Taula 3.8 es mostren els cicles operatius que s'adopten segons l'objectiu del sistema de tractament.

Taula 3.8. Cicles operatius dels sistemes d'infiltració ràpida adoptats segons l'objectiu del tractament. Extret de WPCF (1990a).

Objectiu	Efluent aplicat	Estació	Període d'aplicació, dies	Període d'assecat, dies
Maximitzar la velocitat d'infiltració i la nitrificació	Primari	Estiu	1 · 2	5 · 7
		Hivern	1 · 2	7 · 12
	Secundari	Estiu	1 · 3	4 · 5
		Hivern	1 · 3	5 · 10
Maximitzar l'eliminació de nitrogen	Primari	Estiu	1 · 2	10 · 14
		Hivern	1 · 2	12 · 16
	Secundari	Estiu	7 · 9	10 · 15
		Hivern	9 · 12	12 · 16

f) Determinació de la superfície necessària

Es calcula a partir del cabal mitjà diari i de la càrrega hidràulica anual considerada:

$$A = \frac{365 \cdot Q}{L_w} \qquad (3\text{-}9)$$

on,

A és la superfície de tractament, en m^2

Q és el cabal mitjà diari, en m^3/dia

L_w és la càrrega hidràulica, en m^3/m^2.any

S'ha de preveure una reserva de terreny addicional per als camins d'accés, servei i explotació, marges de protecció de les instal·lacions i equips de control i manteniment.

g) Disseny de l'àrea d'infiltració

El sistema es dissenya dividint la superfície en parcel·les. El nombre de parcel·les es determina de manera que, amb el cicle d'operació previst, n'hi hagi sempre almenys una on s'aplica l'aigua. Quan no es desitja que l'aigua arribi al nivell freàtic s'han

d'utilitzar sistemes de drenatge o d'extracció per bombament que permetin recollir l'efluent. També es pot promoure el drenatge natural cap a les aigües superficials.

Per evitar la contaminació de les aigües subterrànies s'ha de controlar el nivell freàtic. Quan el nivell és variable i pot arribar a pujar excessivament es construeixen una sèrie de pous al voltant de la zona d'infiltració des d'on es pot bombar l'aigua. D'aquesta manera s'aconsegueix que el nivell freàtic torni a baixar, tal com es mostra a la Figura 3.4.

La recuperació de l'aigua efluent una vegada ha passat pel sòl pot portar-se a terme de dues formes:

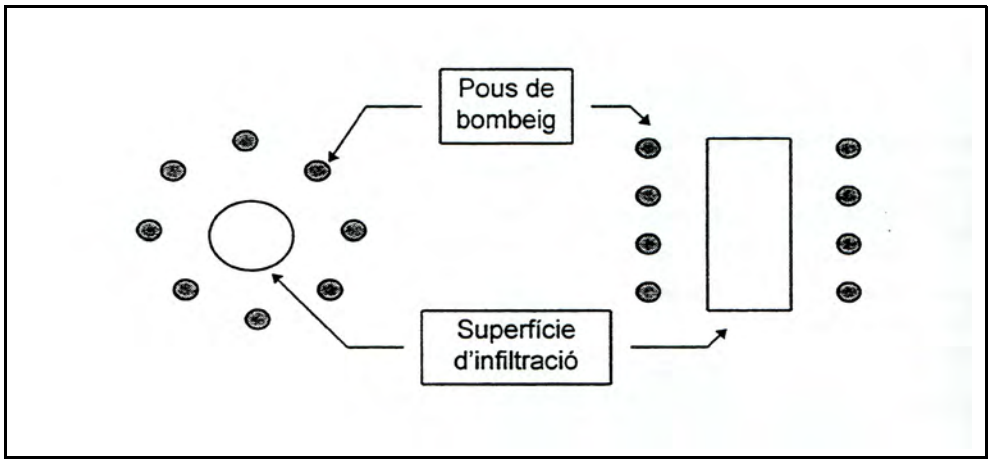


Figura 3.4. Distribució dels pous de bombament per baixar el nivell freàtic en sistemes d'infiltració ràpida.

De manera directa: implantant un sistema de drenatge. Aquest sistema pot ser de tres tipus, segons la morfologia del terreny i la forma de circulació de l'aigua:

1) Amb reguerols o fosses drenants: s'utilitzen quan els terrenys tenen pendent i predomina la circulació lateral de l'aigua.
2) Amb sistemes de drens soterrats: s'utilitzen quan predomina la circulació vertical i amb la possibilitat que hi hagi zones mortes (Figura 3.5).
3) Amb pous de recuperació: l'espaiament i la profunditat dels quals depenen de la geologia del terreny, de les característiques del sòl, de les condicions de l'aigua subterrània, de la velocitat d'aplicació i del percentatge d'aigua aplicada que es vol recuperar. S'utilitzen quan el nivell freàtic es troba a poca profunditat, amb dos objectius fonamentals: recuperar l'aigua efluent i controlar el nivell freàtic (Figures 3.4 a 3.6).

De manera indirecta, permetent que l'efluent arribi a les aigües subterrànies o superficials, aconseguint-se la seva recàrrega. El principal inconvenient d'aquesta forma de recuperació és la dificultat de controlar la qualitat de l'efluent.

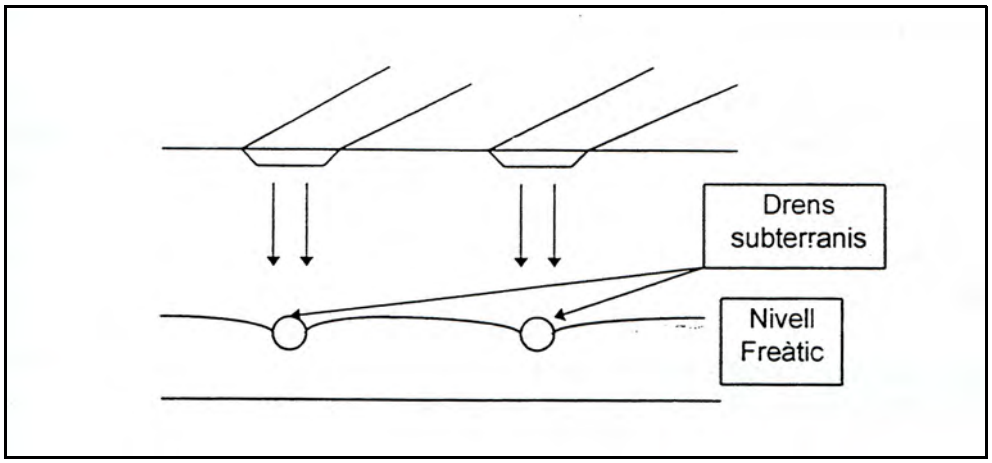


Figura 3.5. Recuperació de l'aigua efluent per drens subterranis en sistemes d'infiltració ràpida.

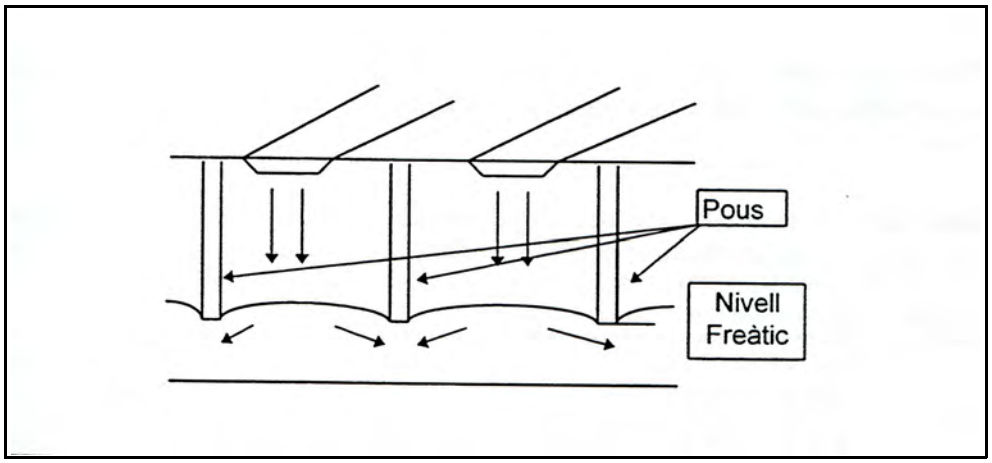


Figura 3.6. Recuperació de l'aigua efluent amb pous en sistemes d'infiltració ràpida.

h) Necessitats d'emmagatzematge

Quan el cabal d'aigua residual excedeix el cabal de disseny s'ha d'emmagatzemar l'aigua. Durant la fase de disseny s'ha de considerar els guanys d'aigua que suposen les precipitacions. Per calcular el volum d'emmagatzematge es segueix un mètode similar a l'utilitzat per un dipòsit de regulació i retenció.

i) Control del procés

S'han de controlar diàriament els volums d'aigua aplicats a cada llacuna d'extensió, la profunditat de la làmina d'aigua de cada llacuna, els temps de retenció hidràulics, la qualitat de l'aigua residual aplicada, i les elevacions i la qualitat de l'aigua del nivell freàtic.

Problemes en l'explotació

Els principals problemes en l'explotació d'aquestes instal·lacions són bàsicament els mateixos considerats en l'explotació dels filtres verds: irregularitats en el cultiu (quan l'aigua residual es distribueix per aspersió), en el bombament, en l'aplicació de l'aigua residual i d'altres com l'erosió i les males olors (veure les Taules 3.2, 3.3, 3.4 i 3.5).

Despeses

A la Taula 3.9, es mostren els costos de construcció i d'explotació i manteniment dels sistemes d'infiltració ràpida per un rang de població tractada d'entre 1000 i 2000 hab·eq.

Les despeses més importants en els sistemes d'infiltració ràpida són l'adquisició del terreny i el seu condicionament. El condicionament inclou l'escarificació de la superfície del terreny, la sembra de la vegetació (quan sigui necessària) i la construcció de dics. Quan la topografia no és l'adequada per a la construcció de llacunes d 'extensió, les despeses addicionals de moviments de terres poden ser molt importants.

Altres costos que s'han de considerar són la instal·lació de drens subterranis i el tractament previ a què serà sotmesa l'aigua abans d'entrar en el sistema.

Taula 3.9. Costos de construcció (incloent l'adquisició del terreny) i d'explotació i manteniment dels sistemes d'infiltració ràpida per un rang de població tractada d'entre 1000 i 2000 hab·eq. Extret de Collado (1992). (a)

Costos de construcció ptes (1998)/hab·eq	Costos d'explotació i manteniment ptes (1998)/hab·eq.any
3 000	720

a) Preus actualitzats segons dades de l'INE.

Residus

Els únics residus produïts són els provinents del tractament previ. L'obturació de la superfície d'infiltració per acumulació de sòlids es soluciona escarificant periòdicament la capa superficial de l'àrea d'infiltració.

Rendiments obtinguts

A la Taula 3.10 es mostren els rendiments obtinguts pels sistemes d'infiltració ràpida. Quan la DBO_5 és elevada, la biopel·lícula es desenvolupa molt ràpidament i es redueix la capacitat d'infiltració i d'aireig. D'aquesta manera es pot obstruir el sòl i es poden arribar a produir condicions anaeròbiques en superfície, generant-se males olors. L'eliminació del nitrogen té lloc per nitrificació seguida de desnitrificació i depèn inversament de la permeabilitat del sòl. Quant al fòsfor, els processos més comuns que permeten eliminar-lo són l'adsorció i la precipitació química. La capacitat d'eliminació depèn de la mineralogia i la textura del sòl.

Taula 3.10. Rendiments obtinguts pels sistemes d'infiltració ràpida en l'eliminació dels diferents contaminants de l'aigua residual (WPCF, 1990a).

Paràmetre	Càrrega kg/ha.dia	Rendiment d'eliminació	Comentaris
DBO_5	45 - 58	80 - 99 %	L'eliminació depèn del tractament previ, del clima, de la càrrega hidràulica i del cicle operatiu.
Nitrogen	3 - 37	10 - 80 %	L'eliminació depèn del tractament previ, del clima, de la càrrega hidràulica i del cicle operatiu.
Fòsfor	1 - 12	29 - 99 %	L'eliminació depèn de la mineralogia i la textura del sòl, del temps de servei i de la distància que l'aigua recorre en el subsòl.
Microcontaminants orgànics	...	Varia segons el tipus de sòl i el tipus de compost	L'eliminació òptima té lloc mentre hi ha condicions aeròbiques.
Microorganismes indicadors de contaminació fecal	...	2 - 6 ordres de magnitud	L'eliminació depèn de la textura i la mineralogia del sòl, de la distància que l'aigua recorre en el subsòl i del temps de retenció hidràulic.
Virus	...	2 - 4 ordres de magnitud	L'eliminació òptima té lloc amb càrregues hidràuliques baixes, quan els sòls són de textura fina i quan hi ha condicions aeròbiques i temperatures elevades.

SISTEMES D'ESCORRIMENT SUPERFICIAL

Aquests sistemes consisteixen en una sèrie de terrasses de pendent uniforme, vegetades i amb un sistema d'aplicació de l'aigua residual localitzat a la part més alta. L'aigua tractada prèviament es distribueix sobre el terreny per obtenir un tractament addicional i efectuar una posterior recuperació i abocament. L'aigua residual flueix per les terrasses en forma d'escorriment superficial fins a ésser recollida a la part inferior en rases (Figura 3.7). Normalment s'utilitzen com a sistemes d'afinament o tractament addicional (EPA, 1977). No es disposa de masses experiències a escala real d'aquests tipus de tractaments, per exemple, als Estats Units només hi ha unes 50 instal·lacions d'aquest tipus (Crites i Tchobanoglous, 1998).

Exigències i requisits

a) Condicions climàtiques: l'emmagatzematge de l'afluent és necessari quan la temperatura baixa per sota de 0°C. Les temperatures baixes afecten negativament el procés d'eliminació de nitrogen.

b) Profunditat del nivell freàtic: no és crítica perquè és un tractament en què la infiltració és menyspreable.

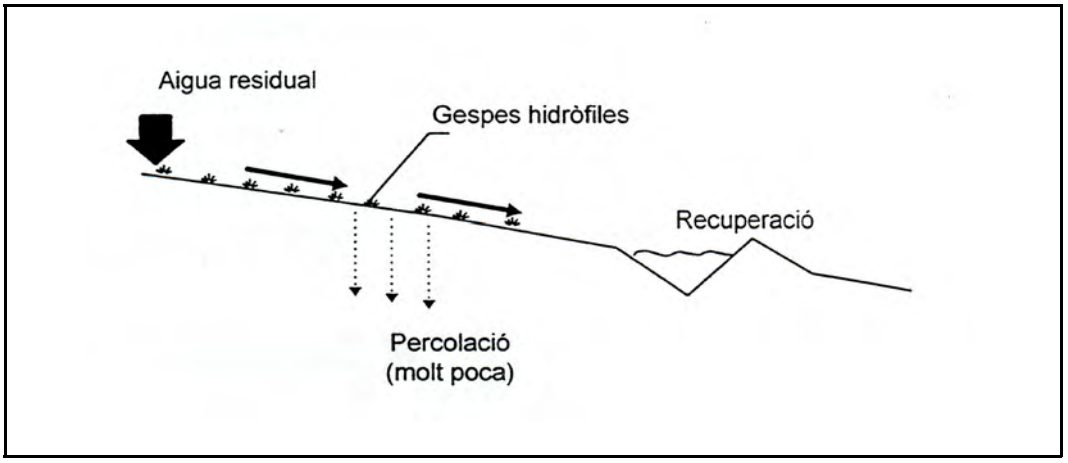


Figura 3.7. Esquema de funcionament d'un sistema d'escorriment superficial.

c) Pendent: el funcionament òptim s'aconsegueix quan el pendent està entre 1 i 8 %. Amb pendents inferiors l'aigua s'estanca i s'infiltra en el terreny, mentre que amb pendents superiors l'aigua circula a massa velocitat.

d) Càrrega hidràulica anual: entre 7 i 57 m^3/m^2.any

e) Permeabilitat del sòl: ha de ser molt baixa. Normalment s'utilitzen sòls argilosos o amb barreres impermeables.

f) Superfície unitària: entre 5 i 15 m^2/hab·eq

g) Tractament previ: pretractament obligatori (eliminació de fins i grollers desengreixat segons el cas) i decantació primària recomanable.

h) Vegetació: és necessària. Normalment s'utilitzen gespes hidròfiles.

Avantatges

a) De tots els sistemes d'aplicació al terreny, és el menys influenciat per les característiques del terreny mentre aquest sigui suficientment impermeable per minimitzar la infiltració.

Disseny

a) Emplaçament

Característiques del sòl

Es fan servir sòls de permeabilitats baixes (< 0,15 cm/h). Els sistemes s'han de projectar per tal que les pèrdues per infiltració i percolació siguin baixes i independents de la permeabilitat inicial del sòl.

Topografia

Sempre que sigui possible s'adoptarà el pendent natural per evitar moviments de terres. El rang adequat està entre 1 i 8 %. Si el terreny és massa horitzontal, se li ha de donar pendent amb moviments de terres. Quan el pendent és de més del 12%, els riscos d'erosió són molt elevats. Per evitar-ho es construeixen terrasses.

b) Selecció del cultiu

El cultiu ha de ser dens i uniforme per prevenir l'erosió i afavorir els processos d'eliminació. Generalment es fa servir gespa tolerant a la inundació. Aquesta gespa no sol utilitzar-se en la dieta del bestiar, perquè les velocitats d'aplicació són massa elevades i el terreny està normalment humit i entollat.

c) Determinació del nivell de tractament previ

Com a mínim, s'exigeix un pretractament amb eliminació de grollers i de fins i desengreixat. Els sòlids poden obstruir fàcilment els sistemes de distribució. El tractament previ òptim és un pretractament seguit d'una decantació primària.

d) Sistema de distribució

Canonada perforada, normalment d'alumini: les obertures se situen a un costat de la canonada si el terreny té pendent cap a un vessant i a tots dos si el terreny té pendent cap als dos vessants. L'espai mínim entre perforacions és de 0,6 m. L'aigua residual s'introdueix a canonada a baixa pressió i les obertures s'ajusten manualment per aconseguir una distribució uniforme. És necessari netejar periòdicament les obertures per tal d'evitar la seva obstrucció. Per això cal que el pretractament sigui molt eficaç (Figura 3.8).

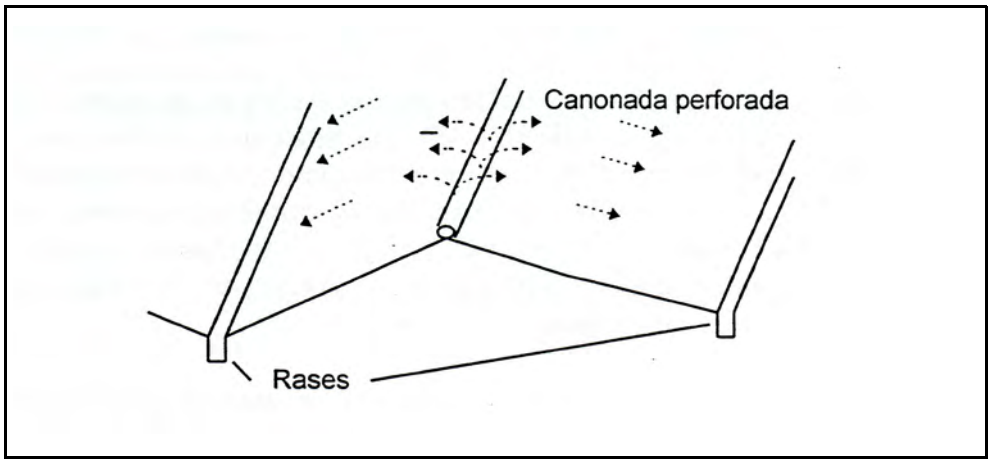


Figura 3.8. Esquema de la distribució amb canonada perforada amb dos vessants en un sistema d'escorriment superficial.

Aspersió: la distribució de l'aigua residual té lloc en una àrea molt més gran que en el mètode de canonada perforada, ja que la pressió és superior. Per aquesta raó, es col·loquen a 1/3 de la longitud del pendent des de la part més alta (quan el terreny només té pendent cap a un costat). L'aspersió necessita més terreny i té més costos energètics que el sistema de distribució per canonada perforada. La distribució per aspersió produeix aerosols que poden representar un problema sanitari.

e) Paràmetres de disseny (WPCF, 1990a)

Els valors més usuals d'aquests paràmetres es mostren a la Taula 3.11 i es descriuen a continuació.

Taula 3.11. Valors més usuals dels paràmetres de disseny dels sistemes d'escorriment superficial en funció del tipus de tractament previ.

Paràmetre	Tipus de tractament previ a què s'ha sotmès l'aigua		
	Pretractament (eliminació de fins i de grollers)	Primari o llacuna airejada	Secundari o avançat
Velocitat d'aplicació $m^3/m.h$	0,2 · 0,5	0,2 · 0,5	0,3 · 0,6
Llargada del pendent, m	30 · 50	30 · 50	30 · 50
Període d'aplicació, h	8 · 12	8 · 12	8 · 12
Període d'assecat, h	12 · 16	12 · 16	12 · 16

Velocitat d'aplicació: és el cabal d'aigua residual aplicat per unitat d'amplada del terreny. S'expressa en $m^3/m.h$. L'eficàcia d'eliminació augmenta a mesura que disminueix aquest paràmetre (fins a un cert límit). Per això, per a temperatures per sota dels 10°C o per optimitzar l'eficàcia d'eliminació d'algun dels contaminants de l'aigua residual, es trien valors baixos d'aquest paràmetre, propers al límit inferior dels rangs proposats a la Taula 3.11.

Llargada del pendent: la llargada del terreny necessària en un sistema amb distribució per canonada perforada és de 30 a 45 m. D'altra banda, si el sistema de distribució és per aspersió, la llargada pot ser significativament superior, entre 45 i 60 metres. En general s'observa que l'eficàcia del tractament augmenta a mesura que augmenta la longitud del terreny. Els pendents han d'estar agrupats en un mínim de 4 ó 5 grups, en paral·lel, amb funcionament hidràulic independent, i d'aproximadament la mateixa superfície d'aplicació.

Cicle operatiu: el cicle operatiu consisteix en un període d'aplicació seguit d'un període d'assecament. Normalment s'utilitzen cicles d'un dia: períodes d'aplicació d'entre 8 i 12 hores i assecament entre 12 i 16 h. En aquests rangs, els contaminants de l'aigua residual són eliminats amb la mateixa eficàcia, sense diferències significatives, amb l'excepció del nitrogen.

f) Determinació de la superfície necessària (WPCF, 1990a)

$$A_s = \frac{[Q + V_s/8\,760]}{R_a \cdot P_a / O_t} \cdot [(365 + D_s)/365] \cdot Z \qquad (3\text{-}10)$$

on,

A_s és la superfície requerida per al tractament, en m^2

Q és el cabal mitjà d'aigua residual, en m^3/h

V_s és el guany o pèrdua net degut a les precipitacions i a la infiltració, en m^3/any.
D_s és el número de dies d'emmagatzematge de l'aigua residual.
R_a és la velocitat d'aplicació, en $m^3/m.h$
P_a és el període d'aplicació, en hores o en dies
O_t és la durada del cicle d'operació, en hores o en dies
Z és la longitud del pendent, en m

La superfície calculada s'ha d'incrementar en un 20 · 25 % per tal de poder portar a terme el manteniment del terreny i de la vegetació amb certa comoditat. També és necessari un 10% més pels camins de servei.

g) Necessitats d'emmagatzematge

És necessari quan les temperatures són molt baixes, per sota dels 0°C.

h) Control del procés

Els principals paràmetres de control són el cabal efluent i la qualitat de l'aigua efluent. Amb el control del cabal d'aigua efluent es poden determinar les pèrdues per infiltració i percolació en el terreny. Controlant la qualitat es pot saber si la velocitat d'aplicació utilitzada és la correcta o si, per contra, cal disminuir-la per augmentar els rendiments d'eliminació de contaminants.

Problemes en l'Explotació

Els principals problemes en l'explotació d'aquestes instal·lacions són similars als que es presenten en l'explotació dels filtres verds: irregularitats en el cultiu, en el bombament, en l'aplicació de l'aigua residual i d'altres com l'erosió i les males olors (veure les Taules 3.2, 3.3, 3.4 i 3.5).

Despeses

Les despeses de construcció més importants es poden agrupar en tres partides fonamentals:

a) Adquisició del terreny.

b) Condicionament d'aquest terreny.

c) Construcció de la xarxa de distribució.

Aquestes despeses varien molt segons la població equivalent tractada i el valor del terreny. WPCF (1990a) indica que les despeses oscil·len entre 8 000 i 80 000 ptes (1998)/hab·eq, incloent l'adquisició del terreny. Tanmateix, aquests valors s'han de prendre amb molta cautela atès que el nombre d'instal·lacions d'escorriment superficial en funcionament és baix.

Les despeses de construcció del sistema d'escorriment superficial de Cerro del Hierro (Andalusia), amb 174 hab·eq i incloent l'adquisició del terreny van ser de 7 400 ptes (1998)/hab·eq (Riesco, 1999).

Quant a les despeses d'explotació i manteniment, s'han de tenir en compte el manteniment de la vegetació, de la xarxa de distribució i de recollida de l'aigua i el tractament d'olors. Pot ser necessari també un control dels mosquits i de la mala herba. En total, aquestes despeses oscil·len segons WPCF (1990a) entre 200 i 800 ptes (1998)/hab-eq.any, depenent de la població equivalent tractada.

Residus

Els únics residus produïts són els procedents de la recol·lecció dels cultius. La gespa es sega periòdicament -és aconsellable fer-ho un mínim de quatre a sis vegades cada any- i es deixa sobre els mateixos pendents. No se sol segar i a continuació embalar la gespa, degut al temps que es necessita per assecar-la abans d'embalar-la.

Rendiments obtinguts

Els valors esperats en alguns dels paràmetres de qualitat de l'efluent dels sistemes d'escorriment superficial s'indiquen a la Taula 3.12. La qualitat de l'efluent d'un sistema d'escorriment superficial sol ser generalment inferior a la que presenten els altres sistemes d'aplicació al terreny, sobretot pel que fa a la concentració de sòlids en suspensió. Per controlar aquest paràmetre s'ha d'actuar sobre la velocitat d'aplicació, evitant d'aquesta manera l'arrossegament de partícules que podien haver quedat retingudes en un període d'aplicació anterior.

Taula 3.12. Valors esperats de les concentracions i els rendiments dels sistemes d'escorriment superficial en l'eliminació dels diferents contaminants de l'aigua residual.

Paràmetre	Valor mitjà en l'efluent	Valor màxim en l'efluent	Rendiments d'eliminació, %
DBO_5, mg O_2/L	10	15	92 - 96
MES, mg/L	15	25	95
N_T, mg N/L	5	8	45
P_T, mg P/L	4	6	30

LLACUNATGE

El procés de llagunatge consisteix en una sèrie de reactors (llacunes) generalment excavats en el terreny i capaços de funcionar com a dipòsits d'emmagatzematge d'aigua residual durant períodes de temps determinats. En aquest document es tracta el que es coneix com a llacunatge natural. El tractament de l'aigua residual té lloc fonamentalment per sedimentació de la matèria en suspensió i degradació microbiana de la matèria orgànica.

Tipologies

Els llacunatges es classifiquen en:

a) Airejats: alguna de les llacunes que l'integren té aireig artificial. Sovint no es consideren com un sistema de tractament natural. Les necessitats de superfície d'aquesta tipologia són menors que les del llacunatge natural, és a dir, pot tractar càrregues orgàniques més elevades, a igualtat de superfície.

b) Natural: cap de les llacunes té aireig artificial.

D'altra banda, les llacunes que constitueixen un sistema de llacunatge poden classificar-se en base a diferents criteris:

a) Segons la seqüència del procés (Gloyna, 1973): primàries, secundàries, terciàries i quaternàries.

b) Segons el mètode d'oxigenació i la distribució d'oxigen dissolt a la massa d'aigua (EPA, 1983). A la Taula 3.13 es mostren algunes de les característiques bàsiques dels diferents tipus de llacunes classificades amb aquest criteri.

Llacunes aeròbiques: tenen poca profunditat (entre 0,5 i 1,5 m) per tal que la llum penetri totalment i hi hagi condicions aeròbiques en tot el volum d'aigua. L'aireig té lloc gràcies a l'activitat fotosintètica de les microalgues.

Les *llacunes anomenades d'alt rendiment* es poden considerar com una modificació de les llacunes aeròbiques convencionals amb agitació del líquid de mescla i poca profunditat (0,3 · 0,6 m) per tal d'afavorir el creixement de les microalgues i aconseguir l'oxigenació de l'aigua a través de l'activitat fotosintètica (García, 1996). Són llacunes que poden admetre una càrrega orgànica superficial molt superior a la de les llacunes aeròbiques convencionals (80 · 160 kg DBO_5/ha.dia).

Llacunes facultatives: tenen una zona aeròbica a la part superior i una altra anaeròbica a la part inferior. L'aireig de la part superior té lloc mitjançant l'activitat fotosintètica de les microalgues.

Llacunes anaeròbiques: tenen gran profunditat (entre 3 i 7 m). En aquest tipus de llacunes es mantenen condicions anaeròbiques en tot el volum d'aigua (Figura 3.9).

Llacunes airejades: són les llacunes que caracteritzen el llacunatge airejat. L'aireig es porta a terme amb un flux continu d'aire mitjançant bufadors submergits o turbines superficials.

Exigències i requisits.

a) Condicions climàtiques: la temperatura és un factor molt important en el projecte dels llacunatges naturals, ja que influeix en l'activitat fotosintètica de les microalgues i en d'altres reaccions bioquímiques. En augmentar la temperatura, fins a un límit determinat, el temps de retenció total necessari per obtenir la mateixa reducció de la DBO_5 disminueix. Normalment, les condicions del fons de les llacunes milloren en

augmentar la temperatura, però a la zona superficial pot no passar el mateix a causa del freqüent desenvolupament d'una flora indesitjable quan la temperatura supera els 37°C. D'altra banda, per temperatures baixes pot ser necessari emmagatzemar l'aigua, ja que molts dels processos biològics implicats en el tractament pràcticament s'aturen a temperatures inferiors als 10°C.

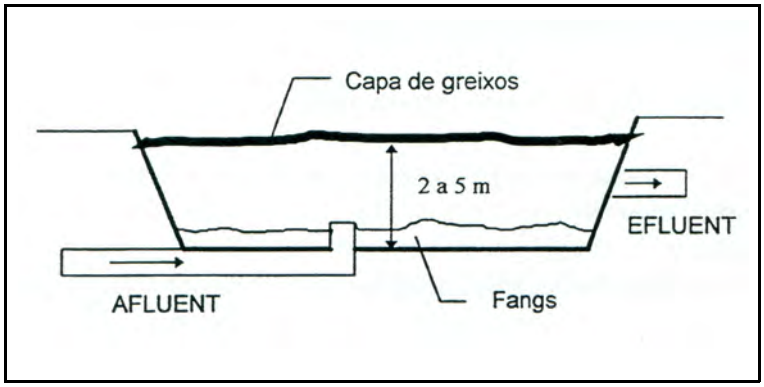


Figura 3.9. Esquema d'una llacuna anaeròbica.

b) Profunditat del nivell freàtic: ha d'estar sempre per sota del fons de les llacunes.

c) Pendent: el terreny s'ha d'anivellar per tal d'aconseguir una circulació adequada. Es recomanen sempre pendents inferiors al 5% en tots els tipus de llacunes.

d) Càrrega orgànica superficial: varia segons el tipus de llacuna, tal com es mostra a la Taula 3.13.

e) Permeabilitat: els sòls més adequats són els de baixa permeabilitat, per exemple els argilosos. En cas contrari, el fons de les llacunes s'ha d'impermeabilitzar per evitar la contaminació de les aigües subterrànies, fet que suposa una despesa addicional molt important.

f) Superfície unitària: entre 8 i 12 m^2/hab·eq.

g) Tractament previ: el tractament previ ha de consistir com a mínim en un pretractament de l'aigua residual (eliminació de grollers i de fins).

Avantatges

a) Absorbeix fàcilment les puntes de càrrega contaminant degut a l'efecte regulador de les llacunes.

b) És un procés natural de fàcil integració en el medi rural.

c) Pot constituir un recurs ambiental ja que té capacitat per promoure la fauna.

Taula 3.13. Taula comparativa dels diferents tipus de llacunes segons els mètode d'oxigenació i la distribució d'oxigen dissolt a la massa d'aigua. Extret d'EPA (1983).

Tipus de llacuna	Aplicació	Càrrega orgànica superficial, kg DBO_5/ha.dia	Temps de retenció hidràulic, dies	Profunditat, m	Comentaris
Anaeròbica	Aigua residual d'origen industrial o urbà	160 - 800	20 · 50	3·10	Males olors. Cal fer un tractament posterior
Facultativa	Aigua residual urbana, efluent de llacunes anaeròbiques o airejades	50 · 120	7 · 30	1,0 · 2,5	És la tipologia més freqüent.
Aeròbica	Afinament, aigua d'altres llacunes	20 · 70 generalment 25	10 · 40	0,5 · 1,5	DBO_5 efluent molt baixa. Alta producció de microalgues.
Airejada	Aigua industrial o urbana. Quan hi ha limitacions d'espai	80 · 320	3 · 10	2 · 6	Requereix menys superfície.

Disseny

No hi ha un mètode general per al disseny de sistemes de llacunatge. No hi ha criteris unificats quant a la configuració del sistema, la profunditat de l'aigua, el pendent del fons de les llacunes i els dispositius més adequats d'entrada i de sortida de l'aigua.

a) Emplaçament

La selecció de l'emplaçament és particularment important quan es planteja la construcció d'un llacunatge natural. El terreny ha de reunir les condicions necessàries per tal que les llacunes previstes compleixin els requisits de forma i tamany fixats en el projecte.

S'han de tenir en especial consideració les zones residencials properes perquè els llacunatges (fonamentalment quan inclouen llacunes anaeròbiques) poden emetre males olors en algunes èpoques de l'any. Les normes relatives a la distància de les vivendes depenen dels costums locals i del clima. La distància tolerable entre una llacuna i les zones residencials més properes està determinada en gran part per la càrrega que rebi el llacunatge, la idoneïtat del projecte, el tipus de llacunes que integren el llacunatge i les condicions de manteniment previstes.

En certs casos, s'han construït vivendes a 100 m de distància d'una llacuna facultativa ben projectada i explotada. Ara bé, per als sistemes anaerobis es precisen distàncies més grans. A l'Índia, es considera una regla de bona pràctica construir les llacunes facultatives com a mínim a 150 m de les petites colònies residencials i a 450 m de les

grans urbanitzacions. A Israel, s'ha proposat una distància mínima de 1 a 2 km, mentre que als Estats Units, aquesta distància mínima és de 0,5 a 1 km.

En un sistema de llacunatge és necessari contemplar específicament:

Topografia: el terreny ha d'estar anivellat o lleugerament inclinat, però sempre amb pendents inferiors al 5%.

Sòl: no es desitja que hi hagi infiltració i percolació a través del sòl. El terreny ha de ser doncs de molt baixa permeabilitat. Si és massa permeable es pot resoldre compactant durant la construcció o impermeabilitzant el fons de les llacunes.

Risc d'inundacions: les llacunes han d'estar fora de les planes d'inundació dels rius o bé protegides.

b) Determinació del nivell de tractament previ

El tractament previ ha de consistir com a mínim en un pretractament de l'aigua residual (eliminació de fins i de grollers). A part d'això, el nivell de pretractament necessari depèn dels requeriments de l'efluent i de la capacitat d'eliminació del sistema de llacunatge.

c) Sistema de distribució

Sistemes d'entrada d'aigua: les entrades han d'estar submergides i han de ser múltiples (en instal·lacions molt petites pot tractar-se d'una única entrada). La canonada d'entrada pot estar enterrada o muntada sobre suports fermament assentats.

En la major part dels casos són preferibles les entrades horitzontals a causa de la necessitat d'un desnivell per tal d'assegurar la circulació de l'aigua per gravetat. En canvi, quan es bomba l'aigua residual o hi ha una diferència de cota suficient, la descàrrega pot fer-se aigües amunt, en sentit vertical, a menys que l'aigua contingui gran quantitat de sorres (Figura 3.9).

Les canonades d'entrada s'han de protegir front la sedimentació, l'acció del gel i l'erosió. La canonada i la secció de descàrrega han de reposar sobre bases fermes.

La descàrrega superficial a prop d'un dic contribueix a l'aparició de males olors. Quan es tracta d'una llacuna rectangular, l'entrada s'ha de localitzar en un punt situat aproximadament a un terç de la longitud entre la vora aigües amunt de la llacuna i el punt de sortida. S'ha d'evitar l'acumulació d'escumes i de flotants a la superfície de l'aigua.

Connexions entre llacunes: han d'estar situades de manera que es redueixin al màxim els curt circuits. En sistemes senzills amb poques llacunes (2 ó 3), les canonades instal·lades a través dels dics donen bons resultats, sempre que es prenguin mesures per evitar l'erosió. Aquesta pot evitar-se bastant bé si la canonada de connexió descarrega horitzontalment a prop del fons de la llacuna. Per aconseguir un funcionament més flexible i facilitar el manteniment, les canonades de connexió han d'estar equipades amb vàlvules. També s'han de preveure instal·lacions per regular el nivell de l'aigua i per poder buidar les llacunes.

Sistemes d'evacuació de l'aigua: l'aigua del medi receptor no pot entrar a les llacunes. Generalment la sortida està submergida en el medi receptor o disposada de manera que l'aigua surti impulsada lluny de la canonada abans que entri en contacte amb el medi receptor.

d) Determinació de la superfície necessària (Mara i Marecos do Monte, 1990; Mara i Pearson, 1998; WPCF, 1990a).

A continuació s'exposen alguns dels criteris de dimensionament i disseny de les llacunes que poden integrar un sistema de llacunatge (s'exclouen les llacunes airejades). L'informació disponible quant aquesta temàtica és nombrosa i variable. En aquest document només es presenten alguns dels principals criteris per a mostrar la manera de treballar en el disseny i dimensionament de llacunatges. Per a la obtenció de criteris més nombrosos i rigorosos caldrà consultar la bibliografia referenciada.

Llacunes facultatives: la superfície de tractament es pot determinar en base a la càrrega orgànica superficial o a la teoria de reactors.

Basada en la càrrega orgànica superficial

La profunditat òptima per aquest tipus de llacunes és d'entre 1,5 i 2 m. La càrrega orgànica superficial es pot calcular a partir de la temperatura ambient fent ús de les següents expressions (Mara i Marecos do Monte, 1990):

$$T < 10°C \qquad B = 100 \tag{3·11}$$

$$10 < T < 20°C \qquad B = 10 \cdot T \tag{3·12}$$

$$T > 20°C \qquad B = 50 \cdot (1{,}072)^{T} \tag{3·13}$$

on,

B és la càrrega orgànica superficial, en kg DBO_5/ha.dia
T és la temperatura ambiental, en °C

Sabent la càrrega orgànica superficial de disseny, s'obté la superfície de tractament necessària amb la següent expressió:

$$A = \frac{Q \cdot C_1}{1\,000 \cdot B} \tag{3-14}$$

on,

A és l'àrea de la llacuna, en ha
Q és el cabal mitjà diari que s'ha tractar, en m^3/dia
C_1, és la concentració de la DBO_5 de l'afluent, en mg O_2/L

Basada en la teoria de reactors

Se suposa que la degradació de la matèria orgànica segueix una llei de cinètica de primer ordre i que la llacuna es comporta com un reactor de mescla completa:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{1 + k_c \cdot t} \qquad (3\text{-}15)$$

on,

C_2 és la DBO_5 de l'efluent, en mg O_2/L
C_1 és la DBO_5 de l'afluent, en mg O_2/L
t és el temps de permanència hidràulica, en dies
k_c és la constant de reacció en $dies^{-1}$, que sol valer aproximadament 1,2 $dies^{-1}$

Conegut a partir de l'expressió 3·15 el temps de retenció de la llacuna, sabent el cabal afluent d'aigua residual i havent fixat la profunditat de la llacuna (entre 1,0 i 2,5 m) es pot calcular la superfície amb l'expressió següent:

$$A = \frac{Q \cdot t}{10\,000 \cdot h} \qquad (3\text{-}16)$$

on,

A és l'àrea de la llacuna, en ha
Q és el cabal mitjà diari, en m^3/dia
h és la profunditat, en m

Llacunes anaeròbiques:

Basada en la càrrega orgànica volumètrica (Mara i Marecos do Monte, 1990).

El dimensionament es porta a terme determinant en primer lloc la càrrega orgànica a partir de les següents expressions:

$$T < 10°C \qquad B_v = 100 \qquad (3\text{·}17)$$

$$10 < T < 20°C \qquad B_v = 20 \bullet T \cdot 100 \qquad (3\text{·}18)$$

$$T > 20°C \qquad B_v = 300 \qquad (3\text{·}19)$$

on,

T és la temperatura ambiental, en °C
B_v és la càrrega orgànica volumètrica en g DBO_5/m^3.dia

Conegut aquest paràmetre, l'àrea es calcula amb la següent expressió:

$$A = \frac{Q \cdot C_1}{1\,000 \cdot h \cdot B_v} \qquad (3\text{-}20)$$

on,

A és l'àrea de la llacuna, en ha
Q és el cabal mitjà diari, en m^3/dia
C_1 és la DBO_5 de l'afluent, en mg O_2/L
h és la profunditat, en m (per aquest tipus de llacunes, és d'entre 3 i 7 m)

Llacunes aeròbiques:

Basada en el rendiment d'eliminació de coliforms fecals

Se suposa que l'eliminació de coliforms fecals segueix una llei de cinètica de primer ordre i la llacuna es considera com un reactor de mescla completa:

$$\frac{X_2}{X_1} = \frac{1}{1 + k \cdot t} \qquad (3\text{-}21)$$

on,

X_2 és la concentració de coliforms a l'efluent, en CF/100 mL
X_1 és la concentració de coliforms a l'afluent, en CF/100 mL
t és el temps de permanència hidràulic, en dies
k és la constant d'inactivació bacteriana, en $dies^{-1}$, que es pot calcular amb la fórmula següent:

$$k = 2{,}6 \cdot 1{,}19^{(T-20)} \qquad (3\text{-}22)$$

on,

T és la temperatura ambiental, en °C.

D'aquesta manera, a partir de l'expressió 3·21 s'obté el temps de retenció hidràulic. Amb aquesta dada, conegut el cabal d'aigua residual afluent i havent fixat la profunditat de la llacuna entre 0,5 i 1,5 m, es calcula la superfície fent ús de l'expressió 3·16.

En el cas d'afluents domèstics i climes temperats, es pot calcular sense massa error l'àrea de tractament de tot el sistema de llacunatge *conjuntament* (Hernández *et al.*, 1996). S'utilitzen per a fer-ho les següents normes de dimensionament:

1) Superfície total de tractament: 10 m^2/hab·eq, que es pot reduir fins a 5 m^2/hab quan la temperatura ambient és normalment superior a 15 · 20°C.

2) Temps mitjà de retenció hidràulic: entre 50 i 60 dies

3) Profunditat de les llacunes: entre 0,8 i 1,5 metres

4) Distribució de superfícies:
   50%, la primera llacuna
   25%, la segona llacuna
   25%, la tercera llacuna

Addicionalment, s'ha de preveure la construcció de vies i de camins d'accés a totes les instal·lacions.

e) Necessitats d'emmagatzematge

Es recomana emmagatzemar l'aigua residual durant els períodes en què el cabal d'aigua residual afluent excedeix el cabal de disseny i durant els períodes amb temperatures extremes. Posteriorment es pot anar tractant. Per calcular el volum d'emmagatzematge es segueix un mètode similar a l'utilitzat per un dipòsit de regulació i retenció.

f) Control del procés

Les mesures de cabal són necessàries per determinar l'estratègia d'explotació més eficaç i per obtenir dades per futures ampliacions de les instal·lacions.

S'han d'efectuar determinacions periòdiques de la DBO_5 i de la concentració de microorganismes indicadors de la contaminació fecal (en especial si l'efluent es reutilitza). Per tal d'aconseguir un control més estricte i un major rendiment es recomana efectuar les següents determinacions: control diari del pH i de l'oxigen dissolt a cadascuna de les llacunes, i dels sòlids en suspensió a l'afluent i l'efluent; control setmanal de DBO_5, de microorganismes indicadors de la contaminació fecal, de nitrogen orgànic, d'amoníac, de nitrats i de fosfats a l'afluent i l'efluent; també control setmanal de la DQO, especialment si les instal·lacions reben aigües residuals d'origen industrial.

Problemes en l'explotació

Els principals problemes en l'explotació i manteniment dels sistemes de llacunatge poden ser deguts a: 1) el creixement excessiu de microalgues, 2) la presència o el creixement excessiu d'éssers vius superiors, 3) la presència d'escumes i olors i 4) l'alteració dels paràmetres físic-químics de qualitat de l'efluent. A les Taules 3.14, 3.15 i 3.16 es descriuen aquests problemes així com les causes que els originen i algunes possibles solucions.

Despeses

Els costos més importants del llacunatge són els d'adquisició i de condicionament del terreny. El condicionament del terreny inclou tots els treballs de moviment de terres (desbrossament del terreny, excavació de les llacunes, construcció dels dics, protecció dels talussos i obres de terraplenament per la construcció de les vies d'accés, les rases de drenatge i les instal·lacions annexes), la impermeabilització del fons de les llacunes quan sigui necessari i la col·locació de tanques de protecció de les instal·lacions.

A la zona destinada a les llacunes i els dics, s'han d'eliminar els arbres, els arbusts, l'herba, les pedres i, en general, qualsevol material que pugui pertorbar l'explotació del llacunatge. La terra extreta en l'excavació de les rases es pot fer servir com a material de reompliment per a la construcció dels dics o de la carretera d'accés.

Taula 3.14. Problemes deguts al creixement excessiu de microalgues en els sistemes de llacunatge. Extret de WPCF (1990b).

Problema	Causa probable	Solució
Creixement de cianobacteris.	Tractament incomplet, sobrecàrrega o manca de nitrogen.	Aplicació de sulfat de coure, (cal dosificar-lo adequadament perquè en concentracions superiors a 1 mg/L és tòxic per a molts microorganismes i alguns peixos).
Masses de microalgues surant en descomposició.	Sobrecàrrega, temps de retenció insuficient, mal emplaçament de les entrades i sortides d'aigua o abocaments tòxics.	Recirculació de l'efluent.
Efluents verdosos degut al creixement excessiu de microalgues.	La radiació solar i les temperatures elevades afavoreixen el creixement de les microalgues.	Disposar les llacunes en sèrie. Instal·lar algun sistema d'eliminació de les algues (filtres de roques i aiguamolls de flux subsuperficial per exemple). Aplicació d'alúmina en les últimes llacunes (cal aplicar-la en dosis per sota de 20 mg/L perquè no sigui tòxica).

Taula 3.15. Problemes deguts a la presència d'organismes vius superiors en els sistemes de llacunatge. Extret de WPCF (1990b).

Problema	Causa probable	Solució
Creixement de plantes dins de les llacunes.	Poca circulació o profunditat de l'aigua insuficient.	Arrencar o segar les plantes amb una embarcació. Baixar el nivell de l'aigua i arrencar-les o segar-les. Permetre que la superfície de l'aigua es glaci a un nivell baix i fer-la pujar després. El gel que queda surant arrencarà les plantes. Pujar el nivell de l'aigua per sobre de les plantes. Les llentilles d'aigua es poden treure amb xarxes o salabres.
Creixement de plantes als talussos.	Manteniment pobre.	Arrencar-les i plantar gespa. Segar-les periòdicament. Eliminar les plantes amb animals herbívors com les ovelles.
Presència de rosegadors.	Poca circulació i creixement de plantes a les llacunes, els talussos i les rodalies.	Arrencar o segar les plantes. Pujar i baixar el nivell d'aigua cíclicament.
Presència de mosquits.	Poca circulació i manteniment pobre.	Arrencar o segar les plantes de les llacunes i els talussos. Extreure les escumes. Eliminar els mosquits amb peixos carnívors com Gambusia. Aplicació d'un larvicida (cal preveure la possible toxicitat d'aquests productes).

Taula 3.16. Problemes detectables sensitivament i alteracions en els paràmetres físic-químics de qualitat de l'efluent dels sistemes de llacunatge. Extret de WPCF (1990b).

Problema	Causa probable	Solució
Formacions d'escumes.	El fang dipositat al fons puja a la superfície perquè hi ha poca circulació o concentracions elevades d'olis i greixos a l'afluent.	Trencar-les o extreure-les amb un rasclet
Males olors.	Sobrecàrrega, poc cabal o abocament d'aigües residuals d'origen industrial.	Instal·lar aireig mecànic. Remoure diàriament la llacuna amb un bot a motor (això pot fer que les males olors es tornin intenses puntualment). Aplicació de nitrat de sodi. Recircular l'efluent de les llacunes. Eliminar els abocaments industrials.
Sobrecàrrega, baix rendiment. Es pot detectar amb males olors, color gris de l'aigua o masses d'algues en descomposició surant.	Curt circuits, abocaments industrials, dimensionament insuficient, infiltració o condicions climàtiques desfavorables.	Disposar les llacunes en paral·lel. Recircular l'efluent.. Detectar el curt circuit i emplaçar adequadament les entrades i sortides d'aigua. Instal·lar aireig mecànic.
Càrrega baixa. Creixement de filamentoses.	Pot ser només un problema estacional, però també pot ésser degut a un infradimensionament.	Augmentar la càrrega disminuint el nombre de llacunes en ús.
Disminució de l'oxigen dissolt.	Poca penetració de la llum, temps de retenció hidràulic insuficient, sobrecàrrega o abocaments industrials.	Arrencar, segar o recollir les plantes. Disposar les llacunes en paral·lel. Instal·lar aireig mecànic. Recirculació de l'efluent. Aplicació de nitrat de sodi. Evitar els abocaments industrials
Reducció del pH (el pH òptim es troba entre 8,0 i 8,5).	Moren les microalgues i baixa la concentració d'oxigen dissolt. Sobrecàrrega o desenvolupament excessiu d'herbívors que s'alimenten de microalgues.	Determinar si hi ha causes externes que puguin provocar la mort de les microalgues. Disposar les llacunes en paral·lel. Recirculació de l'efluent. Buscar un possible curt circuit. Instal·lar aireig mecànic.
Males olors, disminució de l'oxigen dissolt, condicions anaeròbiques i pH baix.	Manca de vent per la presència de vegetació circumdant que redueix l'aireig superficial. Pot ser també per la forma de les llacunes, per la col·locació dels dispositius d'entrada i sortida, pel creixement de males herbes o per un fons irregular	Podar els arbres fins a uns 150 m de la llacuna en la direcció en què bufa el vent més sovint. Recircular l'efluent i canviar de lloc els dispositius d'entrada i sortida. Arrencar o segar les males herbes. Reomplir el fons irregular.

Taula 3.16. Problemes detectables sensitivament i alteracions en els paràmetres físic-químics de qualitat de l'efluent dels sistemes de llacunatge (continuació). Extret de WPCF (1990b).

Problema	Causa probable	Solució
Condicions anaeròbiques en una llacuna facultativa. Es poden detectar perquè l'efluent presenta nivells elevats de MES, DBO_5 i d'escumes, a més de mala olor i un color fosc.	Sobrecàrrega, curt circuits, manteniment insuficient o abocaments industrials.	Disposar les llacunes en paral·lel. Si la sobrecàrrega és permanent, instal·lar aireig mecànic. Canviar de lloc els dispositius d'entrada i sortida per evitar curt circuits. Recircular l'efluent. Aplicar nitrat de sodi. Eliminar els abocaments industrials.
Males olors en una llacuna anaeròbica, degudes a l'àcid sulfhídric, o a l'emmagatzematge del fangs en condicions sèptiques.	Càrrega orgànica insuficient perquè es formi una capa de fangs en superfície.	Cobrir la superfície de l'aigua amb un polímer fins que es formi una bona capa de fangs

Durant la construcció, abans de col·locar el material de reompliment s'ha d'eliminar la capa de terra vegetal i preparar una fonamentació adequada. El material més impermeable de què es disposi s'ha de col·locar en el centre del dic. En els terrenys poc estables s'ha d'excavar fins a trobar una base ferma que permeti suportar la càrrega imposada pel dic. El reompliment s'ha de fer per etapes successives per obtenir una bona distribució del material. Cada capa de material de reompliment ha de tenir un grau d'humitat òptim per aconseguir una compactació adequada.

A la Taula 3.17 es mostren els costos de construcció i d'explotació i manteniment de les diferents tipologies de llacunes que poden integrar un llacunatge segons Collado (1992).

Taula 3.17. Costos de construcció (incloent els d'adquisició dels terrenys) i manteniment de cadascuna de les tipologies de llacunes que poden integrar un sistema de llacunatge. Extret de Collado (1992). (a) (b)

Població equivalent tractada	Costos de construcció, ptes (1998)/hab·eq			Costos d'explotació, ptes(1998)/hab·eq.any		
	Aeròbica	Facultativa	Anaeròbica	Aeròbica	Facultativa	Anaeròbica
< 200	5 700	23 000	5 700	220	1 000	220
201 · 500	5 700	23 000	5 700	220	850	220
501 · 2000	5 700	17 000	5 700	220	720	220

a) Preus actualitzats segons dades de l'INE.
b) Per calcular els cost previsible d'un sistema de llacunatge caldria veure quines tipologies de llacunes l'integren i aplicar els costos específics mostrats a la Taula.

Els costos de construcció amb terreny inclòs de sistemes de llacunatge per a nuclis d'entre 2 500 i 6 000 hab·eq d'Andalusia formats dues llacunes anaeròbiques i una facultativa són de 10 000 a 12 000 ptes (1998)/hab·eq (Riesco, 1999). Per a nuclis d'entre 4 000 i 14 000 hab·eq d'Andalusia formats dues llacunes anaeròbiques, una facultativa i una aeròbica d'afinament són de 11 000 a 13 000 ptes (1998)/hab·eq (Riesco, 1999). Els costos mitjans d'explotació i

manteniment dels sistemes de llacunatge natural de Catalunya per a aglomeracions de 500 - 2 000 hab·eq són de 640 ptes/hab·eq.any (Mujeriego *et al.*, 1998).

Residus

La matèria en suspensió de l'aigua residual i una part de la biomassa produïda a les llacunes sedimenten, s'espessen i es digereixen anaeròbicament, de manera que al fons de les llacunes es van acumulant fangs que tenen entre 5 i 10 % de matèria seca. Aquests fangs són els principals residus que generen els sistemes de llacunatge. Tanmateix, en un sistema de llacunatge ben dissenyat la producció de fangs és molt baixa. La vegetació que es pot desenvolupar a les vores de les llacunes i en les pròpies llacunes també constitueix un residu.

Les operacions de manteniment que s'han de portar a terme són les següents:

1) Eliminar o segar la vegetació, evitant així en gran mesura la proliferació d'insectes.

2) Extraure els fangs amb una periodicitat que depèn del tipus de llacunes que integrin el procés:

   Llacunes anaeròbiques: es buiden i netegen quan els fangs ocupen una tercera part del volum total de la llacuna (Mara i Pearson, 1998). La periodicitat depèn de la càrrega volumètrica aplicada (sol ser cada 2 - 5 anys). Es recomana buidar-les durant l'estiu i aprofitar els fangs com a adob. Si els fangs fan mala olor, se'ls afegeix cal o fosfat. La producció de fangs és d'entre 0,4 i 0,7 litres per cada m^3 d'aigua residual tractat (Collado, 1992).

   Llacunes facultatives: es solen buidar i netejar després de 10 o més anys de funcionament. Per exemple, el llacunatge de Castelló d'Empúries (Girona) va entrar en servei al desembre de 1988 i encara (1998) no s'han extret els fangs de les dues llacunes facultatives. La producció de fangs és de 1,2 i 1,6 litres per cada m^3 d'aigua residual tractat (Collado, 1992).

   Llacunes aeròbiques: la producció de fangs és d'entre 1 i 2 litres per cada m^3 d'aigua residual aplicat (Collado, 1992).

Rendiments obtinguts

Es poden fer moltes combinacions entre diferents tipus de llacunes per tal d'aconseguir uns determinats objectius de qualitat. Podem posar com a exemples els de la Taula 3.18.

És difícil establir uns rendiments d'eliminació de contaminants mitjans degut a la gran variabilitat que existeix entre els diferents sistemes de llacunatge. Tot i això, els indicats a la Taula 3.19 es poden considerar orientatius.

En condicions aeròbiques té lloc el procés de nitrificació, l'amoníac s'oxida a nitrits i aquests a nitrats, que poden ser assimilats (junt amb l'amoníac) per les microalgues i els bacteris com a font de nitrogen. L'acció solar inhibeix la nitrificació a les capes superiors de les llacunes. En condicions anaeròbiques, es dóna el procés de desnitrificació, en el qual els nitrats es redueixen a nitrogen gas. A les llacunes anaeròbiques, és difícil la formació de nitrats i, per això,

també és difícil que hi hagi desnitrificació (si no és que el nitrat prové de la mateixa aigua residual). L'eliminació de nitrogen és més efectiva en les llacunes facultatives, on es pot produir la nitrificació a la capa aeròbica, difonent-se els nitrats cap a la capa més profunda anaeròbica on té lloc la desnitrificació.

Taula 3.18. Algunes combinacions usuals entre diferents tipus de llacunes que integren els sistemes de llacunatge. Extret d'Hernández *et al.*(1996).

Sistema de depuració		Límit recomanat d'ús	Problemes en el sistema
Llacunes en sèrie:	Anaeròbica Facultativa Aeròbica	< 3 000 hab·eq	Males olors en l'etapa anaeròbica. Mosquits i rosegadors.
Llacunes en sèrie:	Facultativa Facultativa Aeròbica	< 3 000 hab·eq	Menys problemes d'olors (llacunes facultatives).

Taula 3.19. Rendiments d'eliminació mitjans dels contaminants en els sistemes de llacunatge.

Paràmetre	Rendiment d'eliminació	Comentaris
DBO_5	70 - 96 %	···
MES	60 - 90 %	···
Nitrogen	40 · 90 %	···
Fòsfor	30 · 95 %	···
Microcontaminants orgànics	Varia molt segons l'estructura química del microcontaminant	L'eliminació òptima es dóna mentre es conserven les condicions aeròbiques

L'eliminació de fòsfor no és en general un dels objectius dels sistemes de llacunatge. El principal mecanisme d'eliminació de fòsfor és la precipitació I posterior sedimentació dels precipitats. El tipus de llacunes que eliminen millor el fòsfor són les aeròbiques, ja que hi ha un nivell elevat de precipitació i la resolubilització és baixa.

AIGUAMOLLS CONSTRUÏTS

Els aiguamolls construits son sistemes de depuració constituits per llacunes de poca profunditat (reomplertes o no de medi granular), on es desenvolupa una vegetació emergent que té un paper fonamental en el tractament de l'aigua.

Tipologies

a) Aiguamolls naturals: són considerats com a medi receptor i l'aigua que s'hi aboca ha d'haver estat sotmesa com a mínim a un tractament secundari. S'utilitzen només com a tractament d'afinament després d'un tractament secundari o terciari quan s'ha comprovat que l'abocament té un efecte favorable. Els aiguamolls naturals són considerats ecosistemes molt valuosos amb una gran biodiversitat.

b) Aiguamolls construïts: són especialment dissenyats per tractar l'aigua residual. Es classifiquen segons el flux hidràulic en:

Aiguamolls de flux superficial: es tracta de sistemes formats per llacunes o canals en paral·lel, amb el fons impermeable, amb vegetació emergent i normalment poc profunds (0,3 - 0,6 m). El tractament té lloc a nivell de la vegetació, a mesura que l'aigua va passant entre les tiges i arrels.

Aiguamolls de flux subsuperficial: es tracta de sistemes formats per llacunes o canals, amb el fons impermeable, però reomplerts amb un medi granular, on s'arrela la vegetació emergent. En aquest tipus d'aiguamolls, el tractament de l'aigua residual té lloc a nivell de les arrels de les plantes, i del medi granular que les suporta (Figura 3.10).

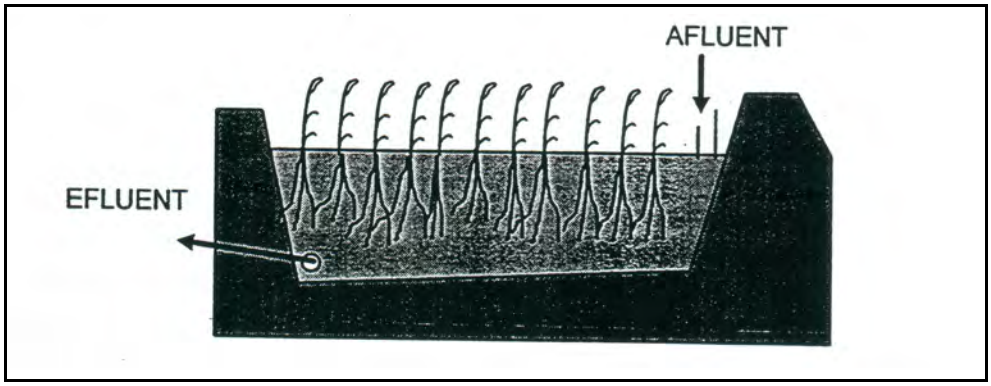


Figura 3.10. Esquema d'un aiguamoll construït de flux subsuperficial. Extret de Collado (1992).

Exigències i requisits.

a) Condicions climàtiques: en augmentar la temperatura fins a un límit determinat, disminueix el temps de permanència necessari per obtenir la mateixa reducció de la DBO_5; temperatures excessivament fredes fan necessari l'emmagatzematge de l'aigua residual.

b) Profunditat del nivell freàtic: ha d'estar sempre per sota de les llacunes amb l'objectiu d'evitar la contaminació dels aqüífers.

c) Pendent: el terreny s'ha d'anivellar per tal d'aconseguir un drenatge adequat. Els talussos dels dics s'han d'igualar; és impossible segar les males herbes si els talussos no estan ben anivellats. Les aigües d'escorriment i els sediments han de desviar-se per tal que no penetrin en els aiguamolls. S'aconsellen sempre pendents inferiors al 5% per aconseguir un funcionament òptim de les instal·lacions.

d) Càrrega orgànica superficial: poden funcionar en un rang de càrrega orgànica superficial molt ampli, entre 2 i 160 kg DBO_5/ha.dia. El aiguamolls de flux subsuperficial solen funcionar amb càrregues de 100 · 150 DBO_5/ha.dia.

e) Permeabilitat: ha de ser baixa. Moltes vegades les llacunes s'han d'impermeabilitzar per evitar la contaminació de les aigües subterrànies, fet que suposa una despesa addicional molt important.

f) Superfície unitària: entre 3 i 7 m^2/hab·eq.

g) Tractament previ: el tractament previ dependrà dels requeriments de l'efluent i de la càrrega contaminant de l'afluent. Tanmateix, es requereix com a mínim pretractament i una decantació primària.

Avantatges

a) Els de flux subsuperficial requereixen de menys superfície que la majoria de tractaments naturals.

b) Bona resposta a les variacions instantànies de càrrega i cabal gràcies a l'efecte regulador de les llacunes.

c) Bona integració en el medi rural.

d) Efluent de bona qualitat: alts rendiments en l'eliminació de DBO_5 (si es projecten adequadament). A més, si es porta a terme una explotació correcta, no hi ha problemes d'algues (de fet als de flux subsuperficial no hi creixen algues).

Disseny

a) Emplaçament.

Topografia: per tal de minimitzar els moviments de terra només és adequada la construcció d'aiguamolls en terrenys amb pendent natural de menys del 5%.

Aiguamolls de flux superficial: es requereix terreny horitzontal o molt lleugerament inclinat.

Aiguamolls de flux subsuperficial: es construeixen amb un pendent de poc més de l'1% (entre 1 i 2 %)

Sòl: són preferibles els sòls poc permeables (de menys de 0,5 cm/h) per tal de minimitzar les pèrdues per infiltració i percolació. Per assolir la impermeabilitat desitjada es pot fer un reompliment amb argila. Tanmateix, aquesta operació pot encarir molt la construcció de l'aiguamoll. Altres opcions són compactar el terreny durant la construcció o utilitzar làmines impermeables.

Ús del terreny: el millor terreny és aquell a les proximitats del qual hi ha aiguamolls naturals. D'aquesta manera, s'assegura que les característiques d'aquest terreny són adequades per a l'obra.

b) Selecció de la vegetació

Les plantes més utilitzades són el canyís (*Phragmites communis*), la boga (*Typha*) i els joncs (*Scirpus*). Es tracta en tots els casos de plantes emergents, arrelades en el sòl (aiguamolls de flux superficial) o en el medi granular (aiguamolls de flux subsuperficial), molt difoses i que són resistents a les glaçades. En els sistemes de flux subsuperficial, no és necessari normalment recol·lectar la vegetació. En els de flux superficial, en canvi, la vegetació seca s'ha de recol·lectar periòdicament.

c) Determinació del nivell de pretractament

El tractament previ dependrà dels requeriments de l'efluent i de la càrrega contaminant de l'afluent. Tanmateix, es requereix com a mínim pretractament i una decantació primària.

d) Càrrega hidràulica

No sol ser un paràmetre de disseny en els aiguamolls, però es tracta d'un paràmetre de comparació entre diferents tecnologies. Normalment es mou en un rang d'entre 0,015 i 0,05 m^3/m^2·dia.

e) Paràmetres de disseny (EPA, 1988; Kadlec i Knight, 1996)

Actualment es disposa de criteris nombrosos i variats per al disseny d'aiguamolls construïts, en aquest document només es mostra una petita part de la informació disponible per mostrar com es dissenyen els aiguamolls. Per obtenir més detalls es pot consultar la bibliografia referenciada.

Temps de retenció hidràulic: aquests sistemes es dissenyen generalment amb l'objectiu d'aconseguir l'eliminació de DBO_5. Els seu temps de retenció hidràulic sol ser d'entre 4 i 15 dies. Amb l'expressió 3 · 23 es pot determinar el temps de retenció d'aiguamolls de flux superficial i amb la 3·25 d'aiguamolls de flux subsuperficial.

Aiguamolls de flux superficial

$$\frac{C_2}{C_1} = A \cdot \exp[-0{,}7 \cdot k_T \cdot (0{,}3048 \cdot A_V)^{1{,}75} \cdot t] \qquad (3\text{-}23)$$

on,

C_2 és la DBO_5 de l'efluent, en mg O_2/L

C_1 és la DBO_5 de l'afluent, en mg O_2/L

A és un valor que es determina empíricament i que representa la fracció de DBO_5 que no s'elimina per decantació a la capçalera del sistema. Normalment s'adopta 0,52

k_T és una constant de cinètica de primer ordre que depèn de la temperatura, en $dies^{-1}$, i que es calcula amb l'expressió 3·24

A_V és l'àrea necessària per a l'activitat microbiològica de degradació de la matèria orgànica, en m^2/m^3. L'experiència disponible recomana adoptar 15,7 m^2/m^3.
t és el temps de retenció hidràulic, en dies

$$k_T = k_{20} \cdot 1{,}1^{(T-20)} \qquad (3\text{-}24)$$

on,
T és la temperatura de l'aigua, en °C
k_{20} és el valor de la constant de cinètica de primer ordre a 20°C, que val 0,0057 $dies^{-1}$

Aiguamolls de flux subsuperficial

$$\frac{C_2}{C_1} = \exp(-k_T \cdot t) \qquad (3\text{-}25)$$

on,
C_2 és la DBO_5 de l'efluent, en mg O_2/L
C_1 és la DBO_5 de l'afluent, en mg O_2/L
k_T és una constant de cinètica de primer ordre que depèn de la temperatura, en $dies^{-1}$ i que es calcula amb l'expressió 3·24
t és el temps de retenció hidràulic, en dies

Determinació de l'àrea de tractament: es pot calcular amb l'expressió 3·26 pels aiguamolls de flux superficial, i les expressions 3·27, 3·28, 3·29 i 3·30 pels aiguamolls de flux subsuperficial.

Aiguamolls de flux superficial

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{A \cdot n \cdot d}{Q} \qquad (3\text{-}26)$$

on,
A és l'àrea de l'aiguamoll, en m^2
n és la proporció de la secció transversal que no està ocupada per plantes
d és la profunditat, en m
Q és el cabal mitjà diari, en m^3/dia

Falta encara determinar la relació longitud/amplada (L/W) òptima. Per fer-ho s'utilitza l'equació de Manning. Normalment s'obtenen aiguamolls més amples que llargs que es divideixen en cel·les en paral·lel que tenen formes més llargues que amples (per millorar el flux d'aigua).

Aiguamolls de flux subsuperficial: es determina en primer lloc la secció transversal a partir de la següent expressió:

$$A_c = \frac{Q}{k_s \cdot h} \qquad (3\text{-}27)$$

on,

A_c és la secció transversal, en m^2

k_s és la conductivitat hidràulica del medi granular, en m/dia

Q és el cabal mitjà diari, en m^3/dia

Una vegada fixada la profunditat, és fàcil determinar l'amplada i la llargada de l'aiguamoll a partir de les següents expressions:

$$W = \frac{A_c}{d} \qquad (3\text{-}28)$$

on,

W és l'amplada, en m

d és la profunditat, en m

A_c és la secció transversal, en m^2

$$t = \frac{L \cdot W \cdot \alpha \cdot d}{Q} \qquad (3\text{-}29)$$

on,

Q és el cabal mitjà diari que s'ha de tractar, en m^3/dia

L és la longitud de la llacuna, en m

W és l' amplada de la llacuna, en m

d és la profunditat de la llacuna, en m

α és la porositat del medi granular

t és el temps de retenció, en dies, i que es relaciona amb la permeabilitat del medi granular i la forma de l'aiguamoll mitjançant l'expressió 3·30:

$$t = \frac{L}{k_s \cdot S} \qquad (3\text{-}30)$$

on,

k_s és la conductivitat hidràulica, en m/dia

S és el pendent longitudinal

A la Taula 3.20 es mostren les característiques més usuals dels materials de reompliment dels aiguamolls construïts de flux subsuperficial.

Taula 3.20. Característiques del material de reompliment utilitzat en els aiguamolls de flux subsuperficial (Cooper *et al.*, 1996).

Tipus de medi	D_{10}, mm	Porositat, α	k_s, m/d
Sorra mitjana	1	42	100
Sorra gruixuda	2	0,39	1 000
Grava	8	0,35	10 000

Profunditat de l'aigua

Aiguamolls de flux superficial : depèn de la vegetació plantada i oscil·la entre 0,3 i 0,6 m. El disseny ha de possibilitar el treball amb diferents profunditats. En climes freds la profunditat sol ser més gran per augmentar el temps de retenció.

Aiguamolls de flux subsuperficial: depèn de la profunditat de penetració de les arrels de les plantes, normalment es troba entre 0,3 i 1 m.

Problemes en l'explotació

Els principals problemes en l'explotació i manteniment dels sistemes d'aiguamolls construïts són bàsicament: 1) obturació dels sistemes de distribució i 2) manca de manteniment en la vegetació (s'han de segar les males herbes i recol·lectar periòdicament la vegetació plantada).

Despeses

A la Taula 3.21 es mostren els costos unitaris de construcció i d'explotació i manteniment dels aiguamolls construïts de flux subsuperficial segons el rang poblacional tractat. Els costos més significatius són els d'adquisició del terreny, el seu condicionament, la sembra de la vegetació i, pels sistemes de flux subsuperficial, el medi granular de reompliment.

Els costos de construcció d'un aiguamoll de flux subsuperficial per una aglomeració de 60 hab·eq a Catalunya van ser de 50 000 ptes/hab·eq (García *et al.*, 1997).

Taula 3.21. Costos de construcció (incloent els d'adquisició dels terrenys) i manteniment dels aiguamolls construïts de flux subsuperficial. Extret de Collado (1992). (a) (b)

Població equivalent	Costos de construcció, ptes (1998)/hab·eq	Costos d'explotació, ptes (1998)/hab·eq.any
100 · 200	36 000	1 200
500 · 2000	28 800	1 000

a) Preus actualitzats segons dades de l'INE.
b) Els costos dels aiguamolls construïts de flux superficial són similars als de les llacunes aeròbiques mostrats a la Taula 3.17. No s'indiquen específicament perquè aquest tipus d'aiguamolls es solen utilitzar com a tractament d'afinament (terciari).

Residus

Les operacions d'evacuació de residus són únicament les originades per la recol·lecció periòdica de la vegetació (cada 3 - 4 anys en els de flux superficial) i les dels tractaments previs. En els aiguamolls de flux superficial s'ha d'evitar que la vegetació quedi surant a la superfície de la llacuna. En els de flux subsuperficial la vegetació no es recull normalment, a no ser que el desenvolupament sigui exagerat.

Rendiments obtinguts

Els rendiments obtinguts en les instal·lacions d'aiguamolls construïts són similars als del llacunatge natural (veure Taula 3.19). Tanmateix, la tipologia de flux subsuperficial permet una major eliminació de sòlids en suspensió i, en alguns casos, una eliminació més efectiva de fòsfor. En canvi, tenen una capacitat menor per eliminar nitrogen (si no es projecten expressament per fer-ho).

LLITS DE TORBA

Consisteix en una excavació en el terreny reomplerta de torba, a través de la qual circula l'aigua residual en sentit vertical descendent. La torba té un gruix de 50 cm i descansa sobre una capa prima de sorra d'uns 15 cm, que està alhora sobre una capa de grava també d'uns 15 cm (Figura 3.11).

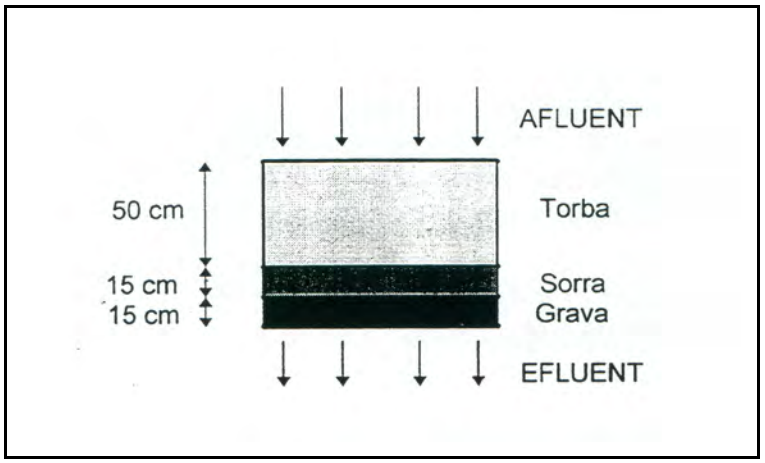


Figura 3.11. Esquema de funcionament d'un llit de torba.

L'aigua residual aplicada es filtra a través de la torba i després travessa les capes de sorra i de grava. Un dispositiu de drenatge recull l'efluent a la base del sistema. L'aigua residual s'aplica durant un període de temps limitat, que sol ser de 10 dies, de manera que aquestes instal·lacions disposen sempre de dos o més llits. Després de cada aplicació s'ha de retirar la matèria en suspensió retinguda a la superfície de la torba.

Tipologies

a) D'una sola etapa de filtració.

b) De dues etapes de filtració: s'utilitzen dos llits de torba en sèrie. El primer té només uns centímetres de torba, per la qual cosa exigeix un manteniment més constant, mentre que el segon, té una capa de torba d'unes desenes de centímetres.

Exigències i requisits

a) Condicions climàtiques: no imposen en general grans limitacions. Tanmateix, quan la temperatura baixa per sota de 0°C es produeix la congelació de la superfície de la torba i no és aconsellable aplicar aigua residual (que s'ha d'emmagatzemar per aplicar-la posteriorment).

b) Profunditat del nivell freàtic: ha d'estar sempre per sota del fons de les llacunes per evitar la contaminació dels aqüífers.

c) Pendents: no imposen grans limitacions, la superfície de tractament és baixa.

d) Càrrega hidràulica anual: entre 250 i 350 m^3/m^2.any.

e) Càrrega orgànica superficial: entre 2500 i 3000 kg DBO_5/ha.dia

f) Permeabilitat: és preferible disposar d'un terreny impermeable. Tanmateix, com que les superfícies de tractament no són massa grans, la seva impermeabilització no suposa una despesa addicional massa elevada.

g) Superfície unitària: entre 0,2 i 0,3 m^2/hab-eq.

Avantatges

a) Explotació i manteniment més complexos que a la resta de sistemes de tractament naturals.

b) Funcionament independent de la temperatura.

c) Fàcilment adaptable a variacions instantànies de cabal i de càrrega. Molt útil en cas d'estacionalitat molt marcada.

d) Necessitat de poca superfície en relació amb els altres sistemes de tractament natural.

Disseny

A la Taula 3.22 es mostren els principals paràmetres de disseny d'aquest tipus d'instal·lacions.

Taula 3.22. Paràmetres de disseny dels llits de torba (Collado, 1992).

Paràmetre	Valor
Vida útil	10 anys
Període de funcionament i recuperació	10 a 20 dies
Nombre d'unitats	2
Relació longitud/amplada	No afecta el tractament
Gruix total del llit	0,8 m

Problemes en l'explotació

Els principals problemes que poden donar-se en instal·lacions d'aquest tipus són bàsicament: 1) l'emissió de males olors i 2) la proliferació de mosquits. Ambdós problemes es poden solucionar reduint la càrrega orgànica superficial, fent funcionar dos o més llits simultàniament.

Despeses

Les partides fonamentals són la construcció dels llits, col·locant les capes dels diferents materials que s'han descrit anteriorment, i la construcció dels dispositius de recollida de les aigües tractades. A la Taula 3.23 es mostren els valors típics de les despeses de construcció i de manteniment i explotació d'aquest tipus d'instal·lacions segons Collado (1992).

Taula 3.23. Costos de construcció (incloent els d'adquisició dels terrenys) i d'explotació i manteniment dels llits de torba. Extret de Collado (1992). (a) (b)

Població equivalent	Costos de construcció, ptes (1998)/hab·eq	Costos d'explotació i manteniment, ptes (1998)/hab·any
< 100	60 000	4 500
101 · 200	55 000	3 600
201 · 500	47 000	3 300
501 · 1000	32 000	2 900
1001 · 2000	29 000	2 500

a) Preus actualitzats segons dades de l'INE.
b) Són preus orientatius ja que a Catalunya no es disposa d'experiència i els valors mostrats semblen una mica lluny del rang previsible.

Un llit de torba construït a San Nicolás del Puerto (Andalusia) per a 3 000 hab·eq va tenir un cost d'inversió incloent l'adquisició del terreny de 13 000 ptes (1998)/hab·eq (Riesco, 1999). Les despeses d'explotació d'un llit de torba construït a Grazalema (Andalusia) per a 3 500 hab·eq són de 800 ptes (1998)/hab·eq·any (Riego, 1999).

Cal indicar que els llits de torba són els sistemes de tractament natural que poden presentar majors costos de construcció i manteniment, no obstant, també són alhora els que requereixen una superfície unitària inferior.

Residus

La producció de fangs és baixa, i a més queden retinguts en la seva major part a la capa superior de torba. Per tant, la seva evacuació és immediata quan es porta a terme la renovació per capes d'aquest material.

Rendiments obtinguts

Els fenòmens de tractament de l'aigua residual que tenen lloc als llits de torba són de tipus físic, químic i microbiològic: filtració, sedimentació, floculació, adsorció, absorció, intercanvi iònic i oxidació de la matèria orgànica. A la Taula 3.24, es recullen els rendiments mitjans d'eliminació de contaminants per aquest tipus d'instal·lacions.

Taula 3.24. Rendiments d'eliminació de contaminants aconseguits amb els llits de torba.

Paràmetre	Eliminació (%)	Comentaris
DBO_5	85 - 90	Adsorció Degradació microbiana
MES	80 - 95	Sedimentació Filtració
Nitrogen	20 - 70	Degradació microbiana
Fòsfor	20 - 25	Precipitació química
Coliforms fecals	> 99	Inactivació

QUADRES RESUM DELS TRACTAMENTS NATURALS

A continuació es mostren les característiques més importants de cadascun dels sistemes de tractament natural.

Filtres Verds

Tipologies

c) Tipus I, té com objectiu principal tractar l'aigua.
d) Tipus II, té com a objectiu regar cultius (reutilització).

Exigències

a) Cal emmagatzematge de l'aigua residual per sota de 0°C
b) Profunditat del nivell freàtic: entre 0,6 i 0,9 m
c) Pendent: menys del 15% en terreny cultivat i del 40% en terreny forestal.
d) Càrrega hidràulica anual: entre 1,7 i 6,1 $m^3/m^2 \cdot$any
e) Càrrega orgànica superficial: entre 3 i 11 kg DBO_5/ha.dia
f) Permeabilitat del sòl: superior a 0,15 cm/h
g) Superfície unitària: entre 15 i 50 m^2/hab·eq
h) Tractament previ: pretractament i tractament primari per als de tipus I i variable (més intens) segons el cultiu per als de tipus II.
i) Necessitat de vegetació preexistent.
j) Aigua residual biodegradable i amb pocs tòxics.
k) Efluent: es pot recuperar si és necessari mitjançant drens.

Avantatges

a) Permet la reutilització de l'aigua residual per al rec (tipus II).
b) Contribueix a la recàrrega d'aqüifers.
c) Poc limitat pel pendent del terreny.

Factors de disseny

a) Emplaçament
b) Selecció del cultiu..
c) Determinació del nivell de pretractament.
d) Sistema de distribució (aspersió, inundació o canonada perforada).
e) Determinació de la càrrega hidràulica.
f) Determinació de la superfície necessària.
g) Necessitats d'emmagatzematge.
h) Control del procés.

Problemes en l'explotació

a) Irregularitats en el cultiu.
b) Irregularitats en el bombament.
c) Problemes en l'aplicació de l'aigua residual.
d) Erosió del terreny, males olors, problemes amb els aspersors, augment de la concentració de nitrats de les aigües subterrànies.

Despeses

a) Adquisició i condicionament del terreny.
b) Sistema de distribució
c) Sistemes d'emmagatzematge..
d) Despeses de construcció: entre 25 000 i 65 000 ptes/hab·eq segons el rang poblacional (incloent l'adquisició del terreny).
e) Despeses d'explotació i manteniment: aproximadament 800 ptes/hab·eq.any

Residus

a) Cultius recol·lectats.
b) Procedents del tractament previ.

Rendiments d'eliminació

a) DBO_5 : 94 · 99 %
b) Nitrogen: 65 · 95 %
c) Fòsfor: 75 · 99 %
d) Microcontaminants orgànics: Depèn del tipus de microcontaminant.
e) Patògens: > 99,99 %

Sistemes d'Infiltració Ràpida

Tipologies
- a) Llacunes d'extensió.
- b) Aspersió.

Exigències
- a) Cal emmagatzematge de l'aigua per sota de 0°C
- b) Profunditat del nivell freàtic: com a mínim 3 m
- c) Pendent: menys del 40%
- d) Càrrega hidràulica anual: entre 6 i 90 m^3/m^2.any
- e) Càrrega orgànica superficial: entre 45 i 158 kg DBO_5/ha.dia
- f) Permeabilitat del sòl: superior a 2,5 cm/h
- g) Superfície unitària: entre 4 i 10 m^2/hab·eq
- h) Tractament previ: pretractament (eliminació de fins i de greixos, desengreixat segons el cas) i decantació primària com a mínim.
- i) Vegetació: només en els sistemes per aspersió.

Avantatges
- a) Recàrrega d'aqüífers si no hi ha recuperació.
- b) Superfície de tractament molt menor en comparació als filtres verds.

Factors de disseny
- a) Emplaçament.
- b) Determinació del nivell de pretractament.
- c) Sistema de distribució (aspersió o llacunes d'extensió).
- d) Determinació de la càrrega hidràulica.
- e) Durada dels períodes d'aplicació i repòs.
- f) Determinació de la superfície necessària.
- g) Disseny de l'àrea d'infiltració.
- h) Necessitats d'emmagatzematge.
- i) Control del procés.

Problemes en l'explotació
- a) Irregularitats en el cultiu.
- b) Irregularitats en el bombament.
- c) Problemes en l'aplicació de l'aigua residual.
- d) Erosió del terreny, males olors, problemes amb els aspersors, augment de la concentració de nitrats.

Despeses
- a) Adquisició i condicionament del terreny.
- b) Sistemes d'emmagatzematge de l'aigua residual.
- c) Despeses de construcció: aproximadament 3 000 ptes/hab·eq per un rang 1 000 · 2 000 hab·eq, incloent l'adquisició del terreny.
- d) Despeses d'explotació i manteniment: aproximadament 700 ptes/hab·eq.any per 1 000 · 2 000 hab·eq.

Residus
- a) Procedents del tractament previ.

Rendiments d'eliminació
- a) DBO_5 : 80 · 99 %
- b) Nitrogen: 10 · 80 %
- c) Fòsfor: 29 · 99 %
- d) Microcontaminants orgànics: depèn del tipus de microcontaminant i del sòl.
- e) Microorganismes indicadors de contaminació fecal: entre 2 i 6 ordres de magnitud.
- f) Virus: entre 2 i 4 ordres de magnitud.

Sistemes d'Escorriment Superficial

Exigències

a) Cal emmagatzematge de l'aigua per sota de 0°C
b) Profunditat del nivell freàtic: no és crítica.
c) Pendent: el funcionament òptim té lloc en pendents d'entre 1 i 8 %
d) Càrrega hidràulica anual: entre 7 i 57 m^3/m^2.any
e) Permeabilitat del sòl: molt baixa (sòls argilosos o amb barreres impermeables).
f) Superfície unitària: entre 5 i 15 m^2/hab·eq
g) Tractament previ: pretractament obligatori (eliminació de fins i grollers desengreixat segons el cas) i decantació primària recomanable.
i) Vegetació: gespes hidròfiles.

Avantatges

a) Molt poc influenciat per les característiques del terreny (tot i que és necessari que aquest sigui prou impermeable).

Factors de disseny

a) Emplaçament.
b) Selecció del cultiu.
c) Determinació del nivell de tractament previ.
d) Sistema de distribució (canonada perforada i aspersió).
e) Paràmetres de disseny: velocitat d'aplicació, llargada del pendent i cicle d'operació.
f) Determinació de la superfície necessària.
g) Necessitats d'emmagatzematge.
h) Control del procés.

Problemes en l'explotació

a) Irregularitats en el cultiu.
b) Irregularitats en el bombament.
c) Problemes en l'aplicació de l'aigua residual.
d) Erosió del terreny, males olors i problemes amb els aspersors.

Despeses

a) Adquisició i condicionament del terreny.
b) Construcció de la xarxa de distribució.
c) Despeses de construcció: entre 8 000 i 80 000 ptes/hab·eq (es té una experiència molt limitada). 7 400 ptes/hab·eq en un sistema d'Andalusia per a 174 hab·eq.
d) Despeses d'explotació i manteniment: entre 200 i 800 ptes/hab·eq•any (experiència limitada).

Residus

a) Procedents de la recol·lecció dels cultius.
b) Procedents dels tractaments previs.

Rendiments d'eliminació

a) Generalment més baixos que els obtinguts amb els altres sistemes de tractament naturals. Es recomana utilitzar aquesta tecnologia com un tractament addicional o d'afinament.

Llacunatges Naturals

Tipologies
- a) Llacunatges airejats (amb alguna llacuna amb aireig artificial).
- b) Llacunatges naturals (cap llacuna té aireig artificial).

Tipus de llacunes
- a) Llacunes aeròbiques, anaeròbiques, facultatives i airejades.

Exigències
- a) Funcionament òptim entre 10 i 37°C. Més sensible a la temperatura que els sistemes naturals basats en el sòl.
- b) Profunditat del nivell freàtic: sempre per sota del fons de les llacunes.
- c) Pendent: inferior al 5%
- d) Càrrega orgànica superficial: varia molt segons el tipus de llacuna. Es recomana que la càrrega total d'un sistema de llacunatge no superi 50 · 70 kg DBO_5/ha.dia
- e) Permeabilitat del sòl: molt baixa (sòls argilosos o amb barreres impermeables).
- f) Superfície unitària: entre 8 i 12 m^2/hab·eq
- g) Tractament previ: com a mínim pretractament (eliminació de grollers i de fins).
- h) Requeriments energètics si s'utilitzen llacunes airejades.

Avantatges
- a) Absorbeix bé els pics instantanis de càrrega contaminant.
- b) Fàcil integració en el medi rural.
- c) Pot constituir un recurs ambiental ja que té capacitat per promoure la fauna.

Factors de disseny
- a) Emplaçament.
- b) Determinació del nivell de tractament previ.
- c) Sistema de distribució (entrada i sortida de l'aigua i connexions entre llacunes).
- d) Determinació de la superfície necessària.
- e) Necessitats d'emmagatzematge.
- f) Control del procés.

Problemes en l'explotació
- a) Creixement excessiu de microalgues i éssers vius superiors
- b) Presència d'escumes, olors i alteració dels paràmetres físic-químics de l'efluent.

Despeses
- a) Adquisició i condicionament del terreny.
- b) Despeses de construcció:
  - Llacunatge amb 1 llacuna facultativa i 2 aeròbiques: 28 400 ptes/hab·eq per un rang d'entre 500 i 2 000 hab·eq, i 34 000 per menys de 500 hab·eq.
  - Llacunatge amb 1 llacuna anaeròbica i 3 llacunes aeròbiques: 22 800 per aglomeracions de fins a 2 000 hab·eq.
- c) Despeses d'explotació i manteniment:
  - Llacunatge amb 1 llacuna facultativa i 2 aeròbiques: 1 440 ptes/hab·eq.any per un rang d'entre 500 i 2 000 hab·eq, 1 290 ptes/hab·eq.any per un rang d'entre 200 i 500 hab·eq, i 1 160 ptes/hab·eq.any per menys de 200 hab·eq.
  - Llacunatge amb 1 llacuna anaeròbica i 3 llacunes aeròbiques: 880 ptes/hab·eq.any per aglomeracions de fins a 2 000 hab·eq.
  - Llacunatges de Catalunya (4 llacunes, 500 · 2 000 hab·eq): 640 ptes/hab·eq.any.

Residus
- a) Fangs dipositats al fons de les llacunes. S'extrauen amb poca periodicitat.
- b) Vegetació que es pot desenvolupar a les vores de les llacunes i en el seu interior.

Rendiments d'eliminació
- a) DBO_5 : 70 · 96 %
- b) MES: 60 · 90 %
- c) Nitrogen: 40 · 90 %
- d) Fòsfor: 30 · 95 %
- e) Microcontaminants orgànics: depèn de l'estructura del microcontaminant.

Aiguamolls Construïts

Tipologies

a) Aiguamolls naturals (només com a medi receptor i millora de la qualitat d'efluents d'EDAR).
b) Aiguamolls construïts (de flux superficial i de flux subsuperficial).

Exigències

a) Funcionament òptim entre 10 i 37°C els de flux superficial. Els de flux subsuperficial poden funcionar bé amb temperatures properes a 0°C.
b) Profunditat del nivell freàtic: sempre per sota del fons de les llacunes.
c) Pendent: inferior al 5%
d) Càrrega orgànica superficial: rang molt ampli entre 2 i 160 kg DBO_5/ha.dia. Els de flux subsuperficial solen funcionar amb 100 · 150 Kg DBO_5/ha.dia
e) Permeabilitat del sòl: molt baixa (sòls argilosos o amb barreres impermeables).
f) Superfície unitària: entre 3 i 7 m^2/hab·eq
g) Tractament previ: com a mínim pretractament i decantació primària.

Avantatges

a) Els de flux subsuperficial requereixen de menys superfície que la majoria dels tractaments naturals.
b) Bona resposta a les variacions instantànies de càrrega i cabal.
c) Fàcil integració en el medi rural.
d) Els de flux superficial poden constituir un recurs ambiental ja que tenen capacitat per promoure la fauna.
e) Efluents de bona qualitat.

Factors de disseny

a) Emplaçament.
b) Selecció de la vegetació (canyís, boga i joncs).
c) Determinació del nivell de tractament previ.
d) Determinació de la càrrega hidràulica.
e) Paràmetres de disseny (temps de retenció hidràulics, àrea de tractament, profunditat de l'aigua).

Problemes en l'explotació

a) Obturació dels sistemes de distribució.
b) Manca de manteniment de la vegetació.

Despeses

a) Adquisició i condicionament del terreny.
b) Despeses de construcció dels de flux subsuperficial: 28 000 ptes/hab·eq per rangs de població d'entre 500 i 2 000 hab·eq, 36 000 ptes/hab·eq per rangs d'entre 100 i 200, i fins a 50 000 ptes/hab·eq per menys de 100 hab·eq
c) Despeses d'explotació i manteniment: entre 1 000 i 1 200 ptes/hab·eq.any depenent del rang poblacional.

Residus

a) Fangs dipositats al fons de les llacunes (flux superficial).
b) Recol·lecció de la vegetació, sobretot als de flux superficial.
c) Fangs procedents dels tractaments previs.

Rendiments d'eliminació

a) DBO_5 : 70 · 96 %
b) MES: 60 · 90 %
c) Nitrogen: 40 · 90 % (40 · 50 % els de flux subsuperficial)
d) Fòsfor: 30 · 95 %
e) Microcontaminants orgànics: depèn de l'estructura del microcontaminant.

Llits de Torba

Tipologies
- a) D'una sola etapa de filtració.
- b) De dues etapes de filtració.

Exigències
- a) Cal emmagatzematge de l'aigua per sota de 0°C.
- b) Profunditat del nivell freàtic: sempre per sota del fons de les llacunes.
- c) Pendent: no imposen limitacions ja que requereixen de poca superfície.
- d) Càrrega hidràulica anual: entre 250 i 350 m^3/m^2.any
- e) Càrrega orgànica superficial: entre 2500 i 3000 kg DBO_5/ha.dia
- f) Permeabilitat del sòl: molt baixa (sòls argilosos o amb barreres impermeables).
- g) Superfície unitària: entre 0,2 i 0,3 m^2/hab·eq

Avantatges
- a) Funcionament bastant independent de les condicions climàtiques.
- b) Fàcilment adaptables a variacions instantànies de cabal i de càrrega.
- c) Superfície necessària comparable a la que requereixen els tractaments convencionals. Són els tractaments naturals amb majors despeses de construcció i d'explotació i manteniment.

Factors de disseny
- a) Vida útil.
- b) Cicle d'operació.
- c) Número d'unitats.
- d) Relació longitud/amplada.
- e) Gruix del llit.

Problemes en l'explotació
- a) Emissió de males olors.
- b) Proliferació de mosquits.

Despeses
- a) Construcció de les llacunes.
- b) Construcció dels dispositius de recollida de les aigües tractades.
- c) Despeses de construcció: varien molt en funció de la població tractada; per aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq solen oscil·lar entre 30 000 i 60 000 ptes/hab·eq (són normalment les més elevades de tots els sistemes naturals). Les despeses de construcció d'un llit de torba a San Nicolás del Puerto (Andalusia) per a 3 000 hab·eq van ser de 13 000 ptes/hab·eq.
- d) Despeses d'explotació i manteniment: entre 2 500 i 4 500 ptes/hab·eq.any (són normalment les més elevades de tots els sistemes naturals). Les despeses d'explotació d'un llit de torba a Grazalema (Andalusia) per a 3 500 hab·eq són de 800 ptes/hab·eq.any.

Residus
- a) Fangs dipositats a sobre mateix de la torba.
- b) Fangs procedents dels tractaments previs.

Rendiments d'eliminació
- a) DBO_5 : 85 · 90 %
- b) MES: 80 · 95 %
- c) Nitrogen: 20 · 70 %
- d) Fòsfor: 20 · 25 %

CAPÍTOL 4

TRACTAMENTS CONVENCIONALS

En aquest capítol es revisen els principals sistemes de tractament convencional de l'aigua residual: 1) fangs activats, 2) biodiscs i 3) filtres percoladors. Per cadascun d'aquests sistemes, es descriu el funcionament, les tipologies existents i els criteris a seguir en el seu disseny. També s'avalua els avantatges i els inconvenients que comporten, els problemes en la seva explotació, les despeses d'inversió i d'explotació i manteniment que suposen, els residus generats i els rendiments d'eliminació de contaminants que assoleixen.

FANGS ACTIVATS

Els sistemes biològics de depuració consisteixen en la conversió de la matèria orgànica dissolta en matèria orgànica particulada (microorganismes) que després es separa de l'aigua (per exemple per sedimentació).

Els processos de fangs activats consisteixen en la introducció de l'aigua residual (procedent o no d'un tractament primari) en un reactor que conté un cultiu bacterià en suspensió. Les reaccions bioquímiques que tenen lloc són (Metcalf i Eddy, 1991):

a. Oxidació i síntesi

$$\text{matèria orgànica} + O_2 + \text{nutrients} + \text{microorganismes} \rightarrow CO_2 + NH_3 + \text{nous microorganismes} \quad (4\text{-}1)$$

b. Respiració endògena

$$\text{microorganismes} + 5\ O_2 \rightarrow 5\ CO_2 + 2\ H_2O + NH_3 + \text{energia} \quad (4\text{-}2)$$

Aquestes reaccions són aeròbiques i per tant el reactor s'ha d'airejar artificialment. Després d'un temps de retenció determinat al reactor, l'aigua passa generalment a un decantador, on la matèria orgànica particulada (microorganismes) sedimenta separant-se així de l'aigua tractada. La matèria orgànica particulada rep el nom genèric de fangs. Una part dels fangs es recirculen per tal de mantenir la concentració de bacteris en el reactor. La part restant es purga, és a dir, s'extrau del sistema.

Tipologies

D'acord amb Hernández *et al.* (1996) es poden distingir les següents tipologies:

a) Flux en pistó: consisteix en un tanc d'aireig de flux en pistó, un decantador secundari i una línia de retorn de fangs. L'aigua i el fang de retorn (o de recirculació) entren per un extrem del reactor i són airejats mentre circulen en sentit unidireccional. La concentració de bacteris, la càrrega orgànica i la demanda d'oxigen canvien al llarg del tanc. L'aireig pot ser mecànic (turbines) o per difusors (Figura 4.1).

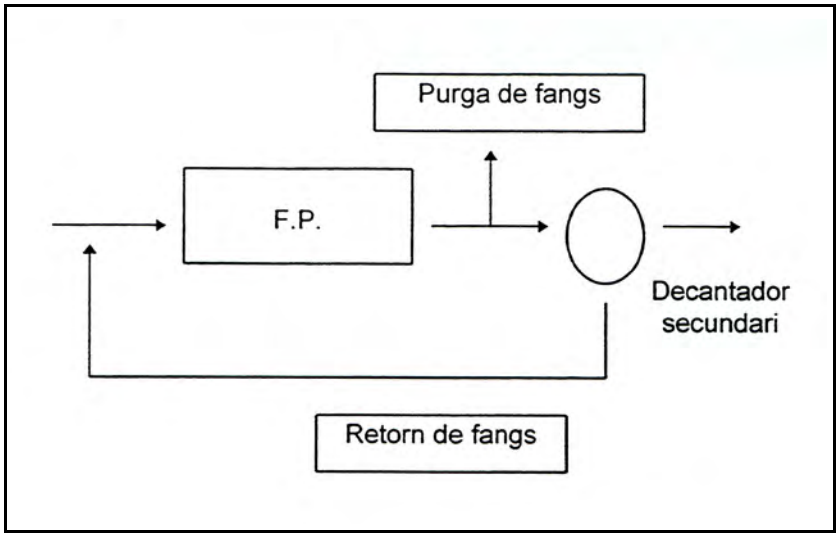


Figura 4.1. Esquema d'un tractament de fangs activats amb reactor de flux en pistó.

b) Mescla completa (convencional): té un esquema similar al flux en pistó, tanmateix, el reactor té una concentració de bacteris, d'oxigen i de matèria orgànica homogènia en tot el tanc (Figura 4.2).

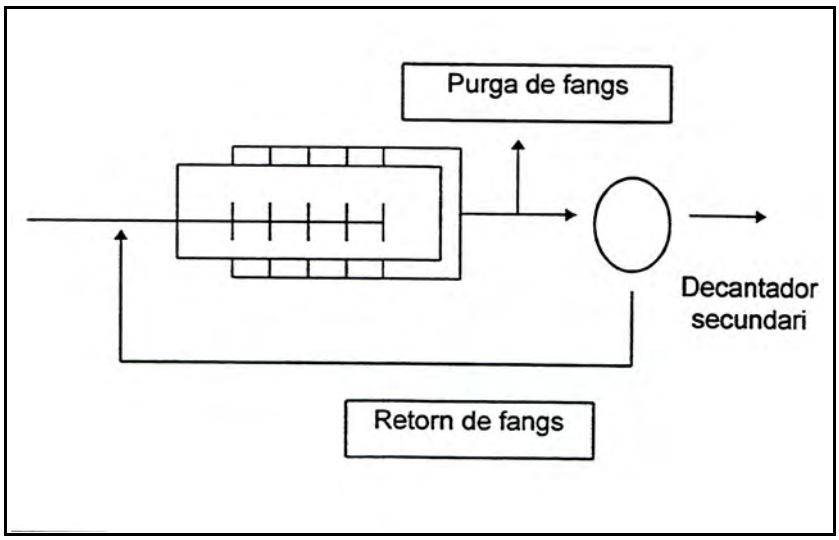


Figura 4.2. Esquema d'un tractament de fangs activats amb reactor de mescla completa.

c) Alimentació esgraonada: és una modificació del sistema de flux en pistó per tal de millorar l'aprofitament de l'aireig de l'aigua. L'aigua residual s'introdueix en diferents punts i d'aquesta manera s'iguala la càrrega màssica en tot el tanc. Amb aquesta modificació s'aconsegueix disminuir la demanda punta d'oxigen a l'inici del reactor (Figura 4.3).

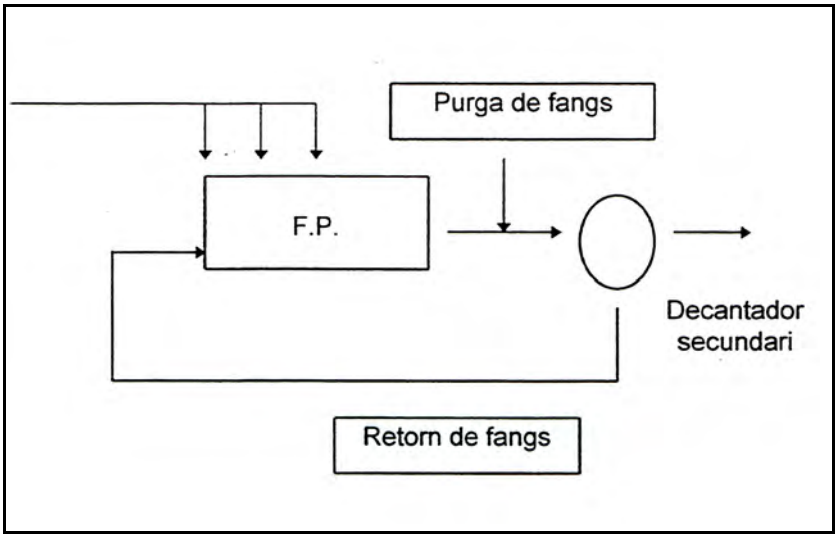


Figura 4.3. Esquema d'un tractament de fangs activats amb alimentació esgraonada.

d) Aireig perllongat: el cultiu bacterià del reactor es troba en fase de respiració endògena, de manera que requereix una càrrega orgànica relativament baixa i un període d'aireig llarg. Aquestes característiques donen lloc a tancs de gran volum. Per aquesta raó aquest sistema s'aplica només per a petites comunitats. Sovint per simplificar el procés, no es porta a terme decantació primària.

e) Processos de doble etapa: utilitzen dos processos de fangs activats de mescla completa en sèrie. Són útils quan l'aigua té una càrrega orgànica elevada.

f) Aireig d'alta càrrega: és una modificació del sistema de mescla completa que permet reduir el volum del reactor sense alterar el rendiment del tractament. L'alta càrrega volumètrica es combina amb una elevada recirculació, de manera que el temps de permanència cel·lular és bastant elevat (de 7 a 12 dies).

g) Sistemes d'oxigen pur: s'injecta oxigen pur en lloc d'aire per millorar la transferència d'oxigen. El seu ús sol restringir-se al cas en què l'espai disponible per a la planta és limitat (que no sol ser el cas de petites comunitats), ja que té despeses d'explotació i manteniment bastant elevades.

h) Canal d'oxidació: és una variant del procés d'aireig perllongat. Consisteix en un canal, en forma d'anell o d'oval, de 1 a 2 m de profunditat, en el qual es col·loca un rotor d'eix horitzontal que proporciona l'oxigen necessari i fa circular l'aigua a una velocitat entre 0,3 i 0,6 m/s. Generalment no es porta a terme decantació primària (Figura 4.4).

i) Reactors de flux seqüencial: funcionen de forma discontínua combinant períodes d'emplenat, reacció, sedimentació i buidatge. Tenen com a gran avantatge el fet de què en un mateix dipòsit té lloc el tractament de l'aigua i la sedimentació del fang. A més tenen una gran capacitat per eliminar nutrients.

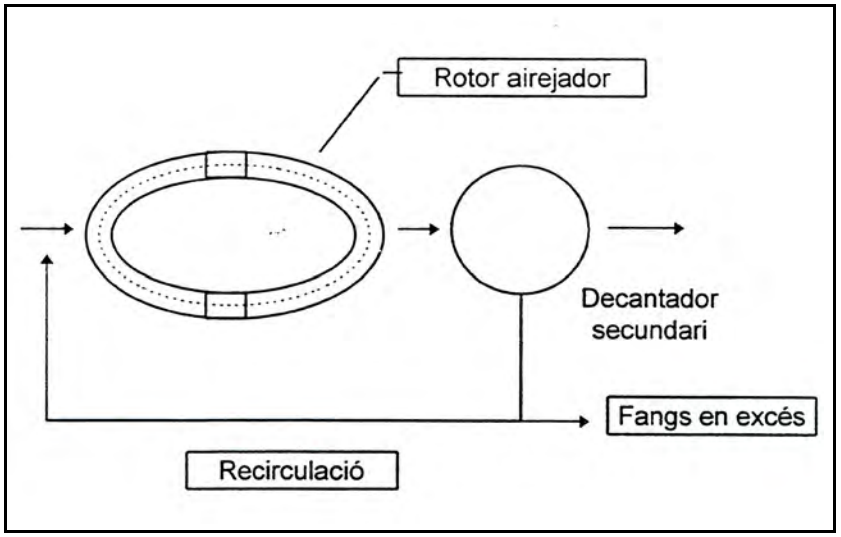


Figura 4.4. Esquema de fangs activats amb canal d'oxidació.

Exigències i requisits

a) Temperatura: la velocitat de les reaccions bioquímiques d'oxidació de la matèria orgànica augmenta amb la temperatura. D'altra banda, temperatures massa elevades fan que el procés no funcioni en condicions òptimes. El rang de temperatura ideal és de 12 a 38°C. De totes maneres, no són tan sensibles com la majoria de sistemes naturals a les baixes temperatures.

b) Tractament previ: eliminació de grollers i de fins. El tractament primari és recomanable però no indispensable.

c) pH i alcalinitat: són molt importants sobretot quant als processos d'eliminació de nitrogen per nitrificació i desnitrificació. No es poden assolir valors de pH massa baixos perquè es pot inhibir el creixement dels bacteris nitrificants.

d) El reactor ha de tenir una agitació suficient per garantir que els bacteris i la matèria orgànica entrin en contacte.

e) Inhibidors del creixement: els enzims cel·lulars poden reduir la seva activitat en presència a l'aigua d'algunes sals insolubles, ions de metalls pesats, reactius alcaloides, clor i els seus derivats. S'han d'evitar grans concentracions de sals o d'elements que puguin inhibir el procés

f) Quantitat mínima de nutrients: el procés tindrà lloc sempre que no hi hagi manca d'algun element limitant per al creixement dels microorganismes.

Les aigües residuals domèstiques solen ser completament biodegradables i solen tenir una composició nutricional relativament equilibrada. Alguns abocaments industrials no són així. Les condicions més adequades per tal que una aigua residual pugui depurar-se biològicament són:

$$\frac{DBO_5}{N_T} = \frac{100}{5} \qquad (4\text{-}3)$$

$$\frac{DBO_5}{P_T} = \frac{100}{1} \qquad (4\text{-}4)$$

g) Superfície unitària: 0,2-1,0 m^2/hab·eq (aireig perllongat), incloent reactor i decantador secundari.

Avantatges

a) Requereixen menys superfície unitària que qualsevol dels sistemes naturals de tractament.

b) Els sistemes d'aireig perllongat i els canals d'oxidació produeixen poca quantitat de fangs (Collado, 1992) i a més es troben parcialment digerits.

c) Els processos d'aireig perllongat i sobretot els canals d'oxidació i els reactors de flux seqüencial tenen molt bon comportament enfront de les variacions de cabal i de càrrega (Collado, 1992; Escaler, 1997).

d) Els canals d'oxidació són molt econòmics en cas de disposar de la superfície suficient.

e) Els reactors de flux seqüencial tenen una gran flexibilitat per adaptar-se a diferents exigències de qualitat de l'aigua, com pot ser per exemple l'eliminació de nutrients (Escaler, 1997).

Disseny

a) Selecció del tipus de reactor quan el flux es continu.

Hi ha bàsicament dos tipus de reactors: 1) de mescla completa i 2) de flux en pistó.

Des d'un punt de vista cinètic, els reactors de flux en pistó són més efectius que els de mescla completa. Tanmateix, s'han de tenir molt en compte les necessitats d'oxigen per a la selecció. En alguns reactors de flux en pistó no es pot satisfer la demanda d'oxigen en tot el reactor. És per això que s'ha efectuat la modificació d'alimentació esgraonada (que permet adaptar l'aire subministrat a la demanda desenvolupada al llarg del tanc). En molts llocs, s'ha utilitzat el reactor de mescla completa perquè és capaç d'adaptar-se més fàcilment a les oscil·lacions de la quantitat i la qualitat d'aigua que hi arriba. Aquest és en general el cas de les petites aglomeracions, on es produeixen grans canvis del cabal i de la càrrega contaminant dels afluents.

b) Control del procés: el desenvolupament de bacteris filamentosos constitueix el problema més comú en el procés de fangs activats. Si n'hi ha en grans quantitats, el resultat és un fang poc sedimentable. Una solució per evitar la proliferació d'organismes filamentosos és la construcció d'un reactor aïllat, de temps de permanència baix (entre 10 i 30 min), anomenat selector, on hi ha una floculació molt ràpida de la matèria orgànica i el fang. D'aquesta manera s'inhibeix el creixement dels bacteris filamentosos.

També s'ha de controlar la purga de fangs. Es recomana purgar el fangs directament des de la línia de recirculació, ja que es troben molt més concentrats i per tant el cabal de purga serà menor (Figura 4.5).

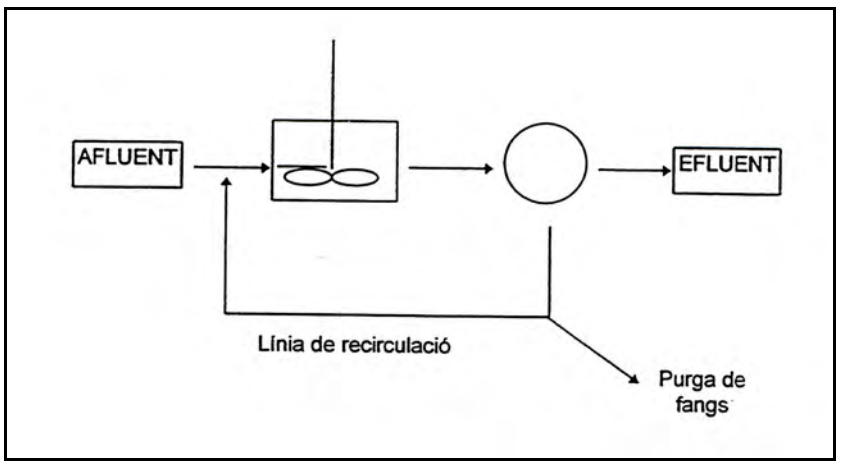


Figura. 4.5. Esquema de fangs activats amb purga des de la línia de recirculació.

c) Aireig: Es pot subministrar aire o oxigen pur mitjançant difusors o aire amb aireig mecànic.

Difusors: és important per al seu funcionament òptim el tipus, la mida, la forma, el cabal d'aire, la geometria del reactor i la situació dels difusors, tant en planta com en alçat. Els difusors poden ser:

De bombolla fina, amb un rendiment d'entre 10 i 30 % . Poden obturar-se fàcilment si hi ha sedimentació del fang. Tanmateix, la transferència d'oxigen és més efectiva perquè hi ha més superfície de contacte entre l'oxigen i l'aigua.

De bombolla intermitja, amb rendiments d'entre 6 i 15 %

De bombolla gran, amb rendiments d'entre 4 i 8 %

Aireig mecànic: s'agita l'aigua per introduir-hi aire de l'atmosfera o bé distribuir el que s'introdueix pel fons. S'utilitzen:

Turbina superficial

Turbina submergida

Els tancs d'aireig es construeixen de formigó armat i estan oberts a l'atmosfera. Sempre es recomana com a mínim la construcció de dos tancs per poder portar a terme les operacions de manteniment. Quan l'aireig té lloc mitjançant difusors sempre s'obtenen millors resultats amb profunditats grans, perquè d'aquesta manera la transferència d'oxigen en tota la massa d'aigua és més efectiva; d'altra banda, els costos d'excavació i de construcció són més elevats. A la Taula 4.1 es mostren les dimensions més característiques dels tancs d'aireig segons el sistema d'aireig utilitzat.

Taula 4.1. Dimensions característiques dels tancs d'aireig (en m). Extret d'Hernández *et al.* (1996).

Paràmetre	Amb difusors	Amb turbines
Resguard	0,3-0,6	1-1,5
Profunditat	2,5-5,5	2,5-5,5
Llargada/amplada	4	1
Amplada/profunditat	1-2,2	2,5-5,5

d) Decantació: l'objectiu és separar el fang de l'aigua, espessir-lo i emmagatzemar-lo. Per tal de dimensionar els decantadors, es determina la càrrega hidràulica superficial, la càrrega de sòlids i la seva profunditat (Taula 4.2).

Taula 4.2. Paràmetres de dimensionament més característics dels decantadors. Extret d'Hernández *et al.* (1996).

Tipus de tractament	Càrrega hidràulica superficial $m^3/m^2.dia$		Càrrega de sòlids $kg/m^2.h$		Profunditat m
	Mitjana	Punta	Mitjana	Punta	
Sense aireig perllongat	16-32	40-48	3,0-6,0	9	3,5-5
Amb aireig perllongat	8-16	24-32	1,0-5,0	7,0	3,5-5

Quant a la seva forma, els decantadors secundaris poden ser:

1) De planta circular, en petites instal·lacions en les quals no hi ha problemes d'espai (Figura 4.6).
2) De planta rectangular, en instal·lacions més grans en les quals hi ha problemes d'espai (s'encaixen millor).

Respecte als detalls constructius, s'han de considerar:

Entrades d'aigua: interessa que l'aigua no entri a una velocitat excessiva, de manera que produeixi una escassa sedimentació o que arrossegui els fangs que ja han sedimentat. També s'ha d'aconseguir una repartició de l'aigua uniforme i a una profunditat gran (Figura 4.7).

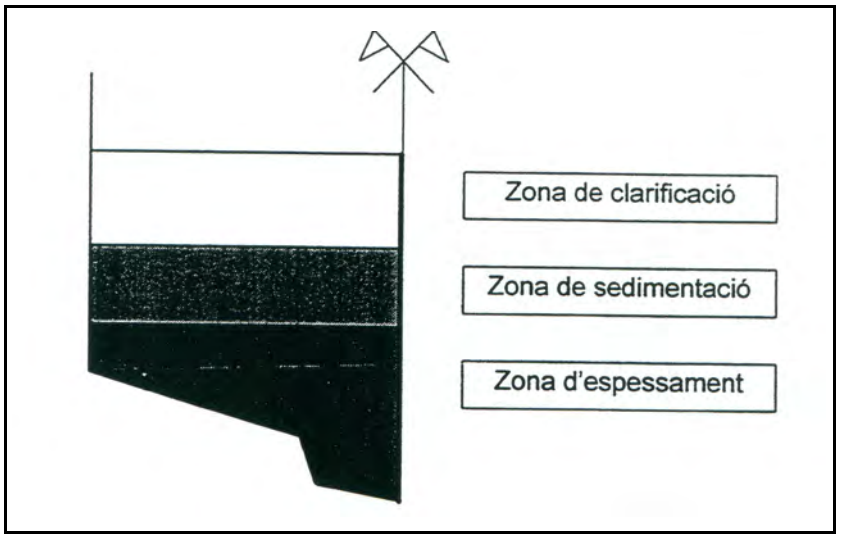


Figura 4.6. Esquema d'un decantador de planta circular.

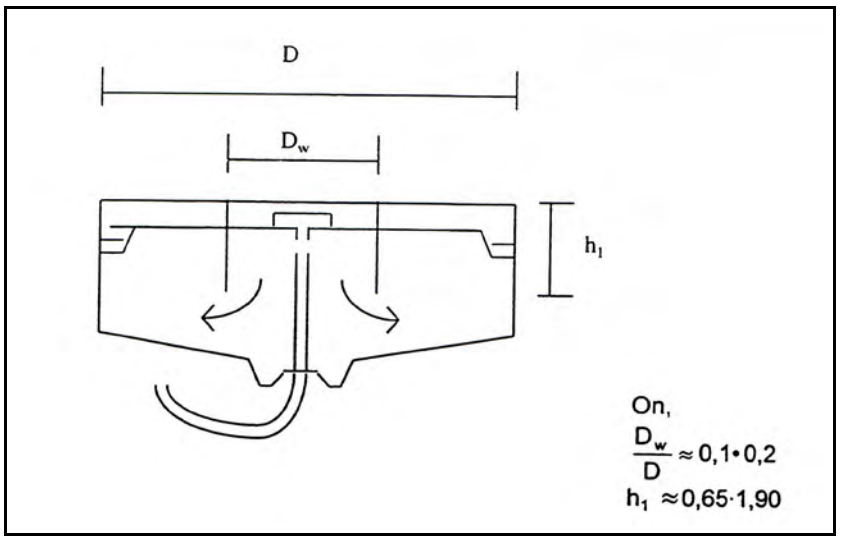


Figura 4.7. Entrada d'aigua a un decantador circular, on $h_1 = 0,65 \cdot 1,90$ m.

Sortida de l'aigua: té lloc mitjançant sobreeixidors. Es fan servir sobreeixidors triangulars múltiples, situats al llarg del perímetre del tanc en el cas de decantadors circulars, i en el mur final en el cas dels rectangulars. És important que la velocitat de sortida (càrrega sobre el sobreeixidor) no sigui massa gran per evitar l'arrossegament de fangs en les zones properes. En els decantadors rectangulars, se solen col·locar diferents línies de sobreeixidors, sense arribar mai a un terç de la longitud del tanc. Els paràmetres de dimensionament dels sobreeixidors es mostren a la Taula 4.3.

Taula 4.3. Paràmetres de dimensionament més característics dels sobreeixidors dels decantadors secundaris segons el tamany del tanc. Extret d'Hernández *et al.* (1996).

Tamany del tanc	Càrrega sobre el sobreeixidor $m^3/m.d$		Velocitat ascensional al costat del sobreeixidor m/h
	Mitjana	Punta	
Tancs petits	125	250	3,7-7,3
Tancs grans	300	375	3,7-7,3

e) Producció de fangs: la quantitat de fangs que es produiran per dia es relaciona directament amb el tamany de les instal·lacions necessàries per al seu emmagatzematge. Es pot calcular amb la següent expressió:

$$P_X = \frac{Y_{OBS} \cdot Q \cdot (S_1 - S_2)}{1000} \qquad (4\text{-}5)$$

on,

P_X és la producció de fangs en kg/dia.
Y_{OBS} és la productivitat (relació entre el fang produït i la matèria orgànica consumida).
Q és el cabal mitjà diari, en m^3/dia.
S_1 és la concentració de matèria orgànica a l'entrada del reactor, en mg DBO_5/L.
S_2 és la concentració de matèria orgànica a la sortida del reactor, en mg DBO_5/L.

Recirculació de fangs: es pot determinar de dues maneres:

1) Assaig de decantació (V_{30}): es determina el percentatge de volum ocupat pels fangs després de deixar-los sedimentar durant 30 min en una proveta. Aquest percentatge serà també el percentatge de recirculació respecte al cabal d'entrada (ha de ser sempre superior al 15%).

2) El control del nivell de fangs al fons del decantador: ha de ser d'un gruix d'entre 0,3 i 0,9 metres.

Problemes en l'explotació

a) Fang surant: hi ha desnitrificació al decantador i el gas (N_2) fa surar el fang sedimentat. Es pot evitar controlant que no es produeixin les reaccions de nitrificació-desnitrificació (reduint el temps de permanència cel·lular i augmentant el percentatge de recirculació).

b) Fang filamentós: el fang té males característiques de compactabilitat, sedimenta malament o sura. Es pot evitar amb la construcció d'un selector.

Despeses

S'analitza únicament el cas de l'aireig perllongat, ja que és un dels que pot resultar més adient per petites aglomeracions. A la Taula 4.4 es mostren els costos unitaris de construcció, i d'explotació i manteniment.

Taula 4.4. Costos unitaris de construcció, d'explotació i manteniment per al procés de fangs activats d'aireig perllongat. Extret de Collado (1992) i de la informació disponible de la Junta de Sanejament. (a)

Població equivalent	Costos de construcció (b) ptes(1998)/hab·eq	Costos de construcció (c) ptes(1998)/hab·eq	Costos d'explotació (b) ptes(1998)/hab·eq.any
< 100	170 000	·	5 700
100 · 200	90 000	·	5 200
201 · 500	72 000	·	4 300
501 · 1000	57 000	40 000·50 000	3 600
1001 · 2000	50 000	20 000·40 000	3 600

a) Preus actualitzats segons dades de l'INE.
b) Segons Collado (1992).
c) Segons la Junta de Sanejament.

Residus

Els residus que es generen són fonamentalment els fangs que van sedimentant a la zona d'espessiment del decantador i que s'extreuen amb la purga. L'extracció depèn del tipus de decantador:

a) Decantadors circulars: és important que els fangs surtin ràpidament per a la seva purga o recirculació. Per diàmetres de la planta inferiors a 40 m, el fangs s'arrosseguen fins a la zona central amb un sistema de rasquetes, on hi ha un pou de recollida. Per diàmetres de planta superiors a 40 m, els fangs s'extrauen amb un sistema de succió mitjançant aspiració.

b) Decantadors rectangulars: els fangs són arrossegats amb un sistema de rasquetes cap al pou de recollida. Quan la longitud del decantador és molt gran, el pou de recollida es col·loca a un terç de la longitud del decantador a partir de l'inici d'aquest (seran necessaris llavors dos sistemes de recollida, un per a cada costat del pou de recollida).

Rendiments obtinguts

A la Taula 4.5 es recullen els rendiments d'eliminació de contaminants que s'assoleixen amb la tipologia d'aireig perllongat.

Taula 4.5. Rendiments d'eliminació de contaminants assolits amb fangs activats d'aireig perllongat. Extret de Collado (1992).

Paràmetre	Rendiment d'eliminació, %
DBO_5	85 · 99
MES	83 · 99
DQO	68 · 90
P_T	15 · 70
N_T	50 · 90

BIODISCS

El procés consisteix en una sèrie de discs de gran diàmetre, suficientment separats entre sí com per permetre el creixement de biomassa sobre la seva superfície, que giren lentament entorn a un eix horitzontal i que estan situats a dins d'un tanc a través del qual circula l'aigua. Els discs tenen un disseny ondulat amb nervis radiats, aconseguint així una superfície específica més gran. Aproximadament el 40% de la superfície dels discs està en contacte amb l'aigua en tot moment.

Quan els discs giren, la matèria orgànica és absorbida per la pel·lícula biològica que creix sobre ells. La pel·lícula es posa alternativament en contacte amb l'aire cada vegada que surt de l'aigua.

D'aquesta manera la biomassa adherida pren l'oxigen necessari per tal que, durant el període d'immersió, es produeixi la degradació de la matèria orgànica present en l'aigua residual. El gir dels discs provoca esforços tallants que permeten el despreniment de l'excés de biopel·lícula i, a més, provoca l'aireig del líquid de mescla.

Tipologies

Hi ha diferents classificacions atenent diversos criteris:

a) Segons la densitat del medi de suport: (en parlar de densitat, es fa referència a la superfície de medi de contacte per eix).

Estàndard: Es fan servir a les primeres etapes d'un tractament primari o secundari, on les càrregues i els rendiments d'eliminació són més elevats, i on la pel·lícula biològica té més gruix.

Elevada: S'utilitzen per càrregues orgàniques més petites, en els darrers passos d'un tractament secundari o durant la nitrificació.

b) Segons el mecanisme d'impulsió dels discs: la velocitat de rotació ha de ser uniforme per tal que el creixement de la biopel·lícula sigui homogeni. Això és necessari, perquè d'una altra manera es podria descompensar el sistema i produir-se esforços de torsió sobre l'eix.

Per aire: Consisteix en una sèrie de tasses de 10 a 15 cm de profunditat, incorporades a la part exterior del disc i sotmeses a una font d'aire a pressió. La força de l'aire a l'interior de les tasses produeix un esforç tangencial que fa que els discs girin. Aquests sistemes produeixen més problemes a l'hora d'assegurar uniformitat en el creixement de la pel·lícula biològica. Es pot desenvolupar així una rotació descompensada que, si no és corregida, porta a l'aturada del procés, a danys en el sistema i fins i tot al trencament de l'eix.

Mecànica: mitjançant motors que fan girar els discs. De la mateixa manera, una impulsió mecànica infradimensionada pot ocasionar problemes del mateix tipus.

c) Segons la seva aplicació

Tractament primari.
Tractament secundari.
Tractament secundari + nitrificació.
Nitrificació.

d) Segons el funcionament

Flux perpendicular a l'eix.
Flux paral·lel a l'eix.

Exigències i requisits.

a) És un sistema de tractament molt sensible a les baixes temperatures. Sobre la superfície del disc, hi ha una capa líquida molt fina que fàcilment es pot congelar en cas de temperatures extremes. D'altra banda, la pel·lícula biològica és molt sensible a les precipitacions atmosfèriques (pluja forta i calamarsa), per la qual cosa un sistema de biodiscs ha d'estar sempre cobert. Aquesta coberta pot ser una estructura semicircular de fibra de vidre o algun altre material resistent a la intempèrie. Alternativament pot construir-se una nau, a l'interior de la qual es pot instal·lar el sistema de biodiscs. El rang de temperatura òptim és de 7 a 38°C.

b) Tractament previ: eliminació de gruixuts i de fins i decantació primària.

c) Valors baixos de pH poden afectar negativament l'eficàcia del procés. El pH òptim està entre 6 i 9.

d) Disseny mecànic: ha de ser molt rigorós.

e) Material de suport: ha de ser especial ja que d'ell depèn l'efectivitat del procés.

f) Equipaments: requereixen un muntatge complicat.

g) Cost dels equipaments: gairebé creix linialment amb el cabal tractat.

h) Requereixen d'una quantitat mínima de nutrients a l'aigua residual i d'unes proporcions adequades (com en el cas dels fangs activats).

i) Superfície unitària: 0,5-0,7 m^2/hab·eq incloent reactor i decantador secundari.

Avantatges

a) Baix consum energètic en relació amb els fangs activats.

b) Explotació i manteniment simple i senzill en relació amb els fangs activats.

c) No requereix recirculació de fangs secundaris: només es recomana quan el cabal o la càrrega són molt menors que els de disseny.

d) S'adapta bé a les variacions de cabal i de càrrega.

e) Possibilitat d'incorporar l'eliminació d'amoníac per nitrificació. A més, s'estan desenvolupant i investigant sistemes amb discs totalment submergits que poden permetre la desnitrificació.

f) No produeixen aerosols ni sorolls.

g) No produeixen escumes.

h) Són fàcilment ampliables (només cal afegir mòduls).

Disseny

a) Mòdul
És una estructura cilíndrica formada pel medi de suport acoblat a un eix giratori inserta en coixinets. Les dimensions són variables i depenen del fabricant, oscil·lant els diàmetres entre 0,5 i 5,5 m i les longituds dels eixos entre 0,5 i 8 m.

b) Eixos
Suporten i fan girar el medi suport en cas d'impulsió mecànica. Si la impulsió és per aire, l'eix suporta el medi, però és l'aire el que el fa girar. La màxima llargada disponible al mercat és aproximadament de 8,2 m, amb 7,6 m ocupats pel medi. Els eixos es construeixen d'acer i es proveeixen d'un recobriment contra la corrosió (per exemple de tipus epoxi), amb un gruix màxim de 3,6 mm.

c) Medi suport
Solen ser discs corrugats de polietilè d'alta densitat, que és molt més barat que el poliestirè, que era el material amb el què es construïen fa uns anys. El corrugat augmenta notablement la superfície específica de contacte amb l'aigua i augmenta també el temps d'exposició a l'aire, millorant així la transferència d'oxigen.

d) Velocitat de rotació
El gir dels discs produeix l'aireig de la pel·lícula biològica i simultàniament l'aireig de l'aigua continguda en els tancs. El gir també produeix esforços tangencials, que desprenen l'excés de biomassa desenvolupada sobre la superfície del medi. Amb velocitats perifèriques de 5-7 m/min (corresponents a velocitats angulars de 2 a 5 rpm) s'aconsegueix una concentració d'oxigen al líquid de mescla de 1 mg O_2/L.

e) Profunditat del reactor
Rotació mecànica: la submergència del medi suport ha de ser del 40%.
Rotació per impulsió d'aire: la submergència del medi suport ha de ser del 85%.

f) Càrrega orgànica
És el paràmetre utilitzat per al càlcul d'aquests sistemes. El valor que generalment s'adopta per al dimensionament és la càrrega màxima admissible al final de la primera etapa. A la Taula 4.6 es mostren les càrregues orgàniques de disseny que generalment s'adopten.

Taula 4.6. Càrregues orgàniques (total i dissolta) adoptades pel disseny de biodiscs. Elaborada a partir de la informació disponible a WPCF (1991).

Paràmetre	Càrrega orgànica g DBO_5/m^2.dia
1ª Etapa:	
Càrrega orgànica total	24-40
Càrrega orgànica dissolta	12-20
Final de tot el procés:	
Càrrega orgànica total	10-17
Càrrega orgànica dissolta	4-10

g) Càrrega hidràulica
Normalment és de 0,06 a 0,14 m^3/m^2.dia. El temps de permanència hidràulic sol ser de 0,7 a 2 hores.

h) Nombre d'etapes
Depèn de factors com els requeriments de l'efluent, els criteris de càrrega a cada etapa, la composició de l'aigua residual i la temperatura. A la Taula 4.7 es mostra el nombre mínim d'etapes necessàries en funció de la qualitat de l'efluent.

Taula 4.7. Número mínim d'etapes en un sistema de biodiscs segons la qualitat de l'efluent.

DBO_5 dissolta mg O_2/L	Mínim nombre d'etapes
> 25	1
15 - 25	1 ó 2
10 - 15	2 ó 3
< 10	3 ó 4

Problemes en l'explotació

Si les càrregues aplicades són superiors a les de la Taula 4.6 es poden produir problemes de males olors i de baix rendiment. Quan hi ha sobrecàrrega es pot realitzar una alimentació esgraonada o bé es pot subministrar aireig addicional.

Despeses

A la Taula 4.8 es mostren les despeses de construcció i d'explotació i manteniment dels biodiscs. Tot i que el disseny és complicat i el muntatge és difícil, les despeses de construcció no són massa diferents respecte a les observades per altres tecnologies de tipus convencional. De fet, són en termes generals lleugerament inferiors a les mostrades a la Taula 4.4 pels sistemes de fangs activats d'aireig perllongat.

Taula 4.8 Costos de construcció i d'explotació i manteniment dels biodiscs. Extret de Collado (1992). (a)

Població equivalent	Costos de construcció, ptes(1998)/hab·eq	Costos d'explotació, ptes(1998)/hab·eq.any
< 100	160 000	9 000
101 · 200	100 000	4 500
201 · 500	52 000	3 500
501 · 1000	45 000	2 500
1001 · 2000	43 000	2 200

a) Preus actualitzats segons dades de l'INE.

Les despeses d'explotació són lleugerament inferiors que les dels fangs activats per poblacions entre 100 i 2000 hab·eq. En canvi, per poblacions menors de 100 hab·eq són superiors a les dels fangs activats. El manteniment es limita a les activitats de neteja i recollida de fangs. Els canvis d'oli a les bombes i motors són necessaris després de períodes de temps de funcionament molt llargs (un any o més). El cost energètic és baix. Les despeses d'explotació d'un sistema de biodiscs a Benamahoma (Andalusia) per a 500 hab·eq són de 3 900 ptes (1998)/hab·eq.any (Riesco, 1999).

Residus

Els fangs que surten del procés de biodiscs sedimenten al decantador secundari i no estan estabilitzats. Normalment s'utilitzen eres d'assecat per estabilitzar-los i assecar-los. Els fangs primaris també constitueixen un altre residu.

Rendiments obtinguts

Si el sistema està ben dimensionat, es pot obtenir un tractament equivalent a una mica més d'un primari en una etapa, secundari en dues o tres etapes, nitrificació moderada en tres o quatre etapes i alts nivells de nitrificació en quatre o cinc. Quan sigui necessària una alta qualitat de l'efluent (menys de 10 mg DBO_5/L) es recomanen quatre o més etapes. Els rendiments mitjans que s'obtenen amb un sistema de biodiscs es mostren a la Taula 4.9.

Taula 4.9. Rendiments d'eliminació dels contaminants assolits amb un sistema de biodiscs de 3 · 4 etapes. Els rendiments aconseguits varien en funció del nombre d'etapes. Extret de Collado (1992).

Paràmetre	Rendiment d'eliminació, %
DBO_5	70-97
MES	75-97
DQO	70-85
P_T	8-30
N_T	30-80

FILTRES PERCOLADORS

Els filtres percoladors són un sistema de tractament aerobi, on els microorganismes creixen en forma de biopel·lícula sobre un medi suport fix de tipus petri o plàstic. L'aigua residual percola a través del medi. La matèria orgànica de l'aigua residual és absorbida per les capes més externes de la biopel·lícula, que va augmentant el seu gruix a mesura que creixen els microorganismes. Quan el gruix de la biopel·lícula és elevat, aquesta perd adherència i és arrossegada per l'aigua. La biopel·lícula es regenera espontàniament.

Tipologies

Els filtres percoladors es classifiquen en funció de la càrrega orgànica i la càrrega hidràulica aplicades en:

a) De baixa càrrega.
b) De càrrega mitjana.
c) D'alta càrrega.
d) De molt alta càrrega.
e) De desbast.

Les càrregues hidràuliques i orgàniques aplicades a cadascuna de les tipologies de filtres percoladors es mostren a la Taula 4.10.

Taula 4.10. Classificació dels filtres percoladors segons la càrrega orgànica i la càrrega hidràulica aplicades. Extret de Metcalf i Eddy (1991).

Paràmetre de classificació	Baixa càrrega	Càrrega mitjana	Alta càrrega	Molt alta càrrega	Desbast
Càrrega hidràulica, $m^3/m^2.dia$	1,2 · 3,5	3,5 · 9,5	9,5 – 38	11,5 · 70	47 · 190
Càrrega orgànica, kg $DBO_5/m^3.dia$	0,08 · 0,4	0,3 · 0,5	0,5 · 1,0	0,5 · 1,6	1,6 · 8,0

També es poden classificar segons el nombre d'etapes:

a) D'una etapa (Figura 4.8).
b) De dues etapes (Figura 4.9).

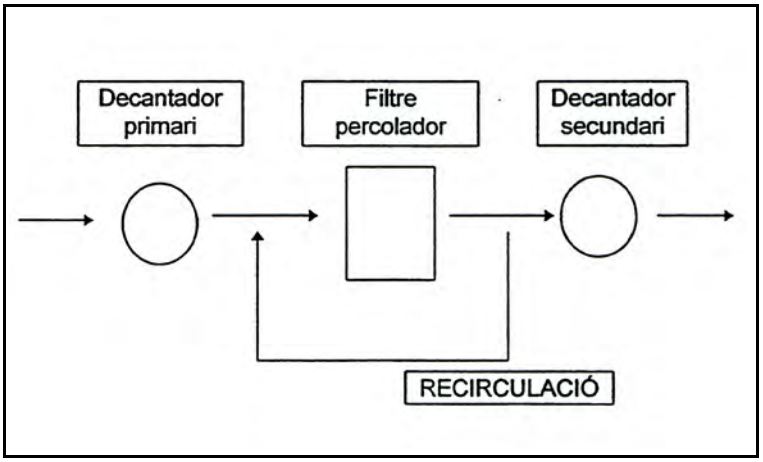


Figura 4.8. Esquema d'un filtre percolador d'una etapa. Extret de Metcalf i Eddy (1991).

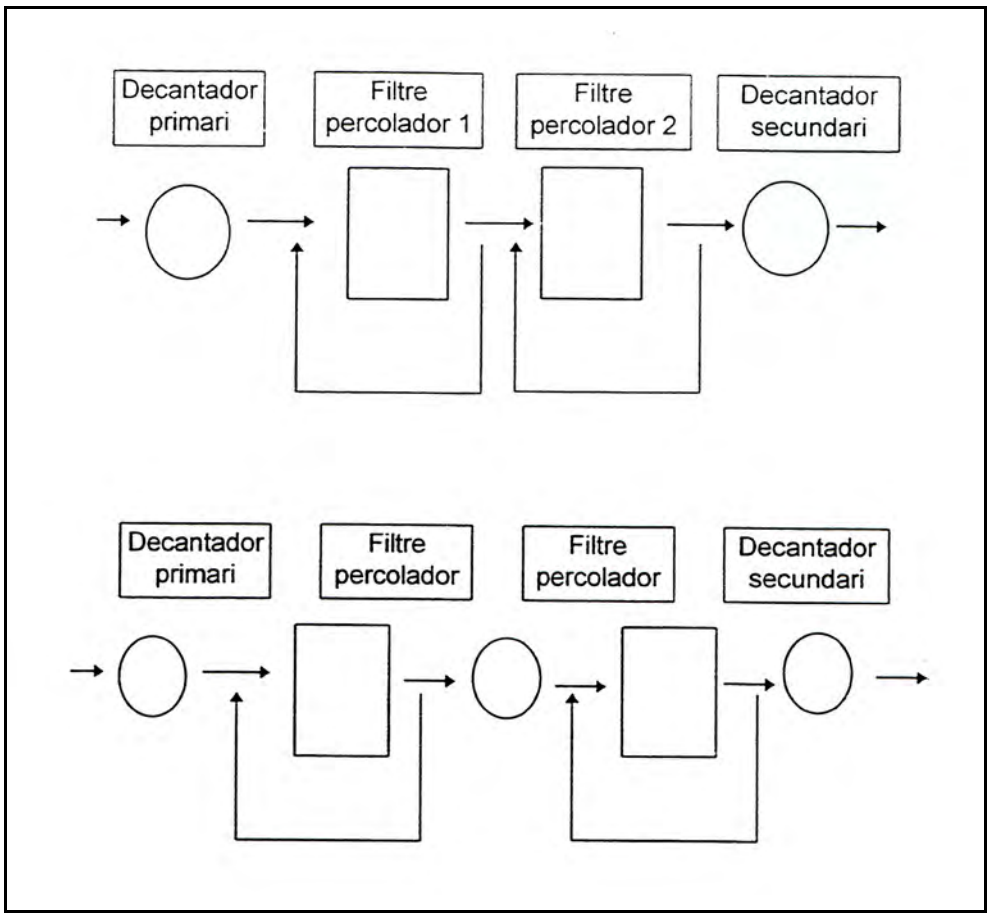


Figura 4.9. Esquemes de filtres percoladors de dues etapes. A) Sense decantació després de la primera etapa. B) Amb decantació després d'ambdues etapes. Extret de Metcalf i Eddy (1991).

Exigències i requisits

a) Són sistemes de tractament bastant sensibles a les baixes temperatures. Quan la temperatura ambient és de 0°C o inferior pot haver-hi problemes de congelació.

b) Càrrega hidràulica: poden treballar en un rang de càrrega hidràulica molt ampli (depenent de la seva tipologia), entre 1,2 i 190 m^3/m^2.dia.

c) Càrrega orgànica: entre 0,08 i 8 kg DBO_5/m^3.dia (depèn de la tipologia de filtre utilitzat).

d) Tractament previ: eliminació de grollers i de fins, i una decantació primària com a mínim.

e) Necessitats energètiques quan la ventilació és forçada.

f) Superfície unitària: entre 0,5 i 0,7 m^2/hab-eq incloent reactor i decantador secundari.

Avantatges

a) Fàcil operació en relació als processos de fangs activats.

b) Consums energètics menors que els d'una instal·lació de fangs activats convencional. Els consums només són comparables quan hi ha ventilació forçada.

c) Bon comportament davant sobrecàrregues orgàniques.

Disseny

a) Geometria
Poden ser de planta circular (Figura 4.10) o quadrada (Figura 4.11).

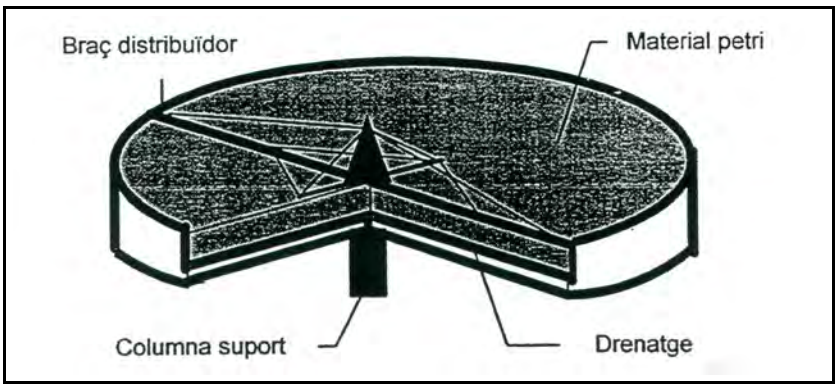


Figura 4.10. Esquema d'un filtre percolador de planta circular.

b) Material de reompliment
Ha de ser un material amb una porositat elevada, econòmic i de gran superfície específica. Normalment es fan servir materials petris amb una superfície específica al

voltant de 100 m^2/m^3, o bé materials plàstics amb una superfície específica que oscil·la entre 150 i 300 m^2/m^3.

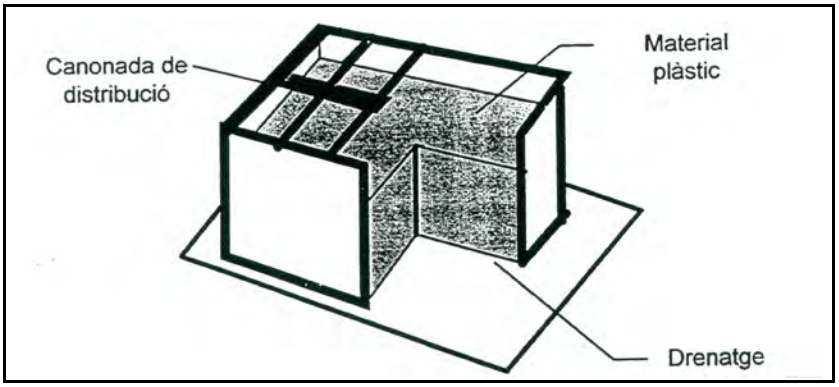


Figura 4.11. Esquema d'un filtre percolador de planta quadrada.

c) Profunditat
Variable depenent del material de reompliment.
Material petri: de 1 a 2,5 m
Material plàstic: de 3 a 12 m

c) Drenatge
Es porta a terme a la part inferior del filtre amb un fals fons.

d) Ventilació
És necessària, per tal de mantenir les condicions aeròbiques. Pot ser de dos tipus:

Natural, per gradient de temperatura entre l'interior i l'exterior del filtre. Exigeix comunicar el fals fons amb l'exterior mitjançant finestres.

Forçada, amb ventiladors exteriors.

Problemes en l'explotació

Els principals problemes en l'explotació dels filtres percoladors poden tenir lloc com a conseqüència de l'origen i la composició de l'aigua residual, d'un tractament primari inadequat i/o d'una ventilació deficient. A la Taula 4.11 es mostren els principals problemes, la seva causa més probable i les possibles solucions que es poden adoptar.

Despeses

Els filtres percoladors requereixen generalment d'una superfície unitària superior que els fangs activats. Tanmateix, la seva construcció és molt menys complicada quant a moviment de terres, obra civil i equips electromecànics. D'altra banda, el seu manteniment és més simple i menys freqüent, i per això els costos d'explotació i manteniment són generalment inferiors.

A la Taula 4.12 es mostren les despeses de construcció i d'explotació i manteniment per aquestes instal·lacions.

Taula 4.11. Problemes en l'explotació dels filtres percoladors. Extret de WPCF (1990b).

Problema	Causa probable	Solució
Fangs poc sedimentables	Proliferació de bacteris filamentosos	Reduir la taxa de recirculació
	Pics de càrrega orgànica importants	Emmagatzematge de l'afluent i dilució
	Concentracions elevades de metalls	Emmagatzematge de l'afluent i dilució
Manca de nutrients	Aigües residuals d'origen industrial	Addició de nitrogen i fòsfor
Males olors	Ventilació deficient	Cobriment de les instal·lacions Reduir la taxa de recirculació
	Biopel·lícula massa gruixuda	Reduir la taxa de recirculació
Escumes en els decantadors	Tractament primari inadequat	Increment de la taxa de recirculació
	Larves de dípters	Increment de la ventilació

Taula 4.12. Costos de construcció i d'explotació i manteniment dels filtres percoladors segons la població tractada. Extret de Collado (1992). (a)

Població equivalent	Costos de construcció, ptes(1998)/hab·eq	Costos d'explotació i manteniment ptes (1998)/hab·eq.any
< 100	85 000	7 200
101 - 200	80 000	3 600
201 - 500	60 000	3 600
501 - 1000	50 000	3 600
1001 - 2000	40 000	3 600

a) Preus actualitzats segons dades de l'INE.

Residus

Els residus que produeixen aquest tipus d'instal·lacions són bàsicament els fangs secundaris i els fangs primaris.

Rendiments obtinguts

Els rendiments d'eliminació dels contaminants obtinguts en un filtre percolador són similars als que s'obtenen en un procés de fangs activats convencional (Taula 4.13)

Taula 4.13. Rendiments d'eliminació dels contaminants obtinguts amb filtres percoladors. Extret de Collado (1992).

Paràmetre	Rendiment d'eliminació, %
DBO_5	80 · 99
DQO	90 · 93
MES	50 · 90
N_T	10 · 90
P_T	35 · 55

QUADRES RESUM DELS TRACTAMENTS CONVENCIONALS

A continuació es mostren les característiques més importants de cadascuna de les tecnologies de tractament convencional revisades en aquest capítol.

Fangs Activats

Tipologies
- a. Flux en pistó.
- b. Mescla completa.
- c. Alimentació esgraonada.
- d. Aireig perllongat.
- e. Processos de doble etapa.
- f. Aireig d'alta càrrega.
- g. Sistemes d'oxigen pur.
- h. Canals d'oxidació.
- i. Reactors seqüencials.

Exigències
- a. Temperatura òptima: de 12 a 38°C. No són massa sensibles a las baixes temperatures, en comparació amb els sistemes de tractament natural.
- b. Tractament previ: eliminació de grollers i de fins. El tractament primari és recomanable però no indispensable.
- c. pH: valors baixos poden afectar l'eficàcia del procés.
- d. Agitació per assegurar una mescla adequada.
- e. Inhibidors: cal evitar determinades sals insolubles, metalls pesats, el clor i els seus derivats.
- f. Relació adequada $DBO_5/N_T=20$.
- g. Relació adequada $DBO_5/P_T=100$.
- h. Superfície unitària: 0,2-1,0 m^2/hab·eq

Avantatges
- a. Requereixen menys superfície que qualsevol dels sistemes naturals de tractament (característica comuna a tots els sistemes convencionals).
- b. Sistemes d'aireig perllongat i canals d'oxidació: produeixen poca quantitat de fangs
- c. Sistemes d'aireig perllongat, canals d'oxidació i reactors de flux seqüencial: tenen molt bon comportament enfront de les variacions de cabal i de càrrega.
- d. Els canals d'oxidació són molt econòmics en cas de disposar de la superfície suficient.
- e. Els reactors seqüencials tenen gran flexibilitat per adaptar-se a diferents qualitats d'aigua.

Factors de disseny
- a. Selecció del tipus de reactor.
- b. Control del procés.
- c. Aireig: difusors, aireig mecànic i tancs d'aireig.
- d. Decantació.
- e. Producció de fangs.

Problemes en l'explotació
- a. Fang surant.
- b. Fang filamentós.

Despeses
- a. Despeses de construcció: entre 70 000 i 170 000 ptes/hab·eq per aglomeracions menors de 500 hab·eq, 60 000 ptes/hab·eq per aglomeracions de 500-1 000 hab·eq (40 000-50 000 ptes/hab·eq segons les dades de la Junta de Sanejament) i 50 000 ptes/hab·eq per aglomeracions de 1 000-2 000 hab·eq (20 000-40 000 ptes/hab·eq segons les dades de la Junta de Sanejament).
- b. Despeses d'explotació i manteniment: entre 3 600 i 5 700 ptes/hab·eq.any depenent del rang de població tractada.

Residus
- a. Fonamentalment fangs de purga, I els primaris si n'hi ha.

Rendiments d'eliminació
- a. DBO_5 : 85 - 99 %
- b. MES: 83 - 99 %
- c. Nitrogen: 50 - 90 %
- d. Fòsfor: 15 - 70 %
- e. DQO: 68 - 90 %

Biodiscs

Tipologies
a. Segons la densitat del medi: estàndard o elevada.
b. Segons el mecanisme d'impulsió: per aire o mecànica.
c. Segons l'aplicació: tractament primari, secundari, secundari i nitrificació o només nitrificació.
d. Segons el funcionament: flux perpendicular a l'eix i flux paral·lel a l'eix.

Exigències
a. Molt sensible a la climatologia (en especial a la pluja): les instal·lacions sempre es cobreixen. El rang de temperatura òptim és de 7 a 38 °C.
b. Tractament previ: desbast de gruixuts i de fins i decantació primària.
c. Valors baixos de pH poden afectar negativament l'eficàcia del procés. El pH òptim està entre 6 i 9.
d. Disseny mecànic rigorós.
e. Material suport especial.
f. Muntatge complicat.
g. Cost dels equips linial amb el cabal.
h. L'aigua residual ha de contenir nutrients i en proporcions adequades.
i. Superfície unitària: 0,5-0,7 m^2/hab·eq

Avantatges
a. Baix consum energètic en relació amb els fangs activats.
b. Explotació i manteniment simple.
c. No hi ha recirculació de fangs secundaris.
d. Bona adaptabilitat a variacions de cabal i càrrega.
e. Possibilitat de nitrificació-desnitrificació.
f. No produeixen aerosol ni sorolls.
g. No produeixen escumes.
h. Molt fàcilment ampliables.

Factors de disseny
a. Mòdul.
b. Eixos.
c. Medi de suport.
d. Velocitat de rotació.
e. Profunditat del reactor.
f. Càrrega orgànica.
g. Càrrega hidràulica.
h. Nombre d'etapes.

Problemes en l'explotació
a. Males olors.
b. Baix rendiment.

Despeses
a. Despeses de construcció: entre 50 000 i 160 000 ptes/hab·eq per aglomeracions menors de 500 hab·eq, 45 000 ptes/hab·eq per aglomeracions de 500-1 000 hab·eq i 43 000 ptes/hab·eq per aglomeracions de 1 000-2 000 hab·eq.
b. Despeses d'explotació i manteniment: entre 2 200 i 9 000 ptes/hab·eq.any segons els rang de població tractat. Les despeses d'explotació d'un sistema de biodiscs a Benamahoma (Andalusia) són de 3 900 ptes/hab·eq.any.

Residus
a. Fangs primaris.
b. Fangs secundaris.

Rendiments d'eliminació
a. DBO_5: 70 - 97 %
b. MES: 75 - 97 %
c. Nitrogen: 30 - 80 %
d. Fòsfor: 8 - 30 %
e. DQO: 70 - 85 %

Filtres Percoladors

Tipologies
- a. De baixa càrrega.
- b. De càrrega mitjana.
- c. D'alta càrrega.
- d. De molt alta càrrega.
- e. De desbast.
- f. D'una etapa.
- g. De dues etapes.

Exigències
- a. Sensibilitat a les baixes temperatures.
- b. Càrrega hidràulica: entre 1,2 i 190 m^3/m^2.dia
- c. Càrrega orgànica: entre 0,08 i 8 kg DBO_5/m^3.dia
- d. Tractament previ: eliminació de grollers i de fins, i una decantació primària com a mínim.
- e. Necessitats energètiques addicionals quan es requereix ventilació forçada.
- f. Superfície unitària: entre 0,2 i 0,7 m^2/hab·eq

Avantatges
- a. Fàcil operació.
- b. Baix consum energètic en relació amb els fangs activats.
- c. Bon comportament davant sobrecàrregues orgàniques.

Factors de disseny
- a. Geometria.
- b. Material de reompliment.
- c. Profunditat.
- d. Drenatge.
- e. Ventilació.

Problemes en l'explotació
- a. Fangs poc sedimentables.
- b. Manca de nutrients.
- c. Males olors.
- d. Escumes en els decantadors.

Despeses
- a. Despeses de construcció: entre 60 000 i 85 000 ptes/hab·eq per aglomeracions menors de 500 hab·eq, 50 000 ptes/hab·eq per aglomeracions de 500·1 000 hab·eq i 40 000 ptes/hab·eq per aglomeracions de 1 000·2 000 hab·eq
- b. Despeses d'explotació i manteniment: entre 3 600 i 7 200 ptes/hab·eq.any depenent de la població tractada.

Residus
- a. Fangs primaris.
- b. Fangs secundaris.

Rendiments d'eliminació
- a. DBO_5 : 80 · 99 %
- b. MES: 50 · 90 %
- c. Nitrogen: 10 · 90 %
- d. Fòsfor: 35 · 55 %
- e. DQO: 80 · 93 %

CAPÍTOL 5

EXEMPLES D'INSTAL·LACIONS EN FUNCIONAMENT

En aquest capítol es revisa l'experiència prèvia a Catalunya referent a les tecnologies de depuració naturals d'aglomeracions que són generalment inferiors a 2 000 hab·eq. S'han analitzat: un filtre verd, tres llacunatges, un aiguamoll construït de flux subsuperficial i un aiguamoll construït de flux superficial. Per a cada instal·lació s'indica la informació fonamental disponible (per aquesta raó la informació mostrada no és completament uniforme). També s'analitza la capacitat d'eliminació de nutrients de les tecnologies de depuració natural i s'aprofita l'experiència de Catalunya. D'altra banda, també s'exposen els estudis de recerca sobre tecnologies naturals al Centro Experimental de Aguas Residuales de Ranilla (Sevilla) i a la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla). S'inclou, a més, la descripció d'una tècnica manllevada del sanejament autònom molt utilitzada al Japó per a aglomeracions molt petites (els Gappei-Shori Johkasou). Després es mostra l'experiència a Catalunya amb els sistemes de reactors seqüencials com alternativa de tractament per a petites aglomeracions. Finalment, es realitza una síntesi de les instal·lacions de depuració per aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq en servei actualment a les illes Balears (on es té experiència des de fa temps).

FILTRE VERD DE BEGUR (GIRONA)

Begur (Girona) és un poble de la Costa Brava separat 0,5 km del mar per una cadena muntanyosa. El municipi disposa d'una EDAR biològica convencional que tracta un cabal de 300 a 500 m^3/dia, corresponent a 7 300 hab·eq. Com es pot observar a la Taula 5.1, l'EDAR produeix un efluent secundari de bona qualitat. Tanmateix, degut a l'emplaçament del poble (sense cursos fluvials a prop), l'abocament directe de l'efluent suposava un problema sanitari i ambiental que es va resoldre al 1994 amb la construcció d'un filtre verd sense recuperació d'aigües (Sala *et al.*, 1997). Tot i que el filtre verd és de tractament terciari, es considera que l'experiència adquirida és útil per als objectius d'aquest informe tècnic.

El terreny disponible a les instal·lacions de l'EDAR es va dividir en quatre parcel·les, de les quals tres es van plantar amb pollancres i l'altra simplement es va emplenar amb sorra. A les parcel·les plantades s'hi aboca un 40% de l'efluent (aproximadament 60 000 m^3/any) i a l'altra el 60% restant (uns 90 000 m^3/any).

Costos d'inversió

S'inclouen en aquesta partida els moviments de terres, la plantació dels pollancres, els sistemes de reg, el transport de l'aigua des de la EDAR fins al filtre verd i les despeses de control durant els dos primers anys. Aquests costos són de 11 milions de pessetes, és a dir 3 000 ptes/hab·eq. Aquesta quantitat és molt inferior a la recollida a la Taula 3.6 perquè: 1) no es consideren els costos d'adquisició del terreny (que són molt importants per aquesta tecnologia) i 2) la població tractada és superior que la esmentada a la Taula3.6.

Taula 5.1. Estadístiques de qualitat de l'aigua residual i de l'efluent de l'EDAR de Begur (Girona)des de gener de 1992 a juliol de 1996. Dades de Sala *et al.*(1997).

	Paràmetre	Nombre de mostres	Mitjana	Valor del percentil del 90%
Afluent	DBO_5, mg O_2/L	272	270	410
	MES, mg/L	313	270	470
Efluent	DBO_5, mg O_2/L	274	4	8
	MES, mg/L	311	6	13
	pH	294	7,7	7,9
	Amoníac, mg N/L	241	2,8	27,2
	Ortofosfat, mg P/L	232	4,9	9,1
	Conductivitat elèctrica, µS/cm	297	1 800	2 600

Costos d'explotació i manteniment

Els costos d'explotació i manteniment són de un milió de pessetes cada any (1997), és a dir 140 ptes/hab·eq.any (valor netament inferior als mostrats a la Taula 3.6, possiblement com a conseqüència de que es tracta d'un filtre verd de tractament terciari -no requereix pretractament- i perquè la població tractada és superior a l'esmentada a la Taula).

Rendiments obtinguts

Com a paràmetres d'avaluació del funcionament del filtre verd, es porta a terme un seguiment de l'evolució de la qualitat química i microbiològica del sòl i de l'aigua subterrània de la zona.

1) Paràmetres químics

Sòl: el pH, el N-kjeldahl i la concentració de potassi i magnesi es mantenen molt estables. El fòsfor total i el potassi es troben en concentracions molt baixes, fet que pot reduir el creixement de la vegetació.

Aigua: com a variacions més importants respecte a l'efluent de l'EDAR cal esmentar:
Un augment de la conductivitat elèctrica.
Una reducció del COT.
Una reducció del nitrogen total, que està sempre per sota dels 10 mg N/L.

2) Paràmetres microbiològics

Sòl: la concentració de coliforms fecals es indetectable en gairebé la meitat de les mostres extretes. Normalment es detecten a l'estiu, quan el cabal d'aigua aplicada és més gran. Tanmateix, els valors solen ser menors de 10 CF/100 mL.

Aigua: les anàlisis de l'aigua també indiquen que el sistema està funcionant correctament. Es té una mitjana de 4 CF/100 mL amb un percentil del 90% de 45 CF/100 mL (38 mostres).

LLACUNATGE NATURAL DE SANT GREGORI (GIRONA)

Antigament l'abocament de les aigües residuals del nucli urbà de Sant Gregori (Girona) tenia lloc directament a la riera Llemana, que està situada a uns 800 m del nucli. Després, les aigües residuals es van tractar en un tanc Imhoff. Tanmateix, durant la dècada dels 1970, el nucli va experimentar un espectacular creixement poblacional que va obligar a substituir i millorar el sistema de sanejament existent. El projecte de sanejament es basava en la construcció d'un llacunatge natural, els objectius del qual eren (Jové, 1990):

a) Reduir o eliminar les males olors i el deteriorament estètic de la llera de la riera Llemana, amb la finalitat de restituir les condicions mediambientals naturals de la zona.

b) Aconseguir un nivell de tractament secundari per a les aigües del municipi amb una tecnologia que necessités d'operacions de manteniment i explotació molt esporàdiques. Es va optar per un sistema de llacunatge natural, tot i que les exigències de superfície són superiors que les d'un sistema convencional i que els costos de construcció poden ser més elevats que els d'un sistema convencional.

   Amb això, es pretenia assegurar un funcionament correcte i perllongat de l'EDAR, en un nucli de població el qual no disposava de personal tècnic especialitzat en el tractament de les aigües residuals.

c) Evitar l'afecció de la zona esportiva municipal que es troba situada a les rodalies de la parcel·la on es va construir l'EDAR.

La Figura 5.1 mostra un esquema de les principals instal·lacions de l'EDAR de Sant Gregori. La Taula 5.2 mostra els valors de les principals característiques físiques de l'EDAR.

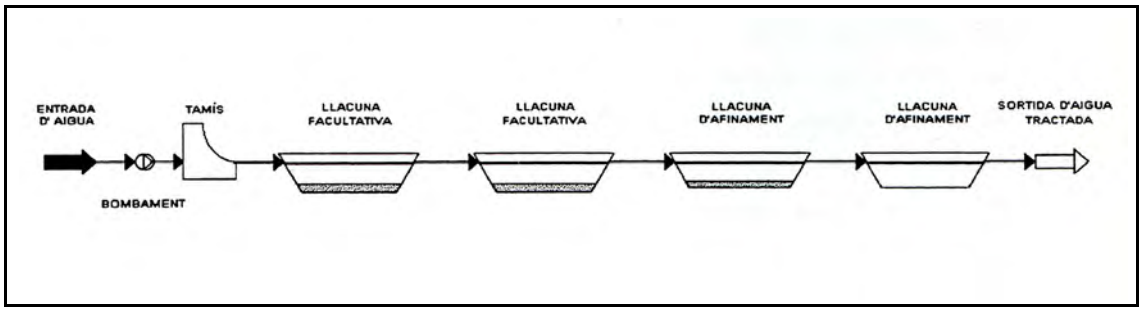


Figura 5.1. Esquema de les principals instal·lacions de l'EDAR de Sant Gregori (Girona). Extret de Mujeriego *et al.* (1998).

El tractament de l'aigua té lloc mitjançant els següents processos unitaris: 1) desbast de grollers i fins amb un tamís tipus Hidranet equipat amb un sistema d'extracció de sòlids d'accionament automàtic sincronitzat amb el bombament i 2) tractament secundari en dues llacunes facultatives disposades en sèrie seguides de dues llacunes aeròbiques (d'afinament) també disposades en sèrie. A la Taula 5.3 es mostren els valors mitjans d'alguns dels paràmetres característics de l'EDAR, tant els utilitzats per al disseny com els actuals.

Taula 5.2. Valors de les principals característiques físiques de l'EDAR de Sant Gregori (Girona). Extret de Mujeriego *et al.* (1998).

Paràmetre	Valor
Superfície parcel·la, m^2	13 100
Nombre total de llacunes	4 (disposades en sèrie)
Nombre de llacunes facultatives	2
Nombre de llacunes aeròbiques	2
Superfície total llacunes, m^2	9800
Superfície llacunes facultatives, m^2	6 150 (4 450+1 700)
Superfície llacunes aeròbiques, m^2	3 650 (1 900+1 750)
Profunditat llacunes facultatives, m	1,5 i 1,2
Profunditat llacunes aeròbiques, m	1 i 1

Taula 5.3. Valors mitjans d'alguns dels paràmetres característics de l'EDAR de Sant Gregori (Girona) obtinguts fins a l'agost de 1997 (actual) i valors utilitzats per al seu disseny. Elaborada a partir de Mujeriego *et al.* (1998).

Paràmetre	Valor actual	Valor disseny
Població tractada, hab	1 870	880
Població equivalent, hab·eq	1 420 (a)	1 500
Cabal mitjà diari, m^3/d	240	380
Cabal mitjà horari, m^3/h	10	16
Cabal punta horari, m^3/h	20	32
Temps de permanència mitjà, d	49	31
DBO_5 afluent mitjana, mg O_2/L	355	240
MES afluent mitjana, mg/L	260	240
DBO_5 efluent mitjana, mg O_2/L	90	25
MES efluent mitjana, mg/L	110	25
Càrrega contaminant mitjana, kg DBO_5/d	85	90
Càrrega contaminant eliminada mitjana, kg DBO_5/d	64	83
Càrrega orgànica superficial, kg DBO_5/ha.d	90	95
Consum energètic per cabal tractat, kWh/m^3 (b)	0,04	0,02
Consum energètic per DBO_5 eliminada, kWh/kg DBO_5 (b)	0,15	0,11
Superfície unitària, m^2/hab·eq	6,8	6,5

a) Calculada a partir de la càrrega contaminant mitjana i suposant que un hab·eq genera 60 g DBO_5/d.
b) El consum energètic es degut al bombament i al motor del vis sense fi del tamis.

Costos d'inversió

Els costos de construcció del llacunatge es mostren a la Taula 5.4. Com es pot observar a la Taula 5.4, el cost unitari per hab·eq és inferior als mostrats a la Taula 3.17 (addició dels costos corresponents a cadascuna de les llacunes que integren el sistema de llacunatge). Això és degut a que als costos de la Taula 5.4 no s'inclouen les despeses corresponents a l'adquisició del terreny.

Taula 5.4. Costos de construcció del llacunatge de Sant Gregori (Girona) en pessetes de 1998.

Partides	Cost total, pessetes	Cost unitari, ptes/hab·eq
Tamisat i impulsió	5 200 000	3 470
Construcció de les llacunes	18 000 000	12 000
Comunicació entre llacunes	1 700 000	1 130
Urbanització de la zona	1 700 000	1 130
Total	26 600 000	17 730

Costos d'explotació i manteniment

Els principals costos d'explotació corresponen a l'energia elèctrica i al manteniment necessaris pel bombament i pel sistema d'extracció de sòlids del tamís. En total la despesa anual (1998) és de 1,2 milions de pessetes, el que equival a 800 ptes/hab·eq (de disseny).any (Mujeriego *et al.*, 1998). Com es pot observar, aquest cost és inferior als mostrats a la Taula 3.17 (addició dels costos corresponents a cadascuna de les llacunes que integren el sistema de llacunatge).

Rendiments obtinguts

Durant el període agost 1997 - setembre 1998 la Secció d'Enginyeria Sanitària i Ambiental del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental de la Universitat Politècnica de Catalunya ha realitzat un seguiment del llacunatge de Sant Gregori mitjançant un Conveni de Col·laboració amb la Junta de Sanejament (Mujeriego *et al.*, 1998). A continuació es descriuen els treballs realitzats i els resultats obtinguts.

Es van prendre mostres puntuals de l'afluent i l'efluent durant un any i amb una periodicitat trisetmanal. Les mostres s'analitzaven un dia després de la seva recollida. La Taula 5.5 mostra els valors mitjans, les desviacions estàndard i els rangs de variació de la DBO_5 i la MES. La Taula 5.6 mostra els valors mitjans, les desviacions estàndard i els rangs de variació dels nutrients.

Com es pot observar a la Taula 5.5, els valors de la concentració mitjana de DBO_5 i MES de l'efluent són relativament elevats, de manera que els rendiments d'eliminació d'aquests contaminants no són els previstos durant el disseny. L'elevada càrrega orgànica superficial amb la que va ser dimensionat aquest llacunatge és possiblement la principal causa dels baixos rendiments. Cal tenir en compte que aquest llacunatge va ser dissenyat amb una càrrega

orgànica superficial total de 90 kg DBO_5/ha.dia, quan normalment es recomana no superar valors de 50 kg DBO_5/ha.dia (Reed *et al.*, 1995). Es dedueix doncs que està sobrecarregat.

Taula 5.5. Mitjanes aritmètiques, desviacions estàndard i rangs de variació de la MES i la DBO_5 de l'aigua de l'EDAR de Sant Gregori (Girona). Els càlculs es basen en 18 dades.

Paràmetre	Mitjana	Desviació estàndard	Rang
MES afluent, mg/L	310	260	84 - 970
MES efluent, mg/L	85	42	21 - 140
DBO_5 afluent, mg O_2/L	420	200	230 - 830
DBO_5 efluent, mg O_2/L	93	38	21 - 190

Taula 5.6. Mitjanes aritmètiques, desviacions estàndard i rangs de variació dels nutrients de l'aigua de l'EDAR de Sant Gregori (Girona). Els càlculs es basen en 18 dades.

Paràmetre	Mitjana	Desviació típica	Rang
Nitrogen total afluent, mg N/L	82	27	46 - 120
Nitrogen total efluent, mg N/L	33	9,6	20 - 48
Nitrogen Kjeldahl afluent, mg N/L	82	27	46 - 120
Nitrogen Kjeldahl efluent, mg N/L	33	9,7	20 - 48
Nitrogen amoniacal afluent, mg N/L	62	23	30 - 97
Nitrogen amoniacal efluent, mg N/L	22	7,1	14 · 39
Nitrogen orgànic afluent, mg N/L	20	14	2,8 · 64
Nitrogen orgànic efluent, mg N/L	11	4,2	2,5 · 19
Nitrits afluent, mg N/L	0,05	0,08	0,00 · 0,36
Nitrits efluent, mg N/L	0,04	0,08	0,00 · 0,30
Nitrats afluent, mg N/L	0,04	0,14	0,00 · 0,57
Nitrats efluent, mg N/L	0,03	0,04	0,00 · 0,10
Fòsfor total afluent, mg P/L	18	9,1	9,7 · 43
Fòsfor total efluent, mg P/L	9,1	1,6	7,1 · 13
Fòsfor reactiu soluble afluent, mg $PO_{4\text{-}3}$/L	9,9	2,2	6,7 · 15
Fòsfor reactiu soluble efluent, mg $PO_{4\text{-}3}$/L	7,3	1,4	3,6 · 9,4

Els percentatges d'eliminació dels nutrients i de les seves espècies són els següents: nitrogen total, 60%; nitrogen orgànic (calculat per diferència entre el nitrogen kjeldahl i l'amoniacal), 45%; nitrogen amoniacal, 65%; fòsfor total, 49% i fòsfor reactiu soluble, 26%. Aquests rendiments d'eliminació dels nutrients s'han de considerar en general excel·lents, tenint en compte que l'EDAR funciona amb sobrecàrrega. En especial s'ha de destacar els rendiments que s'assoleixen amb el nitrogen amoniacal. Tenint en compte que les concentracions efluents de nitrits i de nitrats són baixes, es pot deduir que el principals

mecanismes d'eliminació de l'amoníac són l'assimilació microbiana i la volatilització. A la Figura 5.2 es mostren els percentatges relatius de les espècies de nitrogen a l'afluent i l'efluent.

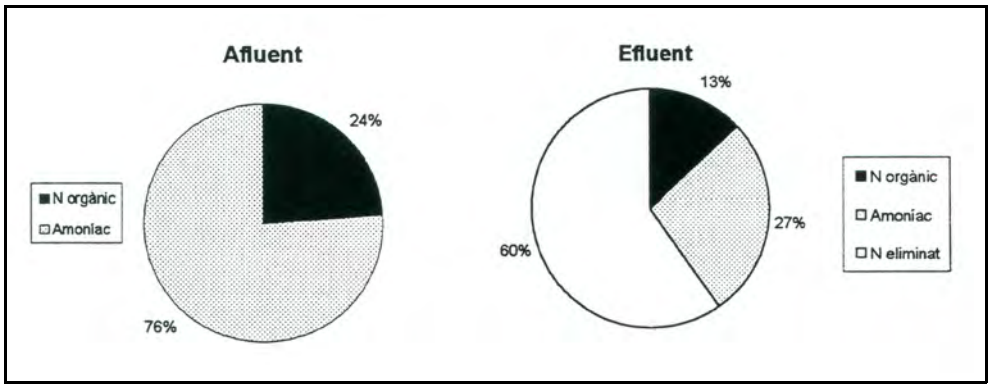


Figura 5.2. Percentatges relatius de les espècies de nitrogen a l'afluent i l'efluent de l'EDAR de Sant Gregori (Girona).

LLACUNATGE NATURAL DE MADREMANYA (GIRONA)

Madremanya (Girona) és un poble que té resolt el sanejament mitjançant un sistema de llacunatge que va ser projectat l'any 1984 (Jové, 1984). L'EDAR va ser dissenyada per depurar les aigües residuals d'una població de 160 habitants i un cabal de 20 m^3/dia. Tanmateix, al 1990 la població ja era de 203 habitants (Ordeix, 1991). L'EDAR té una superfície total de 1 430 m^2, és a dir, la superfície unitària de disseny és de gairebé 9 m^2/hab·eq. Els principals elements de que consta el sistema de tractament són (Figura 5.3):

a) Un tanc Imhoff (per al tractament primari).

b) Quatre llacunes en sèrie, la primera de les quals és facultativa, mentre que la resta són d'afinament (aeròbiques). Les principal característiques d'aquestes llacunes es mostren a la Taula 5.7.

Taula 5.7. Característiques de les llacunes del sistema de llacunatge de Madremanya. Extret d'Ordeix (1991).

Paràmetre	Llacuna facultativa	Llacuna d'afinament		
		Primera	Segona	Tercera
Superfície, m^2	572	286	286	286
Profunditat, m	1,4	1,0	1,0	1,0
Temps de permanència, dies	40	14,3	14,3	14,3

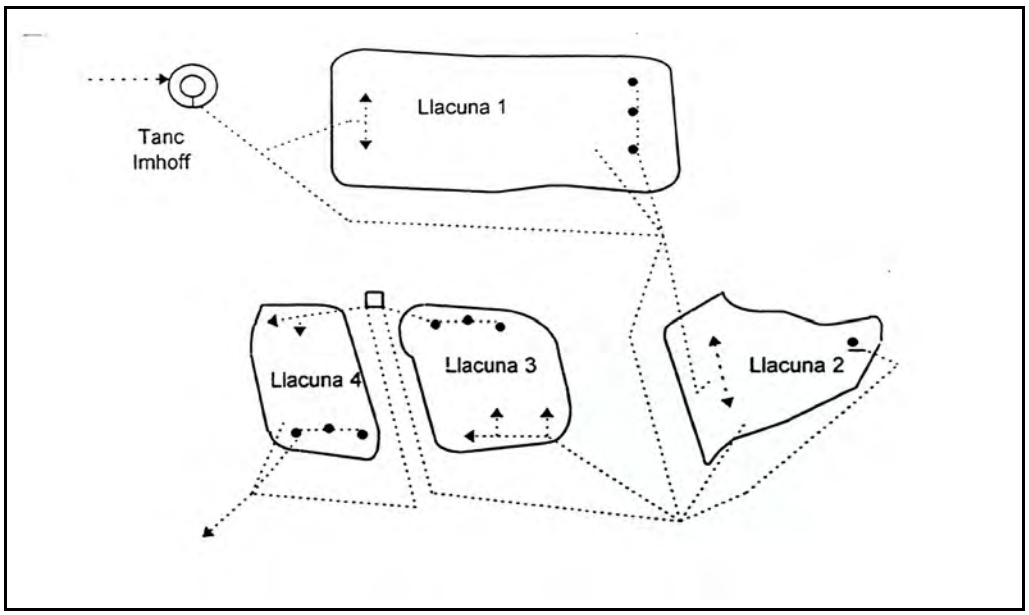


Figura 5.3. Esquema de l'EDAR de Madremanya (Girona). Extret d'Ordeix (1991).

Rendiments obtinguts

A la Taula 5.8 es mostren les concentracions mitjanes dels contaminants a l'afluent i l'efluent de l'EDAR de Madremanya observades durant l'estudi d'Ordeix (1991).

Taula 5.8. Concentració dels contaminants a l'afluent i l'efluent de l'EDAR de Madremanya (Girona) durant l'estudi realitzat per Ordeix (1991). També s'indiquen els rendiments d'eliminació.

Paràmetre	Afluent	Efluent	Rendiment d'eliminació, %
MES, mg/L	260	55	75
DBO_5, mg O_2/L	310	55	81
DQO, mg O_2/L	770	190	77
NH_3, mg N/L	86	8	91
PO_{4-3}, mg P/L	24	10	54

Com es pot observar a la Taula 5.8, els rendiments d'eliminació dels contaminants són bastant bons. Tanmateix, les concentracions de la MES i la DBO_5 de l'efluent encara són una mica elevades. D'altra banda, la concentració de nitrogen amoniacal de l'efluent és força baixa tenint en compte la concentració observada a l'afluent.

LLACUNATGE NATURAL DE CASTELLÓ D'EMPÚRIES (GIRONA)

El municipi de Castelló d'Empúries disposa d'una EDAR constituida per un sistema de llacunatge natural que va entrar en servei l'any 1988 (Jové, 1987). Aquest llacunatge es va dissenyar per tractar les aigües residuals corresponents a una població de 3000 hab·eq i un cabal mitjà diari de 550 m^3/d. La superfície ocupada és de 1,9 ha, de manera que la superfície unitària de disseny és d'aproximadament 6 m^2/hab·eq.

L'EDAR disposa dels següents elements principals:

a) Bombament des del nucli de Castelló d'Empúries fins a l'EDAR.

b) Pretractament consistent en un tamissatge de les aigües.

c) Tractament secundari en quatre llacunes, de les quals dues són facultatives i les altres dues són d'afinament (aeròbiques). Totes les llacunes estan impermeabilitzades amb terra i argila.

Costos d'inversió

Els costos de construcció del llacunatge van ser de 20 800 000 ptes(1998) segons informacions aportades pel Consorci de la Costa Brava (Lluís Sala, *pers. comm*), el que representa un cost unitari per hab·eq de 7 000 ptes(1998)/hab·eq. Com es pot observar, aquest valor és molt inferior als mostrats a la Taula 3.17 degut a que no s'inclouen les despeses d'adquisició del terreny. D'altra banda, no s'ha trobat cap document escrit on es confirmi el valor aportat pel Consorci de la Costa Brava.

Costos d'explotació i manteniment

Les principals despeses d'explotació corresponen a l'energia elèctrica necessària per bombar l'aigua des del nucli de Castelló d'Empúries fins a l'EDAR. El consum energètic s'estima en 0,06 kWh/m^3. Les despeses d'explotació i manteniment anuals (1998) són de 0,86 milions de pessetes (Mujeriego *et al.*, 1998), el que significa uns costos unitaris per a la població de disseny d'aproximadament 290 ptes/hab·eq.any.

Rendiments obtinguts

A la Taula 5.9 es mostren les concentracions dels contaminants a l'afluent i l'efluent de l'EDAR de Castelló d'Empúries.Com es pot observar a la Taula 5.9, la concentració dels contaminants a l'afluent és relativament baixa. Això és degut a que la xarxa de clavegueram té grans infiltracions d'aigua de reg agrícola que tendeixen a diluir l'aigua residual. Cal esmentar que les concentracions de microorganismes indicadors de la contaminació fecal de l'efluent són bastant baixes. Es dedueix doncs que el sistema té un bon rendiment d'eliminació dels microorganismes indicadors de la contaminació fecal.

Taula 5.9. Concentracions mitjanes reals dels contaminants a l'afluent i l'efluent de l'EDAR de Castelló d'Empúries (Girona) durant diversos estudis. També és mostren els rendiments d'eliminació.

Paràmetre	Afluent	Efluent	Rendiment d'eliminació, %
MES, mg/L (a)	115	50	57
DBO_5, mg O_2/L (a)	140	23	84
Coliforms fecals, ufc/100 mL (b)	·	8 500	·
Estreptococs fecals, ufc/100 mL (b)	·	730	·

a) Dades extretes de Mujeriego *et al.* (1998).
b) Dades extretes de Mujeriego i García (1997).

Els tres sistemes de llacunatge natural analitzats tenen com a característica en comú la capacitat per reduir significativament no només les concentracions de MES i DBO_5, sinó també les de nitrogen, fòsfor i microorganismes indicadors de la contaminació fecal. Es tracta doncs de sistemes de tractament de l'aigua bastant complets. És aconsellable dotar als sistemes de llacunatge (ja existents i als nous projectes) d'instal·lacions destinades a eliminar les microalgues, d'aquesta manera es reduirà ostensiblement la concentració de MES i de DBO_5 dels efluents. Aquestes instal·lacions poden ser simplement filtres de roques o aiguamolls construïts de flux subsuperficial.

AIGUAMOLL DE FLUX SUBSUPERFICIAL DE CAN MASSAGUER (GIRONA)

La casa de colònies de Can Massaguer es troba al municipi de Sant Feliu de Buixalleu (Girona). Té una capacitat màxima per a 130 persones. Per tractar les aigües residuals, la casa disposava d'una fossa sèptica i d'un pou d'infiltració; tanmateix, el manteniment irregular de la fossa va produir la colmatació del pou d'infiltració i al 1996 es va optar per substituir el pou d'infiltració per un aiguamoll construït de flux subsuperficial (García *et al.*, 1997).

L'aiguamoll construït de Can Massaguer està dissenyat per tractar les aigües residuals d'una població de 60 hab·eq i un cabal de 9 m^3/d. La superfície ocupada és de 230 m^2, de manera que la superfície unitària és de gairebé 4 m^2/hab·eq. A la Taula 5.10 es mostren les principals característiques tècniques d'aquesta instal·lació.

El procés de tractament és el següent: l'efluent de la fossa sèptica arriba a una arqueta de distribució que mitjançant un sobreeixidor reparteix l'aigua residual en dos llits reblerts de graves (8 mm de diàmetre) i plantats amb canyís. L'aigua és distribuïda uniformement amb una canonada perforada. El fons dels llits està impermeabilitzat amb cautxú sintètic d'1 mm de gruix. L'efluent es recull amb una canonada perforada que travessa els talussos i connecta amb una arqueta de sortida.

Taula 5.10. Principals característiques de l'aiguamoll de Can Massaguer (Girona). Extret de García *et al.* (1997).

Paràmetre	Valor
Tractament previ	Fossa sèptica
Nombre de llits	2
Àrea de cada llit, m^2	86
Longitud màxima, m	14,2
Profunditat del medi granular a la zona d'entrada, m	0,6
Profunditat del medi granular a la zona de sortida, m	0,73

Costos d'inversió i d'explotació i manteniment

A la Taula 5.11 es mostren comparativament els costos de construcció i d'explotació i manteniment de l'aiguamoll construït de Can Massaguer amb els d'un sistema convencional compacte per a la mateixa casa de colònies.

Com es pot observar a la Taula 5.11, els costos d'inversió són lleugerament superiors per l'aiguamoll construït. Tanmateix, aquesta diferència queda sobradament compensada gràcies als costos d'explotació que, en la solució adoptada, són pràcticament nuls. El cost unitari d'inversió per l'aiguamoll construït de Can Massaguer és d'aproximadament 53000 ptes/hab·eq (el cost unitari per una instal·lació de nova construcció seria superior, ja que en el cost anterior no s'inclouen les partides de la fossa sèptica).

Taula 5.11. Comparació dels costos de construcció i explotació i manteniment de l'aiguamoll construït de Can Massaguer (Girona) amb els d'un sistema convencional compacte per a la mateixa casa de colònies. Extret de García et *al* (1997).

Cost	Aiguamoll construït	Equipament convencional
Cost inversió, ptes de 1996	3 200 000	2 850 000
Cost d'explotació, ptes(1996)/any	Pràcticament nul	270 000

Rendiments obtinguts

A la Taula 5.12 es mostren les concentracions dels contaminants a l'afluent i l'efluent de l'aiguamoll de Can Massaguer. Com es pot observar a la Taula 5.12, els rendiments d'eliminació de la DBO_5 i la MES són prou elevats, de manera que les concentracions d'aquests contaminants als efluents són bastant reduïdes. D'altra banda, els rendiments d'eliminació dels nutrients (especialment l'amoníac) són baixos. Això és degut a que: 1) quan es van realitzar els assaigs l'aiguamoll només feia un any que funcionava, de manera que els rizomes del canyís encara no estaven prou desenvolupats i 2) l'aiguamoll no es va dissenyar per eliminar nutrients (Arias *et al.*, 1998).

Taula 5.12. Concentracions mitjanes dels contaminants a l'afluent i l'efluent de l'aiguamoll de Can Massaguer (Girona). També s'indiquen els rendiments d'eliminació. Extret de Arias *et al.* (1998).

Aigua	DBO_5	MES	N·kjeldahl	NH_3	P_T	PO_{4-3}
Afluent	380	160	65	63	13	11
Efluent	42	29	47	47	7	6
Rendiment d'eliminació, %	88	77	27	24	45	45

AIGUAMOLL DE FLUX SUPERFICIAL D'EMPURIABRAVA (GIRONA)

L'EDAR d'Empuriabrava es troba situada molt a prop del Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà (PNAE) i depura les aigües residuals de la urbanització d'Empuriabrava, Castelló d'Empúries (Girona). Aquesta EDAR porta a terme un tractament secundari biològic convencional de l'aigua residual, completat amb dues llacunes d'afinament.

L'any 1995 es va plantejar la possibilitat de mantenir el nivell d'aigua d'algunes de les llacunes del PNAE durant l'estiu mitjançant la reutilització de l'efluent procedent de l'EDAR. Tanmateix, era necessari realitzar un tractament terciari dels efluents per garantir la seva qualitat, atès que serien abocats a una zona sensible a l'eutrofització. S'havia de trobar una tecnologia de tractament terciari amb costos d'explotació i manteniment baixos, que no fos afectada per la forta estacionalitat de la zona, que no generés residus com a subproducte del procés de tractament i que es pogués integrar bé a la zona. Per totes aquestes raons, es va escollir l'opció d'un aiguamoll construït de flux superficial (García i Mujeriego, 1997). Tot i que l'aiguamoll és de tractament terciari, es considera que l'experiència adquirida és útil per als objectius d'aquest informe tècnic.

El sistema d'aiguamolls construïts d'Empuriabrava està dissenyat per tractar les aigües residuals generades per una població que pot variar entre els 2 500 hab·eq a l'hivern (cabal de 400 m^3/d) i els 18 000 hab·eq a l'estiu (cabal de 2 600 m^3/d). Té una superfície total de tractament de 2,3 ha, de manera que la superfície unitària per a la població d'estiu és de 1,3 m^2/hab·eq. Les instal·lacions van entrar en servei durant la primavera de 1998. A la Taula 5.13 es mostren les principals característiques tècniques del sistema d'aiguamolls.

L'esquema de procés és el següent: l'efluent de l'EDAR arriba a una arqueta de distribució, des d'on és conduït fins al sistema d'aiguamolls. A cada llacuna hi ha cinc punts d'entrada per garantir un bon repartiment de l'aigua. Les llacunes estan plantades amb canyís, boga i joncs. L'aigua surt de les llacunes per cinc punts diferents i arriba fins a una arqueta amb comporta que pot desviar-la cap a l'estany del Cortalet (al PNAE), o bé cap a una zona inundable de 5 ha.

Taula 5.13. Principals característiques tècniques del sistema d'aiguamolls construïts d'Empuriabrava (Girona). Extret en part de García i Mujeriego (1997).

Paràmetre	Valor de disseny
Nombre de llacunes	3
Àrea de cada llacuna, m^2	6 000
Pendent	0,002
Gruix de la capa impermeable d'argiles, m	0,3
Profunditat de la zona d'entrada, m	0,3
Profunditat de la zona de sortida, m	0,5
Profunditat mitjana de la zona central, m	0,4

Costos d'inversió

Els costos d'inversió tenint en compte la població de disseny d'estiu (18000 hab·eq) són d'aproximadament 3300 ptes (1998)/hab·eq (informació facilitada pel Sr. Lluís Sala, Consorci de la Costa Brava).

Rendiments obtinguts

El sistema d'aiguamolls està dissenyat per eliminar nitrogen segons les disposicions indicades a la Directiva 91/271 de la UE sobre l'abocament d'aigües residuals urbanes en zones sensibles propenses a l'eutrofització. És a dir, pel rang de població tractada l'efluent ha de tenir una concentració inferior a 15 mg N/L. A la Taula 5.14 es mostren els resultats del seguiment analític del sistema d'aiguamolls.

Taula 5.14. Concentracions mitjanes dels nutrients a l'afluent i l'efluent del sistema d'aiguamolls construïts d'Empuriabrava (Girona) des de juny fins a l'agost de 1998. Dades facilitades pel Sr. Lluís Sala (Consorci de la Costa Brava).

Paràmetre	Afluent	Efluent
N total, mg N/L	14,8	7,8
Amoniac, mg N/L	14,2	3,7
Nitrits, mg N/L	0,2	0,3
Nitrats, mg N/L	0,4	3,8
Fòsfor reactiu soluble, mg P/L	1,4	1,4

CENTRE EXPERIMENTAL D'AIGÜES RESIDUALS DE RANILLA (SEVILLA)

Quan a l'any 1975 va començar a funcionar EMASESA (Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla, SA), es va iniciar ja la preparació d'un Pla de Sanejament per a la zona de Sevilla. En aquest pla s'inclogué la creació d'un Centre Experimental d'Aigües Residuals amb l'objectiu fonamental de provar tecnologies naturals de depuració i adaptar-les per al sanejament de petites aglomeracions de la zona.

Llacunatge

El sistema de llacunatge consta de tres llacunes, una facultativa i dues d'afinament (aeròbiques) amb una superfície total de 2,1 ha. A la Taula 5.15 es mostren les principals característiques tècniques de les tres llacunes que integren el procés.

Taula 5.15. Principals característiques tècniques de les tres llacunes de què consta el llacunatge del Centre Experimental d'Aigües Residuals de Ranilla (Sevilla) (EMASESA, 1985).

Llacuna	Superfície, ha	Profunditat, m	Volum, m^3
Facultativa	1,05	1,2	12 600
Afinament 1	0,525	1	5 250
Afinament 2	0,525	0,8	4 200

La forma i disposició del sistema de llacunatge es mostra esquemàticament a la Figura 5.4. Quant a la forma de les llacunes, cal remarcar que la triada no és l'òptima perquè hi ha masses zones mortes. Les comunicacions entre les llacunes estan disposades de manera que l'aigua entra pel fons i surt per la superfície. D'aquesta forma s'evita que els flotant passin d'una llacuna cap a l'altra.

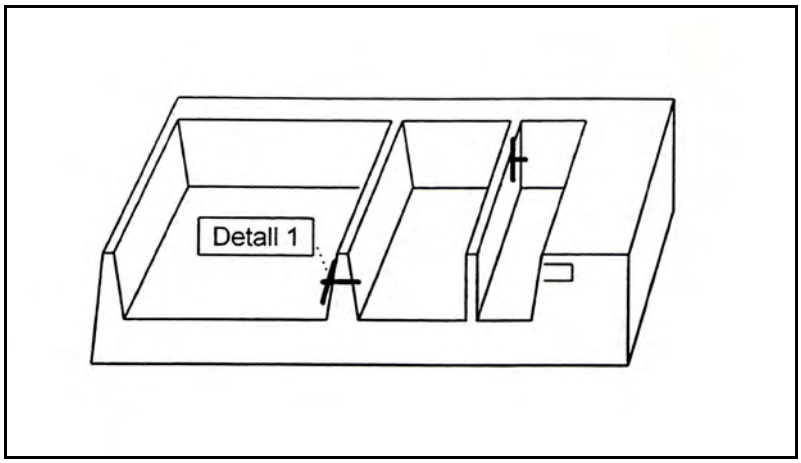


Figura 5.4. Esquema general del sistema de llacunatge del Centre Experimental d'Aigües Residuals de Ranilla (Sevilla). Extret d'EMASESA (1985).

b. Rendiments obtinguts

El llacunatge va començar a funcionar l'any 1980. Durant els anys 1980 i 1981 semblava que el sistema pogués admetre una càrrega de l'ordre de 100 kg DBO_5/ha.d. Per comprovar-ho, es va fer un estudi fixant la càrrega en aquest valor, regulant el cabal d'entrada depenent de la concentració de la DBO_5 de l'aigua residual. A la Taula 5.16 es mostren els rendiments d'eliminació de contaminants durant l'estudi a càrrega fixa.

Taula 5.16. Rendiments mitjans d'eliminació dels contaminants en el sistema de llacunatge del Centre Experimental d'Aigües Residuals de Ranilla (Sevilla) mantenint la càrrega orgànica fixa en 100 kg DBO_5/ha.d. Extret d'EMASESA (1985).

Paràmetre	Rendiment d'eliminació, %
DBO_5	90
MES	87
DQO	37
N_T	35
P_T	31

Com es pot observar a la Taula 5.16, els rendiments d'eliminació amb una càrrega fixa de 100 kg DBO_5/ha.d són adequats per la DBO_5 i la MES, i en les condicions ambientals de la zona de Sevilla. Tanmateix, per la resta de paràmetres són baixos. Si un sistema de llacunatge requereix eliminar nutrients la càrrega orgànica ha de necessàriament inferior a l'aplicada en aquest estudi.

Filtre verd

L'objectiu de l'estudi va ser avaluar la capacitat depuradora d'un filtre verd, segons la profunditat del sòl, la càrrega aplicada i la quantitat i periodicitat de reg. El filtre verd és una pollancreda de 4 ha, plantada al 1979, dividida en 6 parcel·les de 6 x 6 fileres de pollancres, d'aproximadament 20x20 m de superfície cada parcel·la. Les parcel·les estan separades en dos grups de tres, per ser regades unes amb un efluent primari i les altres amb un efluent secundari. En les parcel·les dels extrems de cada grup s'han obert rases de 1,5 m de profunditat, revestides amb maons i ciment, i on s'han instal·lat drenatges (a diferents profunditats). No es disposa dels resultats de l'avaluació d'aquest sistema.

PLANTA EXPERIMENTAL DE CARRIÓN DE LOS CÉSPEDES (SEVILLA)

La Planta Experimental de Carrión de los Céspedes va ser inaugurada el març de 1990 amb l'objectiu d'investigar sistemes de depuració de baix cost. D'aquesta manera també es pretenia crear un centre de demostració per als responsables de sanejament d'Andalusia (Junta de Andalucía, 1994). Alhora es va desenvolupar un Pla Pilot per a construir i explotar un nombre reduït de depuradores de baix cost a escala real.

La Planta Experimental rep les aigües residuals del municipi de Carrión de los Céspedes (2 500 habitants), que són repartides en varies línies de procés per a ser tractades en diferents sistemes de depuració en paral·lel, dels quals destaquen: un filtre verd, un sistema d'escorriment superficial, un llacunatge i un llit de torba.

Filtre verd

Està constituït per una superfície de terreny plantada amb pollancres. El manteniment consisteix en un rostollat trimestral del sòl per airejar, trencar crostes i esbrossar. A la Taula 5.17 es mostren els rendiments d'eliminació obtinguts en aquest filtre verd (es deconeix la càrrega hidràulica aplicada).

Taula 5.17. Rendiments mitjans d'eliminació dels contaminants del filtre verd de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Extret de Junta de Andalucía (1994).

Paràmetre	Rendiment d'eliminació, %
DBO_5	90 · 95
MES	90 · 95
DQO	90 · 95
N amoniacal	65 · 95
Ortofosfat	65 · 80

Com es pot observar a la Taula 5.17, els rendiments d'eliminació dels contaminants analitzats són en tots els casos molt elevats.

Per a conèixer l'evolució de les característiques del sòl després haver rebut aigua residual durant quatre anys de funcionament, es van recollir mostres a dues profunditats diferents (30 i 60 cm), que es van comparar amb els resultats obtinguts de les anàlisis del sòl inicial. S'observa un augment significatiu en fondària del contingut de matèria orgànica, de P i K assimilables i d'altres elements com el Fe i el Cu. Dels resultats obtinguts es dedueix que el sòl té una gran capacitat d'eliminació i de retenció dels contaminants de l'aigua residual.

Sistema d'escorriment superficial

Es tracta d'un canal plantat amb canyís (*Phragmites communis*) pel que circula l'aigua residual. Els rendiments d'eliminació dels contaminants obtinguts durant l'estudi es mostren a la Taula 5.18.

Taula 5.18. Rendiments mitjans d'eliminació dels contaminants del sistema d'escorriment superficial de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Extret de Junta de Andalucía (1994).

Paràmetre	Rendiment d'eliminació, %
DBO_5	65 · 80
MES	60 · 70
DQO	55 · 70
N amoniacal	25 · 45
Ortofosfat	20 · 30

Com es pot observar a la Taula 5.18, els rendiments d'eliminació del sistema d'escorriment superficial no són massa elevats (en relació a d'altres sistemes de tractament). En general es recomana que els sistemes d'escorriment superficial s'utilitzin com a tractament terciari.

Llacunatge

El llacunatge de Carrión de los Céspedes està constituït per dues llacunes anaeròbiques en paral·lel, seguides d'una llacuna facultativa i d'una llacuna d'afinament. A la Taula 5.19 es mostren els rendiments d'eliminació dels contaminants de cadascuna de les tipologies de llacunes en relació amb l'aigua residual.

Taula 5.19. Rendiments mitjans d'eliminació (en %) dels contaminants en relació a l'aigua residual a cadascuna de les llacunes que integren el llacunatge de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Extret de Junta de Andalucía (1994).

Paràmetre	Tipus de llacuna		
	Anaeròbiques	Facultativa	Afinament
DBO_5	50 · 55	60 · 80	75 · 85
MES	50 · 65	0 · 70	40 · 80
DQO	45 · 50	55 · 75	70 · 80
N amoniacal	0 · 15	30 · 60	38 · 80
Ortofosfat	0 · 5	0 · 30	10 · 60

Com es pot observar a la Taula 5.19, el rendiment mitjà d'eliminació dels contaminants al final del procés (rendiment que ve reflectit pel de la llacuna d'afinament) és l'equivalent al que assoleix un tractament secundari convencional. A més el sistema té una bona capacitat d'eliminació de nutrients. Les llacunes anaeròbiques redueixen significativament les concentracions de la DBO_5, la MES i la DQO. L'eliminació de nutrients té lloc més aviat a les llacunes facultativa i d'afinament.

Llit de torba

Les experiències realitzades amb el llit de torba van anar destinades a trobar la combinació de diferents processos de tractament que juntament amb els llits de torba permetien obtenir uns efluents de més bona qualitat. Per aquesta raó es van comparar els rendiments d'eliminació dels següents sistemes: 1) només llit de torba, 2) llacuna anaeròbica seguida del llit de torba i 3) llit de torba seguit d'una llacuna d'afinament. A la Taula 5.20 es mostren els rendiments d'eliminació dels contaminants de les diferents combinacions de processos estudiades.

Com es pot observar a la Taula 5.20, el rendiments d'eliminació de la MES, la DBO_5 i la DQO són similars a les tres combinacions de tractament estudiades. Els rendiments d'eliminació de nutrients són significativament superiors al sistema de tractament format pel llit de torba i la llacuna d'afinament.

Taula 5.20. Rendiments mitjans d'eliminació (en %) dels contaminants en els diferents tipus de combinacions de sistemes de tractament amb llits de torba de la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Extret de Junta de Andalucía (1994).

Paràmetre	Sistema de tractament		
	Només llit de torba	Llacuna anaeròbica i llit de torba	Llit de torba i llacuna d'afinament
DBO_5	80 - 85	-	90
MES	85 - 90	90	-
DQO	75 - 80	80	80
N amoniacal	30 - 40	35	70
Ortofosfat	10 - 20	-	50

ELIMINACIÓ DE NUTRIENTS MITJANÇANT SISTEMES NATURALS

L'eliminació de nutrients de l'aigua residual sovint és necessària per evitar l'eutrofització del medi receptor i per garantir la seva qualitat sanitària. El tractament de nutrients va destinat fonamentalment a eliminar nitrogen i/o fòsfor. Els sistemes de tractament natural es poden dimensionar i dissenyar amb l'objectiu d'eliminar els nutrients de l'aigua residual (Reed *et al.*, 1995). La principal característica que presenten els sistemes naturals dissenyats específicament per eliminar nutrients és la necessitat d'una superfície de tractament superior respecte als mateixos sistemes dimensionats exclusivament per al tractament secundari. Tanmateix, els sistemes naturals de tractament secundari tenen una certa capacitat per eliminar nutrients. A continuació per a cada nutrient s'exposa els mecanismes d'eliminació dels diferents sistemes de tractament natural i els resultats obtinguts (es fa una referència especial als sistemes de Catalunya quan es disposa d'informació).

Nitrogen: sistemes basats en el sòl

El nitrogen és precisament un dels paràmetres de disseny dels filtres verds (veure Capítol 3). Un contingut excessiu de nitrats en l'aigua després d'haver passat per la zona d'infiltració pot provocar la contaminació de les aigües subterrànies, especialment si no hi ha recuperació. Els principals mecanismes d'eliminació del nitrogen en els filtres verds són els següents: adsorció de l'amoníac al sòl, nitrificació i desnitrificació, i assimilació vegetal. Els rendiments d'eliminació del nitrogen obtinguts amb filtres verds de tractament secundari són molt elevats perquè el seu disseny té en compte el nitrogen (veure Taula 3.7). A Catalunya només es disposa de dades del filtre verd de tractament terciari de Begur, el qual obté efluents amb concentracions de nitrogen menors de 10 mg N/L (Sala *et al.*, 1997).

El principal mecanisme d'eliminació de nitrogen en els sistemes d'infiltració ràpida és la nitrificació seguida de la desnitrificació. L'adsorció de l'amoníac és en aquest cas un mecanisme secundari perquè els sòls utilitzats són permeables i els grans són de tamany relativament gran. Els rendiments d'eliminació de nitrogen aconseguits amb aquests sistemes com a tractament secundari són inferiors que els obtinguts amb els filtres verds (veure Taula 3.10), per això es recomana en general recuperar l'aigua. La nitrificació generalment està garantida.

Els sistemes d'escorriment superficial tenen comparativament amb els altres sistemes basats en el sòl poca capacitat per eliminar el nitrogen (veure Taula 3.12). Això es degut a que l'assimilació vegetal és gairebé l'únic mecanisme d'eliminació.

Nitrogen: sistemes aquàtics

El cicle del nitrogen en els sistemes de llacunatge és molt complicat (Reed, 1985; García, 1996). Els principals mecanismes són: l'assimilació algal i posterior sedimentació de les cèl·lules, la volatilització de l'amoníac, la nitrificació seguida de la desnitrificació i l'adsorció sobre partícules i posterior sedimentació. Un llacunatge dissenyat per eliminar específicament nitrogen pot obtenir efluents amb concentracions gairebé inapreciables. Els rendiments d'eliminació de nitrogen aconseguits amb llacunatges com a tractament secundari poden ser bastant elevats (veure Taula 3.19). Per exemple, els rendiments mitjans d'eliminació de nitrogen i de l'amoníac del llacunatge de Sant Gregori són del 60 i 65 % respectivament (veure Taula 5.6 i Figura 5.2). El rendiment d'eliminació de l'amoníac del llacunatge de Madremanya és del 91% (veure Taula 5.8) i a més la concentració mitjana d'amoníac és inferior a 10 mg N/L (Ordeix, 1991). Les denominades llacunes d'alt rendiment tenen una gran capacitat per eliminar nitrogen (García, 1996). Aquestes llacunes representen una solució molt adequada quan no es disposa de la superfície suficient per construir llacunes facultatives.

El principal mecanisme d'eliminació del nitrogen dels aiguamolls construïts és la nitrificació seguida de desnitrificació. L'assimilació vegetal és un mecanisme que té un rendiment molt baix (aproximadament un 10% segons Reed *et al.* (1995)). Els aiguamolls construïts dissenyats específicament per eliminar nitrogen poden obtenir efluents amb concentracions molt baixes. És el cas de l'aiguamoll de flux superficial de tractament d'Empuriabrava, que obté efluents amb concentracions menors de 10 mg N/L (veure Taula 5.14). La tecnologia d'aiguamolls construïts de flux subsuperficial es pot adaptar molt bé a l'eliminació de nitrogen combinant llits amb flux vertical i horitzontal, i amb medis de diferent granulometria (Kadlec i Knight, 1996). Els rendiments d'eliminació de nitrogen dels aiguamolls construïts de flux subsuperficial de tractament secundari són relativament baixos en comparació amb els obtinguts en d'altres sistemes (veure Taula 5.12).

Els llits de torba tenen rendiment d'eliminació de nitrogen generalment baixos (veure Taula 3.24).

Fòsfor

Els rendiments d'eliminació de fòsfor aconseguits pels sistemes de tractament natural són generalment baixos (no superiors al 60%). Quan és necessari eliminar fòsfor s'aconsella dotar al sistema d'un procés unitari addicional per tractar específicament el fòsfor (per exemple precipitació química). L'experiència disponible a Catalunya indica que els llacunatges poden eliminar fins a un 50% del fòsfor (veure Taules 5.6 i 5.8). Les concentracions dels efluents oscil·len al voltant de 10 mg P/L. L'eliminació de fòsfor en els aiguamolls construïts de flux subsuperficial està fonamentalment limitada a la capacitat d'adsorció del medi granular, de manera que durant la posada en marxa de les instal·lacions es poden obtenir bons rendiments però amb el pas del temps aquests disminueixen (veure Taula 5.12).

SISTEMES DE TRACTAMENT AUTÒNOM GAPPEI-SHORI JOHKASOU (JAPÓ)

Aquests sistemes van ser desenvolupats al Japó i s'apliquen per al tractament de les aigües residuals domèstiques de petites aglomeracions (JECES, 1995). Tanmateix, el seu principal camp d'aplicació són les cases aïllades amb pocs habitants. El seu funcionament es basa en el tractament biològic convencional (es tracta de plantes compactes). A les Figures 5.5 i 5.6 es mostren esquemes d'aquest sistema de sanejament.

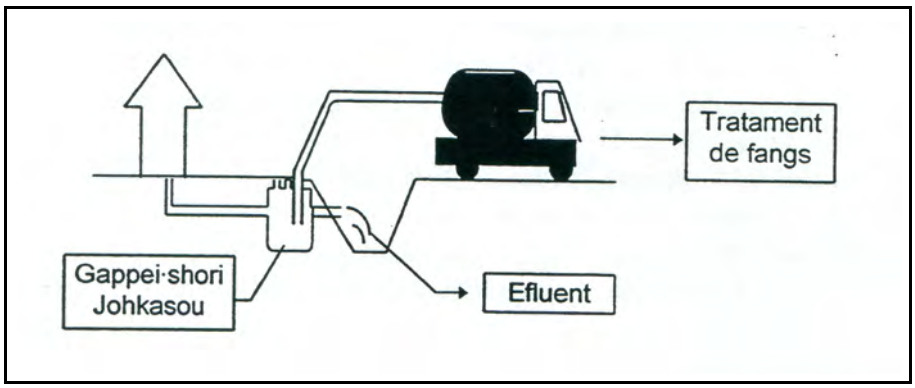


Figura 5.5. Esquema de situació i del procés del sistema Gappei-Shori Johkasou aplicat al Japó per a petites aglomeracions. Extret de JECES (1995).

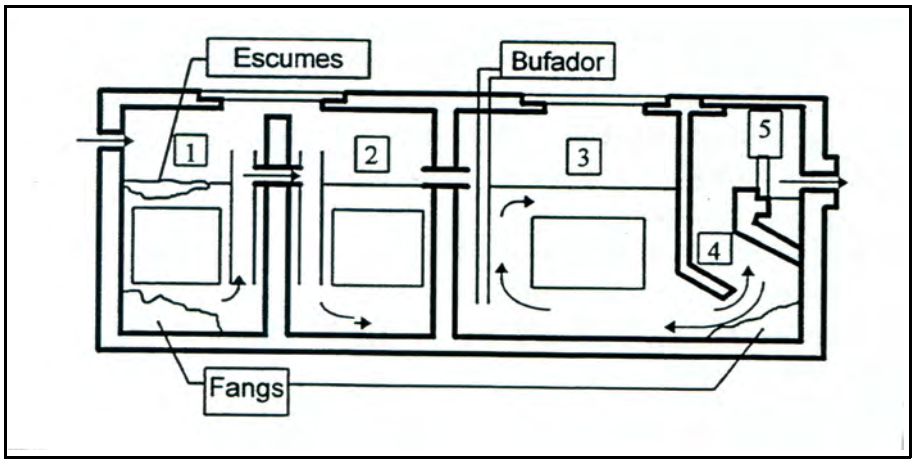


Figura 5.6. Esquema dels compartiments de què consta la unitat principal del sistema Gappei-Shori Johkasou. Extret de JECES (1995).

El compartiment 1 és la primera cambra de filtració anaeròbica, on se separa la MES de l'aigua residual. Els fangs dipositats s'emmagatzemen durant un cert temps. El compartiment 2 és la segona cambra de filtració anaeròbica, que té la mateixa funció que la primera (millora del procés). El compartiment 3 és la cambra d'aireig, on s'elimina la matèria orgànica dissolta. El compartiment 4 és la zona de decantació, on els fangs sedimenten i s'acumulen. El compartiment 5 és la cambra de desinfecció que té com a objectiu assegurar la qualitat sanitària dels efluents.

Construcció

La seva construcció acurada és molt important per tal de poder assegurar el funcionament òptim. Solen prefabricar-se amb plàstic reforçat amb fibra de vidre. Quan s'instal·len han de quedar horitzontals perquè en cas contrari no hi hauria una repartició homogènia de l'aireig. A més, una disposició desequilibrada pot fer circular l'aigua a gran velocitat arrossegant així els fangs dipositats. Quan s'instal·la sota terra s'ha de tenir en consideració la tipologia i les condicions del sòl i la pressió de l'aigua. En un sòl rocós fàcilment es poden foradar les parets i produir-se pèrdues. D'altra banda, pressions d'aigua exteriors molt grans poden malmetre la seva estructura.

El procés constructiu seguit és el següent:

a) Moviment de terres: excavació d'un forat de dimensions suficients per poder instal·lar-hi el sistema.

b) Fonamentació: reompliment amb runa compactada per tal de poder assegurar la horitzontalitat.

c) Instal·lació del sistema i comprovació de la seva horitzontalitat.

d) Ompliment del sistema amb aigua neta per protegir-lo de cops i de possibles deformacions durant el reompliment de terres. Permet la detecció de pèrdues.

e) Reompliment: en dues etapes i compactant la terra al voltant del tanc.

f) Connexió de les canonades d'entrada i sortida de l'aigua.

g) Instal·lació dels equips electromecànics auxiliars: bufadors i bombes.

h) Instal·lació elèctrica.

i) Realització d'un test de comprovació.

Per instal·lar sistemes Gappei-Shori Johkasou es necessita una autorització del govern Japonès. Els contractistes disposen de treballadors qualificats que han cursat estudis per acreditar la seva formació.

Explotació i manteniment

El control té lloc sobre cada part del procés i sobre la qualitat de l'efluent. Amb una periodicitat de tres vegades a l'any com a mínim és necessari:

a) Mesurar la terbolesa i el pH a l'efluent de les cambres de filtració anaeròbica. També s'ha de controlar el fang acumulat. Quan s'arriba al límit de la capacitat d'emmagatzematge de fangs s'ha de procedir al seu buidatge.

b) Mesurar la temperatura, la terbolesa, el pH i l'oxigen dissolt a l'efluent de la cambra d'aireig. Si s'observa una biopel·lícula massa gruixuda a la superfície del tanc s'ha de rentar contracorrent.

c) Mesurar la terbolesa i el pH a l'efluent del decantador. També s'ha de mesurar el fang acumulat i procedir al seu buidatge si és necessari.

d) Mesurar el clor lliure residual a l'efluent de la cambra de desinfecció.

e) També és necessari comprovar el funcionament, netejar i reparar cadascun dels equips electromecànics d'acord amb les seves especificacions de manteniment.

La neteja consisteix en l'extracció dels fangs acumulats i de l'escuma, abans que s'escapin amb l'efluent. Com a mínim té lloc una vegada a l'any. El procés de neteja seguit és:

a) Es requereix un vehicle capaç de portar de dues a quatre tones de fangs.

b) S'extrauen l'escuma i el fang dipositats a la primera cambra de filtració anaeròbica. Després es neteja el filtre amb aigua neta i posteriorment s'extrau l'aigua del fons.

c) S'extrauen l'escuma i el fang dipositats a la segona cambra de filtració anaeròbica, a la cambra d'aireig, al decantador i a la cambra de desinfecció. La quantitat d'aigua neta utilitzada és variable, depenent de l'acumulació de fangs a cada part.

e) Transport i tractament dels fangs.

Legislació

Durant molt temps gran part dels sistemes Gappei-shori Johkasou van funcionar sense explotació, manteniment i neteja, contaminant greument alguns cursos d'aigua superficial. El govern va establir una llei (Llei de Johkasou, 1983) per regular tot el procés de fabricació, d'instal·lació i d'explotació, amb l'objectiu d'evitar aquesta contaminació. Aquesta llei consta dels següents punts:

a) Normes generals.

b) Instal·lació dels sistemes Johkasou.

c) Explotació, manteniment i neteja dels sistemes Johkasou.

d) Aprovació dels sistemes Johkasou.

e) Registre dels negocis de construcció dels sistemes Johkasou.

f) Autorització dels negocis de neteja dels sistemes Johkasou.

g) Tècnics instal·ladors qualificats de sistemes Johkasou.

h) Operadors qualificats de sistemes Johkasou.

i) Regles diverses.

j) Sistema penal.

Avantatges

Els avantatges dels sistemes Gappei-Shori Johkasou són:

a) Es pot tractar l'aigua residual domèstica de qualsevol indret.

b) Tenen un cost de construcció baix.

c) Requereixen un temps de construcció curt.

d) No són massa afectats per les condicions topogràfiques de la zona ja que ocupen molt poc espai.

Un sistema Gappei-Shori Johkasou es pot considerar com una fossa sèptica profundament modificada i millorada. Aquests sistemes constitueixen una bona alternativa per al sanejament autònom o de nuclis molt petits (per exemple menors de 50 hab·eq). Tanmateix, potser l'aspecte de més interès és el model de gestió: l'usuari (o comunitat d'usuaris) no ha d'explotar i mantenir el seu sistema de sanejament, es disposa de personal qualificat contractat que s'encarrega que les instal·lacions funcionin adientment i a més que es responsabilitza dels rendiments obtinguts. Les despeses d'explotació i manteniment són cobertes per l'usuari.

EXPERIÈNCIA A CATALUNYA SOBRE ELS REACTORS BIOLÒGICS SEQÜENCIALS

La gran part de les instal·lacions de fangs activats que tracten les aigües residuals de nuclis menors de 2 000 hab·eq a Catalunya són de la tipologia d'aireig perllongat. Tanmateix, la Junta de Sanejament ha posat en servei dues instal·lacions de reactors biològics seqüencials. Les EDAR de Cercs (Barcelona) i de Santa Pau (Girona) van entrar en servei al desembre de 1997 amb un cost d'inversió de 48 800 ptes(1998)/hab·eq i 34 200 ptes(1998)/hab·eq respectivament. Les dues EDAR disposen de dos reactors de fangs activats de flux seqüencial en paral·lel (Barajas, 1998). A la Taula 5.21 es mostren els principals paràmetres de disseny d'ambdues instal·lacions.

Taula 5.21. Principals paràmetres de disseny de les EDAR de Cercs i de Santa Pau (basades en el procés de fangs activats de flux seqüencial). Extret de Barajas (1998).

Paràmetre	EDAR Cercs	EDAR Santa Pau
Cabal, m^3/d	500 (a)	300
Població equivalent, hab·eq	2500	1900
DBO_5 afluent, mg O_2/L	300	380
DBO_5 efluent, mg O_2/L	$\leq$25	$\leq$25
MES afluent, mg/L	250	240
MES efluent, mg/L	$\leq$35	$\leq$35

a) El cabal mitjà diari actual és de 700 m^3/d degut a infiltracions.

L'EDAR de Cercs funciona amb cicles de 4 hores a cadascun dels reactors, que es van alternant successivament. L'emplenament i l'aireig té una durada de 2 hores. A continuació el líquid de mescla decanta durant 1 hora i el buidat té lloc també en 1 hora. Les variacions de cabal es compensen aprofitant el volum disponible a les cambres de bombament, que actuen com a dipòsits de regulació. Malgrat que no hi ha cap fase anòxica durant l'emplenament, no s'han observat problemes de bacteris filamentosos. S'ha detectat una nitrificació bastant intensa encara que al disseny no estava prevista. Pròximament s'adoptarà un cicle de 6 hores per eliminar nitrogen: emplenament de 3 hores, que alterna fases anòxiques i aeròbiques de 15 minuts cadascuna, decantació del líquid de mescla durant 1 hora i buidat en 2 hores. L'aplicació d'aquest cicle és possible perquè l'EDAR està equipada amb agitadors que permeten assolir fases anòxiques.

L'EDAR de Santa Pau va entrar en servei amb un únic reactor, de manera que l'alimentació era continuada. Tanmateix, actualment la planta funciona amb dos reactors. L'EDAR no es pot adaptar a l'eliminació de nitrogen mitjançant nitrificació seguida de desnitrificació perquè no té agitadors que permetin assolir fases anòxiques.

L'experiència a Catalunya amb reactors seqüencials de fangs activats indica que són una excel·lent alternativa de tractament per petites aglomeracions quan la construcció d'un sistema de tractament natural no és viable o quan es requereix eliminar nutrients. Obtenen efluents de molt bona qualitat, no presenten problemes de bacteris filamentosos i amb la tecnologia actual disponible són relativament senzills d'operar. La seva forma cíclica de funcionar permet fàcilment programar-los per nitrificar o fins i tot eliminar nitrogen (Barajas, 1998).

INSTAL·LACIONS A LES ILLES BALEARS

Fins a la creació de l'IBASAN (Institut Balear de Sanejament), la depuració de les aigües residuals a les illes Balears era competència exclusiva dels municipis, que construïen les plantes de tractament en col·laboració amb el *Servicio Hidráulico* (Iturbide, 1995). Els criteris de selecció del tipus de sistema de tractament per a les instal·lacions de menys de 2000 hab·eq que se seguien eren els següents:

a) En nuclis turístics, on el preu del terreny era elevat i tenien forta estacionalitat, les EDAR projectades es basaven en el procés de fangs activats.

b) En nuclis rurals, on es disposava de més superfície i el preu del terreny era més baix, les EDAR projectades es basaven en llacunatge natural.

Tanmateix, coincidint amb la creació de l'IBASAN, les EDAR existents es van haver de modificar i els criteris de selecció van ser revisats amb l'objectiu de poder adaptar-se a:

a) Un increment dels cabals punta, sobretot en les EDAR situades a la zona costanera.

b) Les exigències dels efluents d'acord amb la Directiva 91/271 de la Unió Europea.

Així, quant al disseny de noves plantes de tractament, la tendència és aplicar processos de fangs activats. Pel que fa als tractaments físic-químics, es reserven per a l'eliminació del fòsfor o com a tractaments complementaris, ja que els seus costos d'explotació i manteniment són molt elevats.

En el cas dels llacunatges naturals, l'IBASAN es va trobar amb les següents dificultats: 1) els efluents sovint no complien els requeriments de la Directiva 91/271, 2) presentaven rigidesa en la seva explotació, 3) el cost del terreny a utilitzar en instal·lacions de nova construcció era molt elevat i 4) amb freqüència emetien males olors. Per totes aquestes raons, els llacunatges naturals van deixar de considerar-se com una alternativa vàlida en el projecte d'EDAR. No obstant, en alguns casos s'han seguit utilitzant, però amb un pretractament adequat i amb una bona impermeabilització de les llacunes. D'aquesta forma els costos d'inversió han arribat a ser similars als d'una EDAR convencional de fangs activats.

A les Taules 5.22, 5.23 i 5.24 es mostren les EDAR construïdes fins a l'abril de 1995 a les Illes Balears per a municipis de fins a 2 000 hab·eq. Els costos d'inversió unitaris indicats en aquestes taules no són estrictament comparables perquè inclouen, a més de les pròpies despeses del procés, les despeses de col·lectors i d'estructures de protecció. Per aquest motiu s'explica, per exemple, que els costos unitaris d'inversió de Sant Joan i Deià (Mallorca) siguin tan diferents quan en canvi tracten una mateixa població.

Taula 5.22. EDAR construïdes a l'illa de Menorca en municipis de menys de 2000 hab·eq fins a l'abril de 1995. També s'indiquen alguns dels paràmetres de disseny. Extret d'Iturbide (1995).

Municipi	Població hab·eq	Tipus de tractament	Q m^3/dia	DBO_5 mg O_2/L	MES mg/L	Inversió milers ptes/hab·eq
Sant Miquel	500	Fangs activats Aireig perllongat	125	280	300	140
Cala Galdana	1 000	Fangs activats Aireig perllongat	250	430	300	135
St. Climent	1 600	Fangs activats Aireig perllongat	400	400	300	46,25
Es Migjorn Gran	1 600	Llacunatge natural	320	340	320	150

Taula 5.23. EDAR construïdes a l'illa d'Eivissa en municipis de menys de 2000 hab·eq fins a l'abril de 1995. També s'indiquen alguns dels paràmetres de disseny. Extret d'Iturbide (1995).

Municipi	Població hab·eq	Tipus de tractament	Q m^3/dia	DBO_5 mg O_2/L	MES mg/L	Inversió milers ptes/hab·eq
St. Josep	1 000	Fangs activats Convencional	150	350	300	53
Cala Sant Vicenç	2 000	Llacunatge airejat	500	280	360	26,6

Taula 5.24. EDAR construïdes a l'illa de Mallorca en municipis de menys de 2000 hab·eq fins a l'abril de 1995. També s'indiquen alguns dels paràmetres de disseny. Extret d'Iturbide (1995).

Municipi	Població hab·eq	Tipus de tractament	Q m^3/dia	DBO_5 mg O_2/L	MES mg/L	Inversió milers ptes/hab·eq
Capdellà	720	Fangs activats Convencional	180	450	450	55,6
Estellencs	800	Fangs activats Aireig perllongat	150	300	350	31,2
Banyalbufar	1 000	Fangs activats Doble etapa	200	300	300	54,1
Costitx	1 000	Fangs activats Aireig perllongat	200	350	300	62,2
Lloret	1 200	Fangs activats Aireig perllongat	240	350	300	61,7
Mancor de la Vall	1 200	Fangs activats Aireig perllongat	240	350	300	45,8
Puigpunyent	1 500	Fangs activats Aireig perllongat	150	350	300	26,7
Sta. Eugènia	1 500	Fangs activats Convencional	225	350	300	62
Cala Figuera	1 750	Fangs activats Aireig perllongat	460	350	350	57,1
Calvià	1 800	Fangs activats Convencional	450	450	400	45,6
St. Joan	2 000	Fangs activats Aireig perllongat	400	350	300	35
Deià	2 000	Fangs activats Aireig perllongat	500	300	300	74,5

Com es pot observar en les Taules anteriors, gairebé totes les EDAR estan basades en el procés de fangs activats d'aireig perllongat. La resta d'instal·lacions són un llacunatge airejat a Cala Sant Vicenç i un llacunatge natural a Es Migjorn Gran.

CAPÍTOL 6

SANEJAMENT DE PETITES AGLOMERACIONS EN D'ALTRES PAÏSOS

En aquest capítol s'avalua l'experiència d'altres països en el sanejament de petites aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq. S'han estudiat els casos de: 1) França, 2) Itàlia, 3) Dinamarca, 4) Alemanya, 5) Noruega i 6) Estats Units. També es descriu el Pla Director de Tecnologies ni Convencionals d'Andalusia.

FRANÇA

La legislació francesa distingeix tres categories d'instal·lacions de tractament d'aigües residuals:

a) Les instal·lacions de sanejament col·lectiu amb capacitat superior a 120 kg DBO_5/dia (més de 2 000 hab·eq), que requereixen fins a un tractament secundari.

b) Les instal·lacions de sanejament autònom, que requereixen també fins a un tractament secundari.

c) Les instal·lacions de sanejament col·lectiu amb capacitat inferior a 120 kg DBO_5/dia, que tracten les aigües residuals de comunitats de menys de 2 000 hab·eq, i que requereixen de *tractaments adequats* que permeten respectar els objectius de qualitat establerts pel medi receptor.

Les solucions i les alternatives de *tractament adequat* es defineixen a la Llei de 21 de juny de 1996 i a la Circular de 17 de febrer de 1997 (AESN, 1997). A continuació es descriuen i s'analitzen aquestes normatives.

Objectius

L'objectiu principal de la Llei i la Circular és fixar les prescripcions tècniques i els requeriments d'abocament relatius a les obres de sanejament per comunitats menors de 2 000 hab·eq, amb la finalitat de limitar els riscos de contaminació del medi receptor.

Abocament

Les aigües residuals no poden abocar-se al medi receptor si no reben un *tractament adequat* per tal de garantir:

a) La protecció dels aqüífers, les aigües superficials continentals i les aigües marines.

b) Els objectius de qualitat establerts per al medi receptor.

c) Els objectius de reducció de la càrrega contaminant.

Els punts d'abocament en aigües superficials continentals han d'estar localitzats adequadament per minimitzar l'efecte contaminant sobre les aigües receptores i assegurar una dilució òptima. L'elecció dels emplaçaments ha de tenir en compte la proximitat de captacions d'aigua potable, de zones de bany i d'àrees piscícoles. La temperatura de l'efluent en el punt d'abocament ha de ser de menys de 30°C i el seu pH ha d'estar entre 5,5 i 8,5. Han de ser efluents com a mínim tractats per via físic-química o, si és necessari, per via biològica. S'ha de tenir en compte que el rendiment mínim de les instal·lacions de tractament de tipus físic-químic és del 30% per a la DBO_5 i del 50% per a la MES, mentre que el de les instal·lacions de tractament biològic és del 60% per a la DBO_5 i la DQO. La DBO_5 dels efluents de tractaments biològics és com a màxim de 35 mg O_2/L. Aquests rendiments poden ser augmentats, exigint l'eliminació de nutrients, d'acord amb els objectius establerts per al medi receptor.

Els efluents abocats al sòl hauran de tractar-se en funció de la permeabilitat del sòl, d'acord a un balanç entre la seva capacitat d'infiltració i l'evaporació. Els dispositius de tractament projectats han d'assegurar l'estabilitat de la capacitat d'infiltració i l'evacuació de l'aigua pel sòl. S'han de tenir en compte l'emplaçament, les característiques hidrogeològiques del sòl, la superfície de les parcel·les d'aplicació i el volum i la freqüència de les aplicacions. L'abocament al sòl només es pot utilitzar quan no es provoquin alteracions negatives del propi sòl, de la capa vegetal i de les aigües subterrànies. El pH de l'efluent que s'ha d'infiltrar ha d'estar comprès entre 6,5 i 8,5. L'emmagatzematge eventual dels efluents tractats per a la seva posterior infiltració ha de tenir lloc en compartiments estancs aïllats, capaços d'assegurar una reserva suficient i han d'estar protegits per evitar qualsevol risc sanitari per a la població.

L'aptitud dels sòls per a l'abocament dels efluents es determina amb un estudi previ que avalua:

a) L'impacte de la infiltració en els aqüífers.

b) Les dimensions del dispositiu d'infiltració.

c) Les mesures necessàries per limitar els riscs per a la salut pública.

Dimensionament i implantació

L'estudi previ ha de justificar la capacitat de les instal·lacions d'acord amb:

a) La càrrega contaminant a tractar en temps sec i les característiques de les aigües residuals (domèstiques, urbanes i industrials) preveient les variacions estacionals.

b) La contaminació afegida en temps de pluja.

c) Els plans urbanístics i les característiques de les xarxes de sanejament, tenint en compte les extensions previstes.

d) Les aportacions d'aigües paràsites.

Les instal·lacions projectades no han de provocar molèsties a la població. Així doncs, han de ser previstes i explotades de manera que el seu funcionament minimitzi l'emissió d'olors, de sorolls o de vibracions mecàniques susceptibles d'afectar la salut pública i la seguretat i la tranquil·litat del veïnatge. Tots els equips i les instal·lacions han d'estar provistos d'un accés per poder efectuar revisions periòdiques. A més, tot el conjunt de les instal·lacions ha d'estar delimitat per una tanca. Si la instal·lació disposa de llacunes per recollir aigua de pluja, aquestes han de ser estanques i s'han de poder buidar en menys de 24 hores.

Les recomanacions fonamentals durant la realització dels estudis previs són:

a) Delimitar les zones del territori que tindran sanejament col·lectiu i les que tindran sanejament autònom. El Pla de Sanejament ha de ser coherent i progressiu, amb l'objectiu de repartir clarament les responsabilitats entre la comunitat i els usuaris. Les Agències de l'aigua acorden els sistemes d'ajuts per a la realització dels estudis necessaris.

b) Trobar solucions adaptades al medi rural. S'ha de tenir en compte sobretot la dispersió de l'habitatge i el sanejament col·lectiu de les petites comunitats. Quan el sanejament autònom no és viable, s'ha d'optar preferentment per un sanejament col·lectiu de proximitat, basat en tècniques manllevades del sanejament autònom. Aquesta alternativa serà sovint millor que la connexió sistemàtica a un sistema de sanejament central. El sanejament centralitzat d'habitatges dispersos té costos elevats i presenta dificultats en l'explotació.

L'èxit del sanejament al medi rural passa per una organització assenyada i racional dels diferents sistemes de tractament. Les Agències de l'aigua i els serveis departamentals de l'Estat involucrats han d'aconsellar les comunitats per trobar, en cada cas particular, la solució més adequada. Les tecnologies utilitzades es descriuen en l'apartat següent.

Tecnologies aplicades al medi rural

La llei francesa permet una primera aproximació a la tècnica de *tractament adequat* segons la població equivalent servida (Taula 6.1).

a) Tractaments convencionals

Són ben coneguts i molt difosos. Els tractaments amb fangs activats d'aireig perllongat són els més utilitzats. Sovint però, aquesta tecnologia no representa la millor solució, ja que té unes exigències d'explotació, control i manteniment difícilment assumibles per les petites aglomeracions. A més, presenta despeses de d'explotació i manteniment elevades.

L'aplicació de tractaments convencionals ha de tenir en compte l'emmagatzematge i gestió dels fangs, la fiabilitat dels equipaments electromecànics i el bon dimensionament dels decantadors.

b) Llacunatges

El llacunatge natural està molt estès a França, prop del 20% de les instal·lacions existents són d'aquesta tipologia. Es recomana assegurar l'estanqueïtat de les llacunes, ja que aquesta afecta al bon funcionament del procés i preserva la qualitat sanitària

dels aqüífers. El llacunatge natural es reserva al tractament d'efluents poc concentrats (DBO_5 inferior als 300 mg O_2/L) i sense caràcter sèptic.

Taula 6.1. Tecnologies de *tractament adequat* segons la població equivalent a França. Extret de la Circular de 17 de febrer de 1997 sobre el sanejament col·lectiu d'aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq (AESN, 1997).

Tecnologies	Fins a 50	50 a 100	100 a 200	200 a 300	300 a 400	400 a 500	500 a 1000	1000 a 2000
Sistemes d'infiltració (a)	x	x	x	x	x			
Aiguamolls construits		x	x	x				
Llacunatge natural		x	x	x	x	x		
Llacunatge airejat					x	x	x	x
Biodiscs					x	x		
Filtres percoladors						x	x	x
Fangs activats amb aireig perllongat						x	x	x

a) Inclou els sistemes d'infiltració subterrània de sanejament autònom, els filtres verds i els sistemes d'infiltració ràpida.

c) Sistemes d'infiltració

La utilització del sòl en la depuració permet bons rendiments quant a la degradació de la matèria orgànica, la nitrificació i la reducció de la càrrega contaminant bacteriana. L'eliminació del fòsfor i la desnitrificació no poden ser en general obtingudes amb fiabilitat.

L'afluent ha de ser sotmès prèviament com a mínim a una decantació primària per tal d'assegurar una infiltració durable. A més, en el cas d'infiltració ràpida, entre cada dos períodes d'aplicació hi ha d'haver una fase de repòs que permeti la mineralització de la biopel·lícula produïda i asseguri la capacitat d'infiltració. L'oxigen necessari per la depuració és aportat per aireig natural.

El tractament no és eficaç en medi saturat. Els estudis preliminars han de demostrar la possibilitat de garantir una correcta distribució de l'aigua residual i l'evacuació de l'aigua tractada. També s'ha de controlar el nivell de l'aqüífer subjacent, especialment en els sistemes sense dispositius drenants.

Nivells de tractament

A la Taula 6.2, es mostren els diferents nivells de tractament que han d'assolir els efluents d'instal·lacions de depuració que tracten aigües residuals procedents d'aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq a França. A continuació es descriuen breument aquests nivells de tractament.

Taula 6.2. Nivells de tractament que han d'assolir els efluents d'instal·lacions de depuració que tracten aigües residuals procedents d'aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq a França. Extret de la Circular de 17 de febrer de 1997 sobre el sanejament col·lectiu d'aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq (AESN, 1997). (a)

Paràmetre	D1	D2	D3	D4
DBO_5	rdt ≥30%	≤ 35 mg O_2/L	....	≤ 25 mg O_2/L
DQO	....	....	rdt ≥ 60%	≤125 mg O_2/L
MES	rdt ≥ 50%	....	....	....
N Kjeldahl	....	....	rdt ≥ 60%	....

a) rdt: indica rendiment d'eliminació.

D1 Decantació primària (sense addició de coagulants). S'utilitzen solucions tècniques clàssiques com les fosses sèptiques, els tancs Imhoff o fins i tot decantadors primaris. Els fangs primaris s'han d'estabilitzar. És un nivell exigit per a medis receptors poc fràgils amb una capacitat de dilució important.

D2 S'utilitzen solucions tècniques de tractament secundari de cultiu fix: els filtres percoladors o els biodiscs. S'adapten bé a les petites aglomeracions, tant des del punt de vista de l'energia consumida (que és baixa) com per la simplicitat d'explotació i de gestió dels fangs.

Segons el seu dimensionament, es pot arribar a obtenir una nitrificació gairebé completa que pot reforçar molt la protecció del medi receptor.

Quan les activitats humanes puguin provocar variacions importants en la composició de l'aigua o en el cabal, s'ha de tenir en compte la tècnica del llacunatge airejat.

D3 Correspon a les solucions de tractament secundari basades en el llacunatge natural (o equivalent) tal com ha estat desenvolupat a França (3 llacunes, una facultativa i dues d'afinament). La principal característica que presenten en relació a la protecció del medi es que tenen una certa capacitat per eliminar nitrogen o com a mínim nitrificar.

D4 Coincideix amb el nivell convencional de tractament que s'esmenta a la Directiva Europea 91/271 sobre el tractament de les aigües residuals urbanes. Aquestes tecnologies poden ser adaptades a l'eliminació del nitrogen amoniacal, que és sovint el factor limitant de la qualitat del medi receptor. Els procediments escollits han de ser capaços d'arribar a un nivell de nitrificació equivalent a l'assolible amb els fangs activats amb aireig perllongat.

Mètode de selecció del *tractament adequat*.
Determinació dels nivells de tractament en funció del medi receptor (aigües superficials)

La Taula 6.3 mostra les relacions màximes admissibles entre la població equivalent (hab·eq) i el cabal d'estiatge del medi receptor (Q_e) per a cadascun dels objectius de qualitat. També indica per a cada objectiu i per a cada relació el nivell de tractament necessari d'acord amb els criteris descrits a la Taula 6.2.

Taula 6.3. Nivells de tractament necessaris per a les aglomeracions menors de 2000 hab·eq de França per tal d'assolir els objectius de qualitat fixats per al medi receptor. Extret de la Circular de 17 de febrer de 1997 sobre el sanejament col·lectiu d'aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq (AESN, 1997).

Objectiu I A		Objectiu I B		Objectiu II		Objectiu III	
hab·eq/Q_e	Nivell	hab·eq/Q_e	Nivell	hab·eq/Q_e	Nivell	hab·eq/Q_e	Nivell
≤ 1	D1	≤ 5	D1	≤ 10	D1	≤ 25	D1
1	D2	5	D2	20	D3	50	D3
5	D3	10	D3	25	D2	100	D2
> 5	D4	>10	D4	> 25	D4	>100	D4

Els valors proposats tenen en compte, amb un marge de seguretat, les concentracions de nitrogen amoniacal i de DBO_5 que caracteritzen els diferents objectius de qualitat. La població equivalent s'obté a partir d'estudis d'aforament i de caracterització, i és la massa de DBO_5 produïda durant el dia, expressada en kg dividida per 0,06 (kg de DBO_5 generats per un hab·eq en un dia). El cabal d'estiatge s'expressa en l/s i correspon a la mitjana mensual amb un període de retorn de 5 anys.

Molt sovint, el cabal d'estiatge no és conegut o hi ha gran imprecisió en la seva estimació, per la qual cosa els objectius de qualitat potser hauran de fonamentar-se sobre bases incertes. En conseqüència, convé no fer una lectura massa rígida dels nivells de la Taula 6.3. D'altra banda, alguns dels paràmetres de qualitat (com el fòsfor i el nitrogen), poden portar a exigències suplementàries difícilment assolibles. Les exigències més fortes han d'anar dirigides a controlar el risc sanitari degut a la proximitat de l'abocament i a la preservació de les aigües subterrànies. La conducció dels efluents fins a un medi que ofereixi una dilució suficient només es justifica quan sigui estrictament necessari.

Principis generals en l'elecció de la tecnologia adequada

Els principis més importants a considerar són els següents:

a) S'han d'avaluar les possibles alternatives per tal de garantir la qualitat del medi receptor. També s'han de valorar les prescripcions generals i s'ha de guiar els responsables de les aglomeracions a no disposar la xarxa de sanejament fins a tenir primer la delimitació de les zones susceptibles de sanejament no col·lectiu. La reglamentació francesa no imposa la construcció d'una xarxa de clavegueram per a aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq.

b) El sanejament autònom o agrupat basat en el sòl (infiltració subterrània) serà en general preferible quan l'habitatge sigui dispers, en la mesura que eviti la concentració d'efluents contaminants en els medis receptors sensibles. Aquest últim principi s'ha de tenir en compte quan els rendiments de les instal·lacions siguin inferiors a les requerides pel nivell D4. En les comunitats més petites, el sanejament col·lectiu ha d'estar reservat a aquells llocs on el sanejament autònom sigui tècnicament irrealitzable o bé més car.

c) L'elecció del *tractament adequat* per atendre un nivell de qualitat està guiat per nombroses limitacions locals. No obstant, s'ha de tenir en compte la promoció de la salut pública i els usos sensibles a la contaminació bacteriana.

d) La naturalesa de la xarxa de sanejament, la població tractada i la seva variació, el lloc d'implantació de les instal·lacions, les característiques i la superfície de terreny disponible, els recursos financers per a la inversió, l'explotació i la renovació, són les primeres característiques locals que s'han de tenir en compte.

e) La utilització de valors guia generals establerts per respondre a un gran nombre de situacions diferents podrà, en alguns casos, provocar la obtenció d'efluents amb valors de qualitat incompatibles amb la salvaguarda d'usos particulars de l'aigua. En aquest cas, els requeriments dels efluents seran inaccessibles a menys que s'utilitzin tecnologies fora de l'abast de les petites aglomeracions.

f) L'estudi previ haurà de permetre establir els inconvenients de l'abocament en certes dates d'ocurrència de fenòmens a protegir (com ara la reproducció d'espècies piscícoles). Aquest estudi podrà prescriure la necessitat d'emmagatzematge en relació al desenvolupament anual dels cicles biològics a salvaguardar. Així doncs, convindrà comparar els costos d'inversió i d'explotació i manteniment de diferents tecnologies i imposar aquella que, portant al màxim la qualitat del medi receptor, sigui compatible amb les possibilitats econòmiques de la comunitat i de les ajudes que aquesta pugui rebre.

g) L'estudi previ haurà de demostrar la fiabilitat del procés. També haurà de quantificar els buidats de les llacunes d'emmagatzematge.

h) En els medis receptors sotmesos a cabals d'estiatge severs, podrà plantejar-se l'emmagatzematge de l'aigua depurada durant el període crític. També es plantejarà aquesta possibilitat si el medi receptor està sotmès a la influència de les marees.

i) Els usos del medi receptor susceptibles d'evolucionar en sentit d'un nivell d'exigència més gran, conduiran cap a l'elecció d'un procés de depuració capaç de ser modificat per obtenir rendiments més elevats. D'altra banda, s'hauran de preveure les possibles ampliacions futures.

Així, per tal d'escollir el *tractament adequat*, primer es determinen els objectius de qualitat fixats per al medi receptor on s'abocarà l'efluent: IA, IB, II o III. Amb aquesta informació, i sabent la població equivalent de l'aglomeració de la qual prové aquest efluent, i el cabal d'estiatge del medi receptor, es pot determinar el nivell de tractament: D1, D2, D3, D4 que cal aplicar i conseqüentment els nivells d'eliminació que es requereixen quant a MES, DBO_5, DQO i N-Kjeldahl.

Després caldrà comparar els costos d'inversió i de funcionament dels diferents sistemes que permeten assolir els nivells d'eliminació determinats anteriorment i seleccionar un dels tractaments que sigui compatible amb les possibilitats econòmiques de la comunitat i de les ajudes que aquesta pugui rebre.

ITÀLIA

La llei italiana per controlar la contaminació dels cursos d'aigües superficials continentals es va redactar l'any 1976. Després de diverses esmenes, es va obtenir la versió definitiva l'any 1979. Entre els anys 1982 i 1987 es van fixar els límits de qualitat per l'aigua residual abocada en aquests cursos (Taula 6.4). Aquests valors límit es van fixar de manera uniforme, sense tenir en compte les característiques del curs receptor. Només es van establir valors límits més restrictius pels nutrients quan l'abocament té lloc en llacs, per tal d'evitar l'eutrofització (Chabrier *et al.*, 1993).

Taula 6.4. Límits de qualitat dels efluents abocats en les aigües superficials continentals a Itàlia. Extret de Chabrier *et al.* (1993).

Paràmetre	Valor límit general	Valor límit per a l'abocament en un llac
DBO5, mg O_2/L	40	40
DQO, mg O_2/L	160	160
NH_3, mg N/L	15	10
P, mg P/L	10	0,5

En algunes regions, es van establir límits menys exigents per a les petites aglomeracions. Per exemple, al Lazio, als efluents procedents d'instal·lacions que tracten cabals d'aigües residuals d'aglomeracions de menys de 3 000 hab·eq només se'ls exigeix una decantació primària. Tanmateix, tot i aquestes excepcions, cal dir que més del 80% de les instal·lacions d'aquestes característiques tenien l'any 1987 un tractament secundari, basat generalment en fangs activats (veure Taula 6.5).

Taula 6.5. Tipus de tractaments en petites EDAR a Itàlia (dades de 1987). Extret de Chabrier *et al.* (1993).

Població equivalent	Només decantació primària	Fangs activats (a)	Fangs activats (b)	Filtres percoladors	Biodiscs
< 1 000	625	30	1 116	269	210
1 001-5 000	246	22	1 241	240	63
Total	871	52	2 357	509	273
%	21,5	1,3	58,0	12,5	6,7

a) Amb decantació primària.
b) Sense decantació primària.

Al 1993, el 80% de la població que vivia en aglomeracions de menys de 2 000 hab·eq tenia algun tipus de tractament per a les seves aigües residuals. Hi havia construïdes unes 4 200 EDAR i en faltaven només unes 1 000 per resoldre el sanejament de les petites aglomeracions. Tanmateix, se sap que moltes d'aquestes instal·lacions funcionen malament, o simplement no funcionen, com a conseqüència d'un manteniment defectuós. A més, algunes vegades el disseny d'aquestes instal·lacions és insuficient o inadequat perquè no existeix una normativa tècnica oficial.

Tecnologies aplicades

a) Llacunatges: s'utilitzen molt poc, ja que exigeixen una gran superfície i comporten grans costos d'impermeabilització del terreny (les lleis italianes que regulen la contaminació de les aigües subterrànies són molt estrictes). Tanmateix, el llacunatge pot ser una opció viable si es disposa de la superfície necessària i el sòl és suficientment impermeable. En alguns casos, després d'un tractament convencional s'utilitzen llacunes d'afinament. L'objectiu és aconseguir una millora de l'efluent, sobretot pel que fa a eliminació de microorganismes patògens.

b) Biodiscs: tampoc han estat molt utilitzats a Itàlia ja que els costos que comporten són comparativament molt elevats (Chabrier *et al.*, 1993). A més, requereixen sempre una decantació primària o d'una microfiltració per afavorir el creixement de la biopel·lícula.

c) Filtres percoladors: moltes de les instal·lacions fins a 1 000 hab·eq estan constituïdes per un tanc Imhoff, seguit d'un filtre percolador de baixa càrrega i d'un segon tanc Imhoff. Es recomana sempre la recirculació de l'efluent per tal de minimitzar els efectes de les sobrecàrregues contaminants instantànies.

d) Fangs activats: és la tecnologia majoritàriament aplicada, tot i que en comunitats molt petites (de menys de 1 000 hab·eq) sovint s'observen problemes per escassa sedimentabilitat dels fangs.

La Taula 6.6 mostra els costos de construcció, explotació i manteniment de les tecnologies aplicades per a petites comunitats. Cal esmentar que les despeses indicades a la Taula 6.6 per Chabrier *et al.* (1993) per a la tecnologia de llacunatge natural són anormalment elevades.

DINAMARCA

La majoria d'instal·lacions de depuració d'aigües residuals són per a petites aglomeracions. No obstant, aquestes aglomeracions només representen una petita part de la població danesa (Jansen *et al.*, 1993).

El Pla d'Acció Danès per a la Defensa del Mar ha fixat els límits de qualitat a nivell estatal pel que fa a la DBO_5, el nitrogen i el fòsfor en els efluents procedents d'instal·lacions de comunitats de més de 5 000 hab·eq. Tot i que aquestes instal·lacions tracten el 95% de les aigües residuals domèstiques només representen una sisena part del nombre total d'instal·lacions.

Taula 6.6. Costos de construcció, d'explotació i de manteniment de les tecnologies de depuració aplicades per a aglomeracions menors de 5 000 hab·eq a Itàlia (1987). Extret de Chabrier *et al.* (1993).

Tecnologia de depuració	Costos de Construcció, ptes/hab·eq	Costos d'explotació i manteniment, ptes/hab·eq.any
Llacunatge	28 800 ; 19 200 (a) 104 000 ; 59 200 (b)	(c)
Biodiscs	24 000 · 48 000	2 400 · 4 000
Filtres percoladors	12 800 · 19 200	2 400 · 4 000
Fangs activats	32 000 – 72 000	2 400 · 4 800

a) Despeses associades a una única llacuna anaeròbica quan és imprescindible la impermeabilització del terreny i quan no ho és. S'inclou el cost del terreny.
b) Despeses associades a una única llacuna aeròbica quan és necessària la impermeabilització del terreny i quan no ho és. S'inclou el cost del terreny.
c) Les despeses de manteniment i explotació es limiten a l'extracció de fangs: dues vegades a l'any en les llacunes anaeròbiques i una vegada cada dos o tres anys en les llacunes aeròbiques.

Els requeriments per a les instal·lacions que tracten les aigües residuals de comunitats menors de 5 000 hab·eq s'han fixat localment en cadascun dels setze comtats de Dinamarca. Aquests requeriments són diferents en cada cas i depenen bàsicament dels objectius de qualitat del medi receptor i de la capacitat i del tipus d'instal·lació d'on provenen aquests efluents.

En el comtat d'Aarhus, hi ha un total de 210 instal·lacions que tracten les aigües de 1,3 milions d'hab·eq. D'entre totes aquestes instal·lacions, n'hi ha unes 120 que tracten les aigües d'aglomeracions d'entre 100 i 2 000 hab·eq, que representen un total de 60 000 hab·eq. La Figura 6.1 mostra un mapa de Dinamarca on s'indica el comtat d'Aarhus.

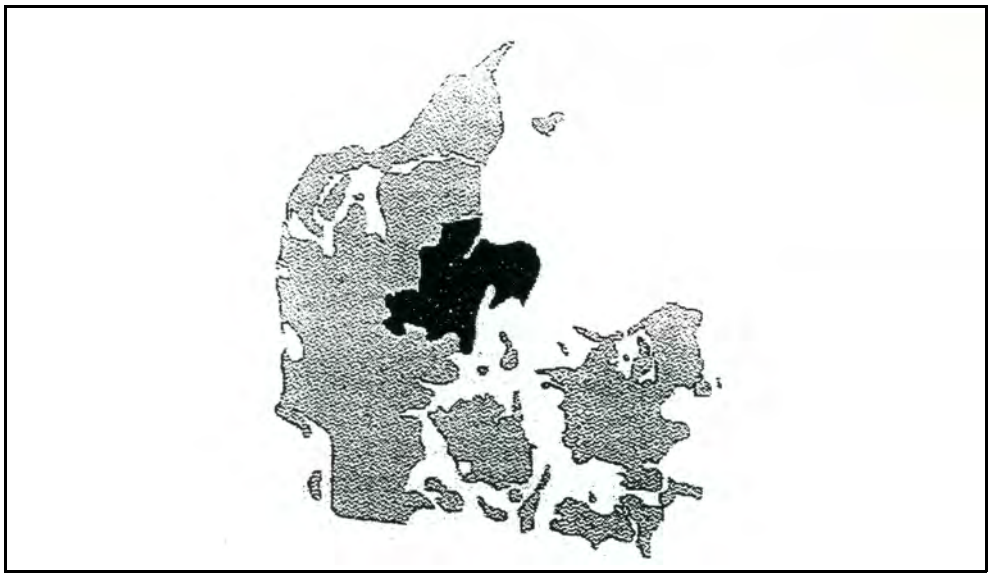


Figura 6.1. Mapa de la situació del Comtat d'Aarhus a Dinamarca.

Els requeriments específics que aquest comtat ha fixat per a cada instal·lació es basen en: 1) els objectius de qualitat vigents per a la massa d'aigua receptora i 2) la tecnologia utilitzada en la instal·lació. Els valors dels límits de qualitat fixats segons la tecnologia utilitzada es mostren a la Taula 6.7.

Taula 6.7. Valors dels requeriments de qualitat per als efluents de les instal·lacions de menys de 5 000 hab·eq del comtat d'Aarhus (Dinamarca) segons la tecnologia utilitzada. També es mostren els requeriments nacionals danesos per a plantes de més de 5 000 hab·eq. Extret de Jansen *et al.* (1993).

Tractament (a)	DBO_5 mg O_2/L	MES mg/L	N_T mg N/L	NH_3 mg N/L	P_T mg P/L
P	·	·	·	·	·
PB	20	20 · 30	·	·	·
PBN	20	20 · 30	·	2	·
PBNC	15 - 20	20 · 30	·	2	1
L	·	100	·	·	·
FS	10 - 30	20 · 30	·	·	·
AC	15 - 100	30	·	·	·
Instal·lacions de més de 5000 hab·eq	15	·	8	·	15

a) La terminologia utilitzada és la següent: (P) Decantació primària; (PB) Decantació primària i tractament biològic; (PBN) Decantació primària, tractament biològic i nitrificació; (PBNC) Decantació primària, tractament biològic, nitrificació i precipitació química; (L) Llacunatges; (FS) Filtres de sorra; (AC) Aiguamolls construïts.

Tecnologies aplicades

A la Figura 6.2 es mostren el nombre total de petites EDAR classificades en quatre categories segons la població equivalent tractada. A la Figura 6.3 es mostren el nombre total de petites EDAR classificades segons la tecnologia de depuració utilitzada.

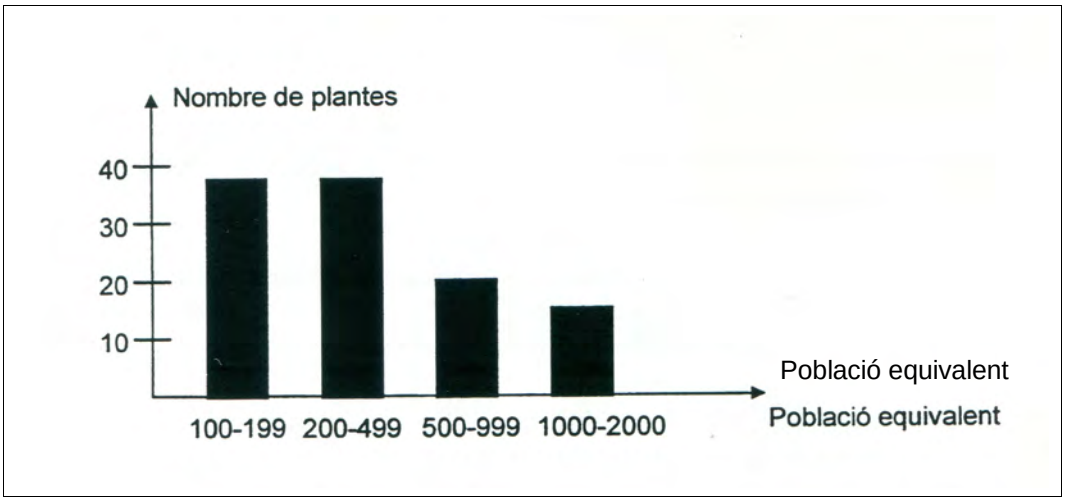


Figura 6.2. Nombre d'EDAR segons els rangs de població equivalent tractada al comtat d'Aarhus (Dinamarca). Extret de Jansen *et al.* (1993).

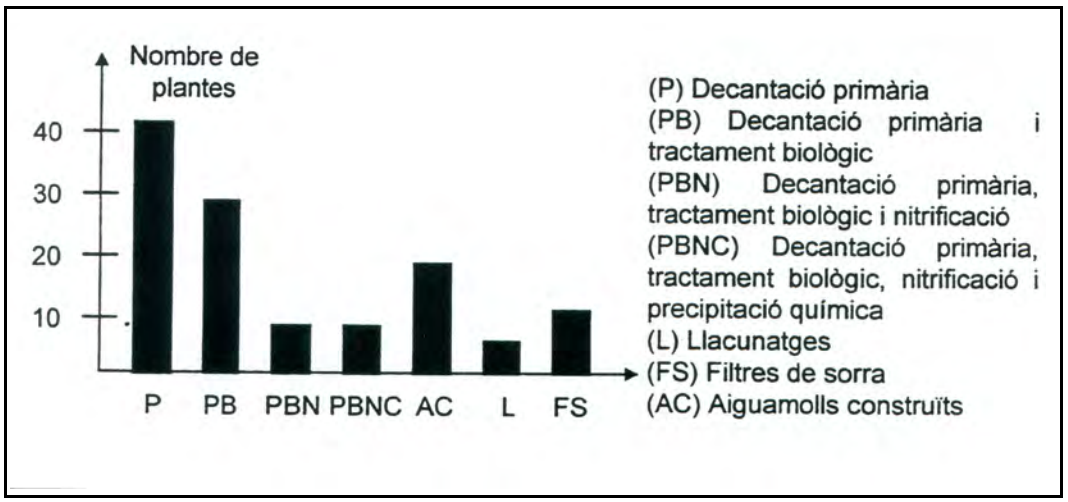


Figura 6.3. Nombre d'EDAR segons la tecnologia de depuració utilitzada al comtat d'Aarhus (Dinamarca). Extret de Jansen *et al.* (1993).

Des de mitjans dels anys 1980, s'ha posat en marxa un gran nombre d'aiguamolls construïts i de filtres de sorra. S'esperava que aquestes tecnologies reduïssin les concentracions de DBO_5, nitrogen i fòsfor de l'aigua residual de forma apreciable. Tanmateix, l'experiència indica que cap de les dues tecnologies assegura, ni tan sols en condicions d'explotació òptimes, un rendiment elevat en l'eliminació de fòsfor. D'altra banda, s'ha observat que els filtres de sorra són superiors als aiguamolls construïts quant a l'eliminació de DBO_5.

ALEMANYA

En el decret de 21 de març de 1997 sobre els requeriments de l'abocament de les aigües residuals depurades, es tracta a l'Annex 1 específicament els requeriments de les aigües residuals domèstiques i de petites aglomeracions per tal de poder efectuar l'abocament (Bundesgesetzblatt, 1997). Les disposicions d'aquest annex són aplicables a aigües residuals tractades en una EDAR i a les procedents de:

a) Abocaments aïllats de vivendes, hotels, restaurants, càmpings, hospitals, i edificis d'oficines (aigües residuals domèstiques)

b) Clavegueres i instal·lacions industrials i agrícoles, sempre que la seva toxicitat permeti portar a terme un tractament biològic tal com es fa amb les aigües residuals domèstiques i amb rendiments d'eliminació similars (aigües residuals comunals).

Per fixar els requeriments de qualitat de l'efluent de les instal·lacions depuradores, es classifiquen els abocaments en categories segons algun d'aquests dos criteris: 1) la població equivalent i la càrrega contaminant sedimentable (Taula 6.8).

Una vegada classificat l'abocament, els requeriments de qualitat que han de complir els efluents de les instal·lacions per a que puguin ser abocats al medi receptor es fixen segons els criteris mostrats a la Taula 6.9.

Taula 6.8. Classificació dels abocaments d'aigües residuals en categories segons la població equivalent i la càrrega orgànica sedimentable a Alemanya. Extret de Bundesgesetzblatt (1997).

Categoria	Població equivalent	kg DBO_5 sedimentable /dia
1	< 1 000	< 40
2	1 000 · 5 000	40 · 200
3	5 000 · 10 000	200 · 400
4	10 000 · 100 000	400 · 4 000
5	> 100 000	> 4 000

Taula 6.9. Requeriments dels efluents d'instal·lacions depuradores per a poder ser abocats a les masses d'aigua superficial a Alemanya. Extret de Bundesgesetzblatt (1997).

Categoria	DQO mg O_2/L	DBO_5 mg O_2/L	NH_3 mg N/L	N_T mg N/L	P_T mg P/L
1	150	40	·	·	·
2	110	25	·	·	·
3	90	20	10	·	·
4	90	20	10	18	2
5	75	15	10	18	1

A més, cal tenir en compte que:

a) L'exigència per l'amoníac i el nitrogen només s'aplica quan la temperatura de l'efluent és superior a 12°C, és a dir en aquells casos en què la temperatura afavoreixi l'eutrofització del medi receptor.

b) Per al nitrogen es permet una concentració de fins a 25 mg N/L quan s'aconsegueixi una reducció igual o superior al 70%. La reducció s'haurà de garantir en un període de temps representatiu que no ha d'excedir les 24 hores.

c) La classificació de la Taula 6.9 es dirigeix cap a l'establiment de límits per a l'abocament de les aigües residuals prenent com a base la DBO_5.

NORUEGA

Noruega és un país de quatre milions d'habitants repartits en una superfície de 400 000 km^2. Un 25% de la població viu en zones rurals sense cap tipus de sistemes de clavegueram i aproximadament un 30% dels 450 municipis té una població de menys de 3 000 habitants. En conseqüència, una gran part de la població està connectada a instal·lacions de tractament petites.

La literatura tècnica noruega diferencia miniplantes de tractament, per menys de 35 hab·eq, i plantes de tractament petites, per a una població de 35 a 2000 hab·eq.

Tecnologies aplicades

A les Figures 6.4, 6.5 i 6.6 es poden veure esquemes de les diferents tipologies de plantes petites en funcionament a Noruega. A continuació es descriuen aquestes plantes.

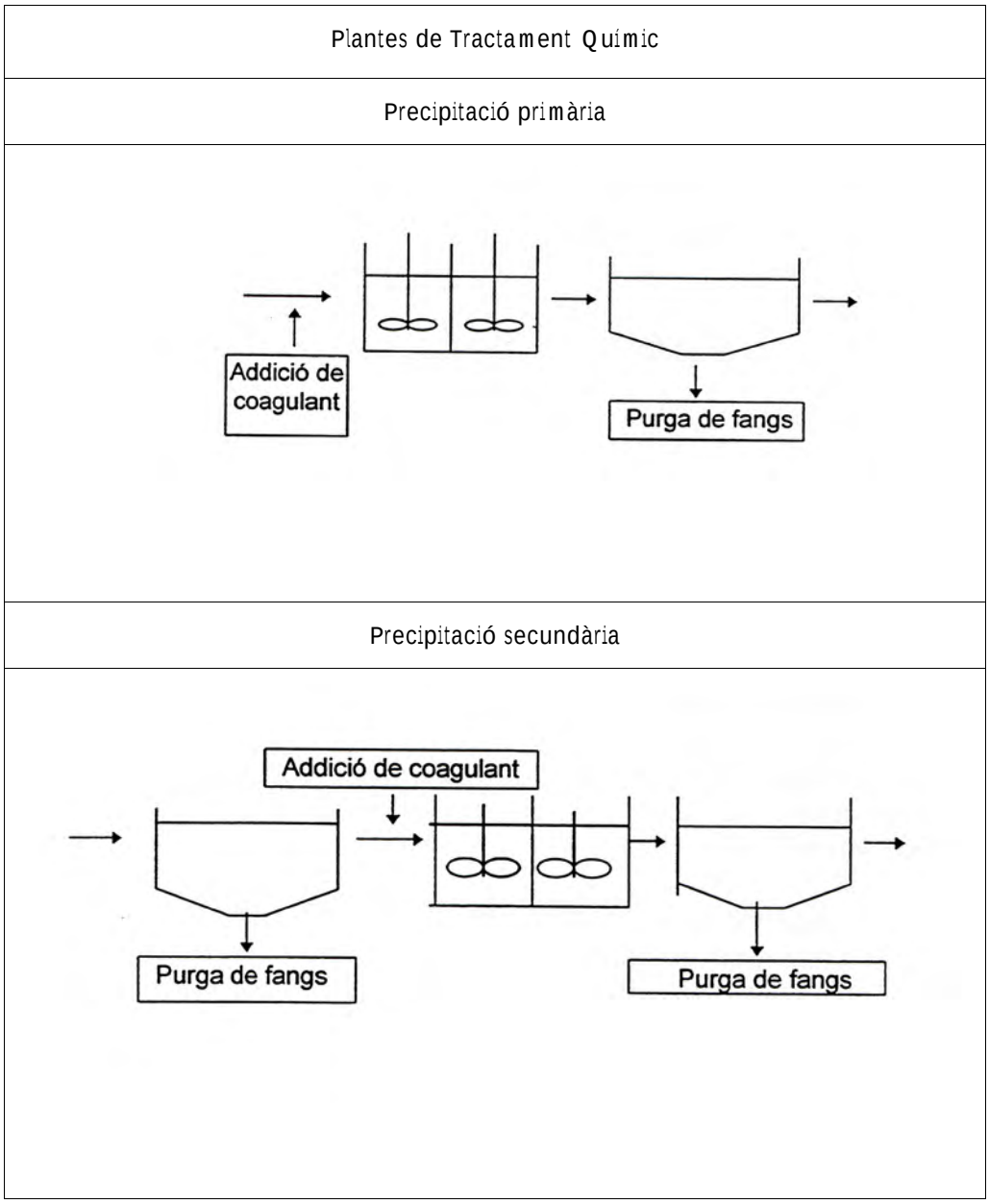


Figura 6.4. Plantes de tractament químic per a aglomeracions de menys de 2000 hab·eq a Noruega. Extret de Rusten et *al.* (1995).

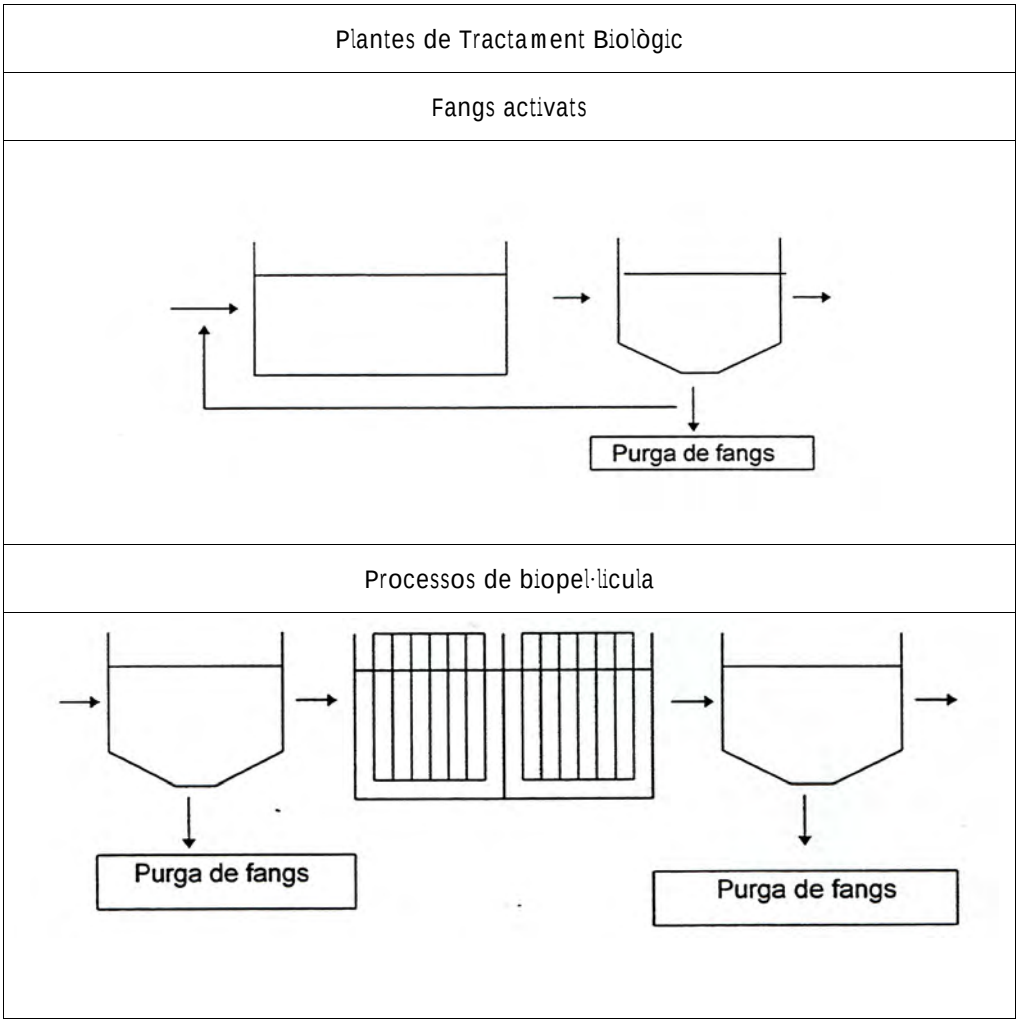


Figura 6.5. Plantes de tractament biològic per a aglomeracions de menys de 2000 hab·eq a Noruega. Extret de Rusten et *al.* (1995).

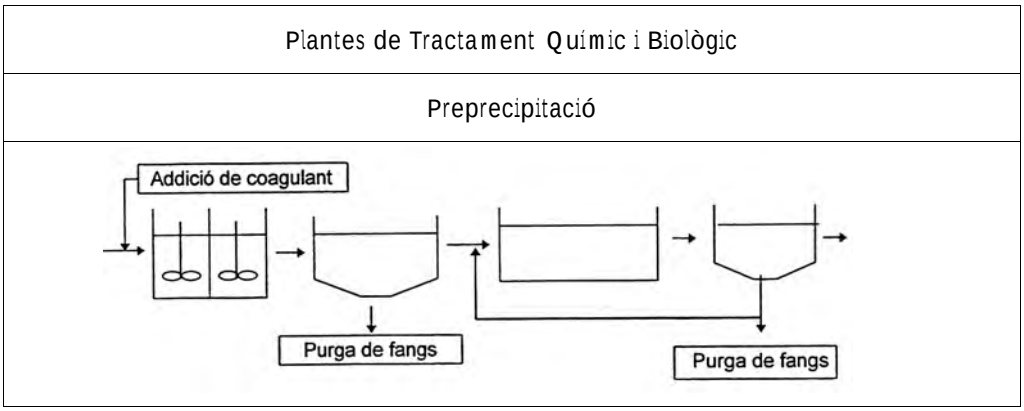


Figura 6.6a. Plantes de tractament químic i biològic per a aglomeracions de menys de 2000 hab·eq a Noruega. Extret de Rusten et *al.* (1995).

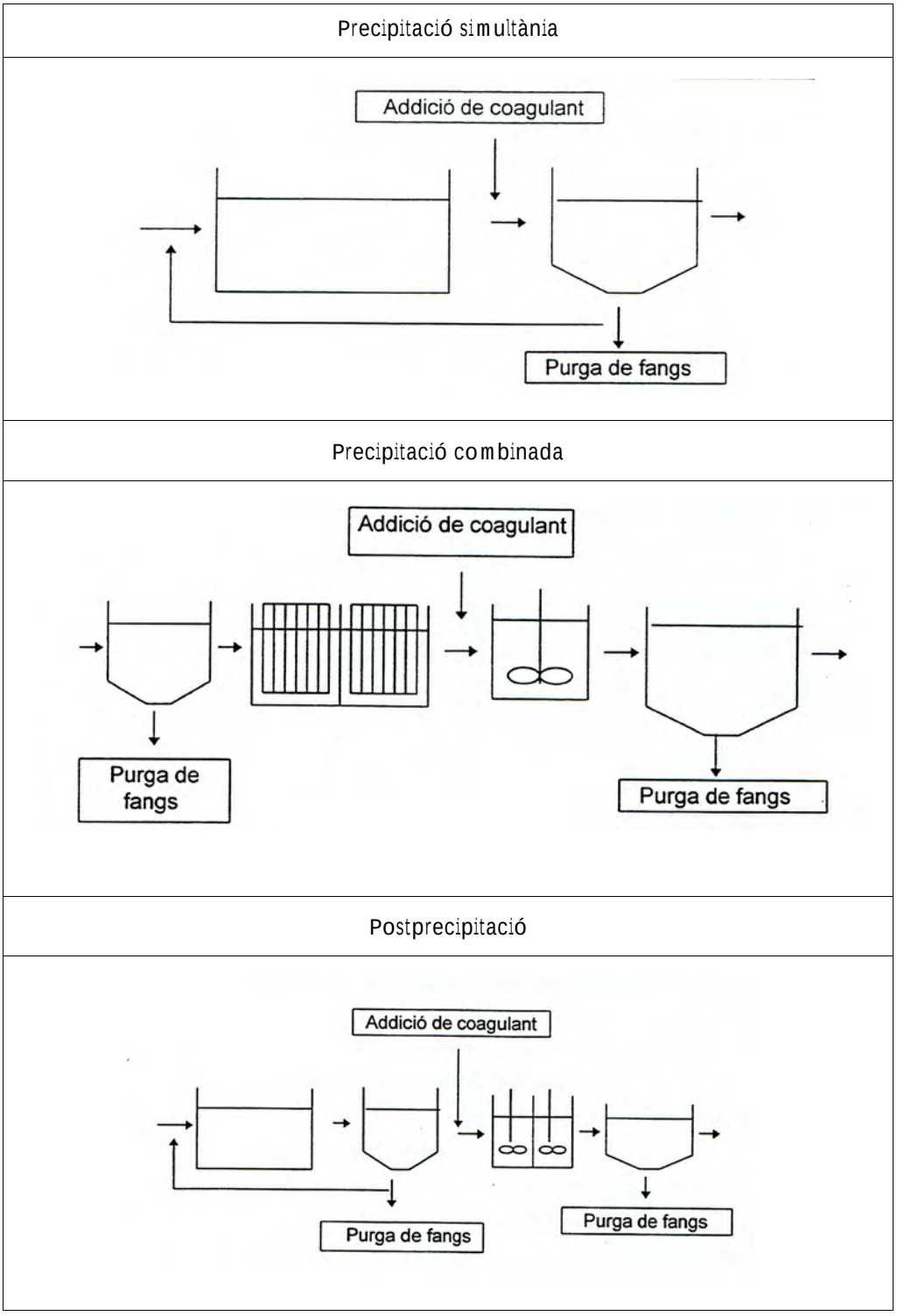


Figura 6.6b. Plantes de tractament químic i biològic per a aglomeracions de menys de 2000 hab·eq a Noruega. Extret de Rusten et *al.* (1995).

a) Plantes de tractament químic (Figura 6.4): corresponen al tractament físic-químic convencional. Abans de l'addició del coagulant pot haver-hi o no una decantació sense addició de coagulants.

b) Plantes de tractament biològic (Figura 6.5): n'hi ha molt poques perquè no són massa efectives en l'eliminació del fòsfor.

c) Plantes de tractament químic i biològic (Figura 6.6): funcionen bastant bé per a l'eliminació de matèria orgànica i de fòsfor. Les de precipitació simultània són les que obtenen pitjors resultats perquè presenten la decantació menys efectiva. Les de postprecipitació són les que obtenen millors resultats.

A la Taula 6.10 es mostra una comparació entre les diferents tecnologies de depuració descrites quant a rendiments d'eliminació de matèria orgànica, de la matèria en suspensió i del fòsfor.

Taula 6.10. Rendiments d'eliminació obtinguts per les diferents tecnologies de depuració aplicades a les petites aglomeracions de Noruega. Extret de Rusten et *al.*(1995).

Rendiment d'eliminació, %	Plantes de tractament químic	Plantes de tractament biològic	Plantes de tractament químic i biològic
DBO_7	74	84	91
P	92	54	92
MES	90	87	91

La principal diferència entre les plantes químiques i les biològiques és que les primeres tenen més capacitat per a l'eliminació del fòsfor, tot i que les biològiques poden eliminar també més del 50%. Els processos combinats químics i biològics són superiors als biològics i als químics per separat quant al rendiment d'eliminació de matèria orgànica. Respecte a la matèria en suspensió, les diferents tipologies de sistemes de tractament utilitzats obtenen resultats similars.

Legislació

Els requeriments dels efluents de petites plantes es donen en funció de les concentracions mitjanes anuals de DBO_7 i fòsfor, basades en sis mostres anuals proporcionals al cabal en plantes de menys de 1 000 hab·eq i en dotze mostres en plantes d'entre 1 000 i 2 000 hab·eq. Aquests requeriments es fixen bàsicament en relació a la tipologia de depuració utilitzada. A més, varien una mica d'un comtat a un altre, tot i que els més comuns són els recollits a la Taula 6.11.

ESTATS UNITS

The Clean Water Act

La construcció d'infraestructures de depuració d'aigua residual va començar al segle XIX. No obstant, les bases pel programa federal vigent es van establir l'any 1972, quan el Congrés va aprovar la *Water Pollution Control Act* que, juntament amb totes les esmenes que se li van fer posteriorment, es va anomenar *Clean Water Act* (WEF, 1993). Durant els 25 anys que porta vigent, la seva estructura ha canviat ja que, des del moment de la seva redacció, tant

l'experiència com la percepció dels problemes relatius a la qualitat de l'aigua han evolucionat molt.

Taula 6.11. Límits de qualitat pels efluents de petites plantes a Noruega. Extret de Ødegaard i Skrovseth (1995).

Tipus de tractament	Fòsfor mg P/L	DBO_7 mg O_2/L
Químic	0,5 · 0,6	(a)
Biològic	(a)	15 · 20
Químic i biològic:		
Precipitació simultània	0,8	15 · 20
Postprecipitació i precipitació simultània	0,4 – 0,5	10 · 1

a) No hi ha límits de qualitat fixats

Durant aquests últims vint-i-cinc anys, la política de qualitat de l'aigua s'ha basat en els següents punts:

a) Ningú té dret a contaminar l'aigua navegable dels estats. Qualsevol que vulgui abocar contaminants ha d'obtenir un permís per a fer-ho.

b) En aquests permisos s'estableixen els requeriments pel que fa a la composició i la concentració de l'abocament. L'incompliment d'aquests requeriments pot portar a una sanció de tipus econòmic o fins i tot a l'empresonament dels infractors.

c) Qualsevol requisit o control més estricte que els fixats pels estats s'han de basar en la qualitat del medi receptor.

L'objectiu general d'aquesta llei és restaurar i mantenir la integritat química, física i biològica de les aigües. Els objectius específics són:

a) Eliminar l'abocament de contaminants en aigües navegables (anomenat també objectiu d'abocament zero).

b) Protegir la flora i la fauna de l'abocament d'aigües residuals i assegurar-ne els usos recreatius (anomenat també objectiu que permet nedar i pescar).

En aquestes dues dècades s'han realitzat grans millores, però en queden encara per fer: la població tractada s'ha incrementat des de 1972 fins a 1988 en un 76% (de 85 milions a 150 milions). Al 1988, menys d'un 1% de la població abocava l'aigua residual sense cap tipus de tractament (WPCF, 1992).

La necessitat d'inversió addicional en la qualitat de l'aigua és d'alguna manera variable, ja que respon a canvis polítics i a les millores en les tecnologies. En algunes àrees dels Estats Units s'han fet estudis que indiquen la necessitat d'inversió de grans quantitats de diners. Un estudi de la EPA de 1988 concloia que s'havien de gastar encara 84 bilions de dòlars en el tractament de l'aigua residual en petites aglomeracions per tal de poder garantir el sanejament

a tota la població prevista per complir l'any 1988 amb els requeriments de la *Clean Water Act* (WPCF, 1992).

Criteris actuals

La *Clean Water Act* va permetre l'elaboració d'un pla nacional de control dels abocaments que va establir com a tractament mínim l'equivalent a un secundari (Metcalf i Eddy, 1991). Alhora, l'agencia de medi ambient (EPA) va publicar la definició de tractament secundari al 1973. Aquesta definició va ser modificada al 1985 amb l'objectiu d'assegurar una major flexibilitat dels requisits quan es tractava de sistemes de depuració amb xarxes de col·lectors separatius. La Taula 6.12 mostra els requisits mínims de qualitat establerts per als efluents de totes les EDAR dels EEUU.

Taula 6.12. Requisits mínims de qualitat dels efluents de totes les EDAR de EEUU. Extret de Metcalf i Eddy (1991).

Paràmetre	Unitat de mesura	Mitjana mensual	Mitjana setmanal
DBO_5	mg O_2/l	30 (a) (b)	45 (a)
MES	mg/l	30 (a) (b)	45 (a)
pH	Unitats pH	6,0-9,0	6,0-9,0
$CDBO_5$ (c)	mg O_2/l	25	40

a) Els requisits per a llacunatges naturals i filtres percoladors són de 45 mg/l en mitjana mensual i 65 mg/l en mitjana setmanal.
b) El percentatge d'eliminació ha de ser superior o igual al 85%.
c) És la DBO_5 només deguda a l'oxidació de la matèria orgànica (amb inhibidor de nitrificació). És un criteri alternatiu.

Els requisits mínims mostrats a la Taula 6.12 poden ser modificats en alguns casos considerats com excepcionals: xarxes de col·lectors unitàries, presència d'aigües industrials o aigües residuals amb càrrega contaminant baixa. Cadascun dels Estats o de les autoritats encarregades del control del sanejament pot exigir requisits més restrictius que els indicats a la Taula 6.12 quan l'abocament final té lloc en una massa d'aigua sensible.

Selecció de la tecnologia

La selecció de l'alternativa de tractament en una petita aglomeració depèn alhora de les característiques de l'emplaçament i del tipus de comunitat. Els criteris que es suggereixen per a la selecció de la tecnologia més adequada són els següents:

a) La tecnologia ha de ser fàcil d'explotar

És el criteri més important, perquè la majoria de vegades no es disposa de personal suficientment preparat com per a poder-se encarregar de l'explotació i el manteniment d'un sistema complex.

El sistema més senzill és el sanejament autònom amb una fossa sèptica. També són fàcils d'explotar i mantenir els filtres de sorra i els aiguamolls construïts. Els sistemes biològics i físic-químics convencionals, en canvi, requereixen un coneixement acurat d'electrònica i mecànica per obtenir un funcionament òptim de les instal·lacions.

L'elecció d'aquests sistemes implica com a conseqüència la consideració de contractació de personal especialitzat.

b) La tecnologia ha de ser fiable

Les instal·lacions de petites aglomeracions es solen controlar de forma intermitent, de manera que han de ser resistents a les puntes contaminants. D'altra banda, cal que permetin disposar d'un cert temps de marge per resoldre els problemes de funcionament abans que afectin la qualitat de l'efluent.

Per exemple, als tractaments d'aplicació al terreny és fàcil observar els efectes d'una elevada concentració de contaminants en el subsòl molt abans (mesos i fins i tot anys) que succeeixi. Els aiguamolls construïts poden donar dies de marge abans que deixin de funcionar correctament. Els sistemes biològics i físic-químics convencionals, en canvi, responen molt ràpidament als problemes que pugui haver-hi, i no donen marge d'actuació.

c) La tecnologia ha de ser econòmica de construir i d'explotar

Els filtres de sorra, els aiguamolls construïts i, en general, tots els sistemes de tractament natural, són tecnologies de baix cost. Tanmateix, la seva construcció pot ser tan cara, o més, que la d'un sistema biològic o físic-químic convencional. Malgrat tot, els sistemes de tractament naturals conserven encara un avantatge molt important respecte els convencionals que cal no oblidar: els costos de d'explotació i manteniment són significativament inferiors.

La concepció del sanejament de petites aglomeracions ha canviat molt en els últims 15 anys, ja que s'han desenvolupat tecnologies noves i s'han tornat a aplicar tecnologies antigues amb certes modificacions. Hi ha una clara tendència a utilitzar per a petites aglomeracions sistemes de tractament natural, tot i que en alguns casos la inversió inicial pugui ser superior a la que es requereix per als sistemes convencionals (Crites i Tchobanoglous, 1998).

SÍNTESI DEL SANEJAMENT DE PETITES AGLOMERACIONS A D'ALTRES PAÏSOS

Per proposar uns criteris adequats per a la definició de *tractament adequat* que permeti seleccionar la tecnologia més adient per a les petites aglomeracions de Catalunya, s'ha avaluat l'experiència en d'altres països: França, Itàlia, Dinamarca, Alemanya, Noruega i Estats Units.

Per cada país, s'han estudiat les directius fonamentals que permeten definir: 1) la legislació que regula aquest sanejament i 2) les diferents alternatives de depuració utilitzades.

L'objectiu comú dels Plans de Sanejament respectius és l'establiment d'uns requeriments de qualitat per als efluents d'instal·lacions depuradores abocats al medi ambient. Tanmateix, els criteris utilitzats a cada país per establir aquests requeriments són diferents. En tots els països estudiats es té en compte a l'hora d'establir aquests límits algun dels següents criteris:

a) Les característiques de l'abocament considerat en relació a la seva càrrega contaminant.

b) L'objectiu de qualitat vigent pel medi receptor.

Les diferències observades entre aquests països són degudes a la importància relativa que es dóna a cadascun d'aquests dos criteris. D'aquesta manera, es tenen quatre punts de vista diferents del problema:

1) En alguns casos, com ara el d'Itàlia, el problema s'ha simplificat mitjançant l'establiment d'uns requeriments de qualitat uniformes basats en la concentració dels contaminants per a l'aigua residual tractada abans d'ésser abocada. Només s'apliquen requeriments més restrictius basats en la concentració de nutrients quan l'abocament té lloc en un llac (susceptible d'eutrofització). És clarament la metodologia estudiada més senzilla d'aplicar, però també la que té menys en compte la qualitat del medi receptor.

2) En d'altres països, es fixen els requeriments només en funció de la càrrega contaminant, sense valorar els objectius de qualitat vigents pel medi receptor. Es tracta doncs de nou d'un plantejament, com l'anterior, de molt fàcil implementació. Aquest és el cas d'Alemanya.

3) En un tercer grup de països, els requeriments de qualitat de l'aigua residual tractada depenen dels objectius de qualitat establerts per a la massa d'aigua receptora, sense tenir en compte la càrrega contaminant abocada a aquesta massa. Aquest és el cas de Dinamarca i Noruega (tot i que els requeriments fixats són a més lleugerament diferents en funció de la tecnologia de depuració utilitzada).

4) En un últim plantejament del problema es combinen els dos criteris anteriors. Dels quatre punts de vista descrits, es considera que és alhora respectuós amb el medi ambient i realista des d'un punt de vista de les petites aglomeracions. D'altra banda, la seva aplicació és la més complexa, essent necessàries per a la seva execució algunes dades que moltes vegades són difícils d'aconseguir. En aquest plantejament, es combina la influència de la càrrega contaminant aportada per l'abocament amb l'objectiu de qualitat vigent pel medi receptor, i es fixen els requeriments de qualitat

de l'abocament atenent a ambdues directrius. Aquest és el cas de França. El cas d'Estat Units és d'alguna manera similar, ja que es fixen uns criteris de qualitat mínims que poden ser modificats i ampliats segons la qualitat del medi receptor.

Quant a les tecnologies utilitzades a cada país són gairebé en tots els casos similars. Es recomana la utilització de sistemes naturals degut bàsicament a la seva fiabilitat i a la senzillesa d'explotació i manteniment que presenten. Només en el cas de Noruega, degut a una climatologia extrema, s'ha optat fonamentalment per les tecnologies de tipus convencional.

PLA DIRECTOR DE TECNOLOGIES NO CONVENCIONALS D'ANDALUSIA

El Pla Director de Tecnologies no Convencionals d'Andalusia té com a objectiu principal definir les directrius d'aplicació de les diferents tecnologies de tractament d'aigües residuals no convencionals. El Pla recull l'experiència de les investigacions realitzades sobre tecnologies de baix cost a la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (veure Capítol 5) i les conclusions obtingudes del seguiment d'algunes depuradores pilot a escala real (Díaz, 1998). El Pla es d'aplicació per als nuclis de menys de 25 000 hab·eq; això no vol dir que les tecnologies esmentades no es puguin adoptar per a nuclis superiors (en general depèn de la superfície disponible).

De forma genèrica, i tenint en compte que els límits que es marquen són flexibles, els rangs d'aplicació de les tecnologies no convencionals que esmenta el Pla Director són:

1) Per a nuclis de menys de 500 hab·eq es recomana la implantació de fosses sèptiques o tancs Imhoff, seguits d'algun sistema d'aplicació subsuperficial al terreny. També es recomana alternativament la construcció d'aiguamolls construïts de flux subsuperficial.

2) Per a nuclis d'entre 500 i 2 000 hab·eq es recomana aplicar filtres verds si es disposa de la superfície suficient.

3) Per a nuclis d'entre 2 000 i 5 000 hab·eq sembla que la tecnologia de llits de torba és la més adequada.

4) Per a nuclis d'entre 5 000 i 10 000 hab·eq sembla que la solució millor és el llacunatge.

5) Per a nuclis d'entre 10 000 i 25 000 hab·eq es recomana la implantació de filtres percoladors o biodiscs.

CAPÍTOL 7

PROPOSTA I DIRECTRIUS DE SANEJAMENT EN LES AGLOMERACIONS DE MENYS DE 2000 hab·eq

D'acord amb la Directiva Comunitària de 21 de maig de 1991 (91/271) sobre el tractament de les aigües residuals urbanes, totes les aglomeracions urbanes de menys de 2000 hab·eq que aboquen les seves aigües residuals en masses d'aigua dolça o estuaris, i també les de menys de 10000 hab·eq que aboquen les aigües residuals en aigües costaneres, han de portar a terme un *tractament adequat* de les mateixes. El límit temporal d'aquesta obligació és segons aquesta Directiva el 31 de desembre de l'any 2005.

L'article 2 de la Directiva defineix el tractament adequat com aquell que permet assolir els objectius de qualitat de les aigües receptores després d' haver-se efectuat l'abocament.

Els decrets 11/1995, de 28 de desembre i 509/1996, de 15 de març, han fet la transposició de l'esmentada Directiva a la legislació estatal.

El Pla de Sanejament de Catalunya (Capítol 11 de la Llei 7/1994, de 8 de maig) estableix una classificació de les aigües continentals superficials segons els possibles usos que es puguin realitzar; aquesta classificació s'ha d'entendre aplicable als cursos permanents d'aigua i no a aquells que presentin episodis severs d'estiatge. Dins el marc establert pel Pla de Sanejament, és responsabilitat conjunta dels diferents programes de sanejament que l'han de desenvolupar, incloent el Programa de Sanejament d'Aigües Residuals Urbanes, assolir els objectius de qualitat fixats per als trams dels rius o masses hídriques de Catalunya i en conseqüència aquest serà el criteri fonamental per a la determinació del nivell de tractament a donar als abocaments d'aigües residuals d'una aglomeració urbana.

AGLOMERACIONS MENORS DE 2000 hab·eq

S'haurà d'avaluar en cada cas concret la contaminació aportada respecte a la totalitat d'abocaments presents i la seva incidència particular sobre la qualitat de les aigües receptores. D'aquesta manera es podrà determinar per a cada infraestructura de sanejament la intensitat necessària de tractament.

Quan les aigües receptores presentin episodis severs d'estiatge, arribant fins i tot a secar-se, les actuacions de sanejament destinades a assolir un *tractament adequat* tindran com a objectiu principal protegir la salut pública i preservar la qualitat de les aigües subterrànies. En aquests casos, cada projecte haurà d'analitzar els efectes de l'abocament, la conveniència de la supressió de l'abocament per infiltració en el terreny, o alternativament, l'emmagatzematge de l'aigua durant el període crític.

PRINCIPIS GENERALS EN L'ELECCIÓ DE LA TECNOLOGIA ADEQUADA

L'elecció del *tractament adequat* per assolir un nivell de qualitat ha d'estar determinat per nombroses característiques i limitacions locals; no obstant, s'ha de tenir en compte la promoció de la salut pública i els usos sensibles a la contaminació bacteriana.

La naturalesa de la xarxa de sanejament, la població tractada i la seva variació, el lloc d'implantació de les instal·lacions, les característiques i la superfície de terrenys disponibles, els recursos financers per a la inversió, l'explotació i la renovació, són les primeres característiques locals que s'han de tenir en compte. També s'hauran de preveure possibles ampliacions futures de tamany i tractament.

CONSIDERACIONS ESPECÍFIQUES DEL PROGRAMA

El desenvolupament del Programa de Sanejament requerirà la realització dels estudis previs necessaris, a nivell de conca o subconca, que determinin la necessitat de les diverses actuacions previstes, tenint en compte la situació de la pròpia conca com la de les infraestructures de sanejament existents. Poden desmarcar-se aquelles infraestructures que prèviament al desenvolupament del programa com a tal es realitzin com a prova pilot.

A més d'aquests estudis previs i dels corresponents estudis d'alternatives, els projectes hauran de contenir un annex específic que justifiqui la solució elegida des del punt de vista econòmic (inversió i explotació) i això tant pel que fa als col·lectors com a les EDAR; el diàmetre dels col·lectors s'ajustarà a les necessitats reals.

En el projecte i disseny de les intal.lacions de tractament s'haurà de tenir en compte en especial:

1) L'estat actual del medi receptor i la seva capacitat per rebre abocaments. En alguns casos la qualitat de l'efluent pot ser millorada pel propi medi receptor si és capaç d'admetre un abocament de característiques predeterminades sense deteriorar-se.

2) L'anàlisi de l'estiatge del medi receptor, de manera que es pugui analitzar la conveniència o no de l'abocament. La supressió de l'abocament haurà de tenir en compte els efectes sobre les aigües subterrànies i l'aptitud dels sòls.

3) L'efecte de l'abocament sobre les aigües receptores, amb l'objectiu que sigui coherent amb la resta d'abocaments de la zona.

4) L'existència d'espais d'interès natural, de masses d'aigua susceptibles d'eutrofització, de zones amb vida aquàtica d'especial interès, de fonts d'abastament o de zones de bany. En tots aquests casos les infraestructures de sanejament hauran de garantir la preservació de totes aquestes zones o recursos.

5) L'anàlisi dels abocaments industrials, agrícoles o ramaders, i la possible segregació d'aquests cabals. S'ha d'evitar l'entrada al sistema de tractament d'aigües urbanes de purins o d'altres residus ramaders i agrícoles.

6) La conducció dels efluents fins a un medi que ofereixi una dilució suficient només es justifica quan sigui estrictament necessari.

7) La contaminació en temps de pluja

8) La incorporació d'aigües paràsites

Com a norma general s'haurà d'evitar la implantació de les instal.lacions en zones inundables, s'hauran de minimitzar les emissions d'olors, sorolls i la proliferació d'insectes, tots els equips necessitats d'un manteniment regular hauran d'estar provistos d'accessos i les instal.lacions hauran de tenir una tanca exterior. D'altra banda, serà obligatori protegir les línies de tractament amb unes reixes de desbast prèvies.

Tipus de tractaments que poden constituir el *tractament adequat*

El tractament primari es reserva per a aglomeracions que aboquin en cursos d'aigua poc vulnerables, que ofereixin una dilució important i que tinguin estiatges poc severs. Pot consistir en una fossa sèptica, un tanc Imhoff o un decantador primari.

El tractament secundari és necessari per a la resta d'aglomeracions. Pot consistir en un tractament previ (pretractament i/o tractament primari) seguit d'un tractament natural (tractaments d'aplicació al terreny, llacunatges naturals, aiguamolls construïts o llits de torba) o d'un tractament convencional (biodiscs, filtres percoladors o fangs activats).

Es proposa avaluar de forma especial la intensitat del tractament en els següents casos:

1) Quan l'abocament es realitzi en un espai d'interès natural (reconegut al PEIN) o en un cos d'aigua especialment susceptible d'eutrofització (fonamentalment un llac o un embassament).

2) Quan l'abocament tingui lloc en un cos d'aigua amb vida aquàtica d'especial interès.

3) Quan l'abocament es realitzi en un cos d'aigua que s'utilitzi com a font d'abastament.

4) Quan el medi receptor presenti una estacionalitat molt marcada, podent arribar fins i tot a assecar-se.

En els tres primers casos, es valorarà la necessitat d'eliminar amoníac o nitrogen. L'amoníac és tòxic per a moltes formes de vida en els estadis inicials del seu desenvolupament i és un agent actiu en l'eutrofització.

En el cas de què hi hagi una escassa dilució i el medi pugui ser vulnerable serà prioritària i recomanable la supressió de l'abocament per assegurar la no afectació. La supressió es realitzarà mitjançant aplicació directa de l'aigua residual sobre el terreny quan sigui possible (sempre que no es provoqui la contaminació dels aqüífers), o bé mitjançant emmagatzematge de l'efluent durant el periode crític. Quan no sigui possible suprimir l'abocament l'objectiu principal serà protegir la salut pública i preservar la qualitat de les aigües subterrànies.

S'estableix un nivell de depuració mínim al què han de ser sotmeses totes les aigües residuals abans del seu abocament, independentment dels cabals abocats i de les característiques hidrològiques, químiques i biòtiques del medi receptor on tingui lloc. Aquest nivell mínim es fixa en un 30% d'eliminació de DBO_5 i un 50 % d'eliminació de MES, nivells corresponents als d'un tractament primari (segons la Directiva 91/271).

SELECCIÓ DEL *TRACTAMENT ADEQUAT*

Els criteris bàsics que han de guiar la selecció de les alternatives de tractament en nuclis menors de 2000 hab·eq són:

1) La simplicitat en l'operació de la planta. S'han de prioritzar les alternatives que requereixin un temps d'operació i un nombre d'equipaments electromecànics mínims. El procés de tractament ha de ser senzill perquè un personal poc qualificat i poc nombrós pugui explotar la planta sense assistència tècnica.

2) La garantia del procés de tractament. Les possibles fallides d'equips i procés no han de repercutir en la qualitat dels efluents. L'alternativa escollida ha de ser fiable davant de grans variacions del cabal i de la càrrega contaminant.

3) Un baix cost d'explotació i manteniment, malgrat que això pugui suposar una inversió inicial més gran.

Les alternatives que s'adapten millor en termes generals a aquests criteris són els sistemes de tractament naturals. Els sistemes naturals poden obtenir rendiments d'eliminació dels contaminants equivalents als dels sistemes convencionals. D'altra banda, requereixen despeses d'explotació i manteniment menors que els tractaments convencionals (tot i que les despeses d'inversió poden arribar a ser més elevades quan s'ha d'adquirir el terreny).

A continuació es descriu un protocol que permet arribar a una primera aproximació sobre l'alternativa de tractament més recomanable per a cada cas particular. Cal tenir en compte que els resultats obtinguts a partir d'aquest protocol són bàsicament indicatius i estan oberts a qualsevol modificació que puguin introduir les característiques específiques de cadascuna de les aglomeracions.

El primer criteri de selecció que s'haurà d'aplicar en cadascuna de les aglomeracions serà l'avaluació de la intensitat del tractament. S'haurà d'analitzar en cada cas concret la contaminació aportada respecte a la totalitat d'abocaments presents i la seva incidència particular sobre la qualitat de les aigües receptores. Aquesta anàlisi permetrà seleccionar la intensitat de tractament necessària. Quan el medi receptor sigui poc fràgil, tingui una bona capacitat de dilució i tingui un estiatge poc sever, amb un tractament primari potser podrà ser suficient. En aquest cas, es recomana en general instal·lar tancs Imhoff, tants mòduls com sigui necessari. Les fosses sèptiques es reserven per aglomeracions molt petites (fins a 200 hab·eq). Es recomana construir decantadors primaris quan no quedi una altra alternativa.

Criteris de selecció de tractament secundari

El primer criteri de selecció de tractament secundari és la població equivalent de l'aglomeració que realitza l'abocament, segons la qual s'estableixen tres grups, per cadascun dels quals és òptima una certa gamma de tractaments de depuració (Taula 7.1).

Taula 7.1. Tractaments secundaris per a aglomeracions de menys de 2000 hab·eq de Catalunya.

Tractaments secundaris	Rang de població, hab·eq		
	50 · 300	300 · 1000	1000 ·2000
Tractaments naturals	...	...	...
Filtres verds i escorriment superficial	X	...	....
Llacunatges, aiguamolls i infiltració ràpida	X	X	...
Tractaments convencionals i llits de torba	X	X	X

Per a l'elaboració de la Taula 7.1 s'han tingut en compte bàsicament tres aspectes:

1) Pels nuclis de menys de 50 hab·eq es recomana en general utilitzar tècniques de sanejament autònom (fosses sèptiques i infiltració subsuperficial).

2) El límit poblacional de 300 hab·eq es fixa atenent a les necessitats de superfície dels filtres verds i dels sistemes d'escorriment superficial. Per a poblacions de més de 300 hab·eq la superfície necessària per aquestes tecnologies pot ser ja superior a 1 ha, i per aquest motiu és preferible optar per d'altres sistemes de tractament. Tanmateix, aquest criteri és relatiu, ja que el criteri depèn de la superfície disponible.

3) El límit poblacional de 1000 hab·eq es fixa atenent també a les necessitats de superfície dels aiguamolls, llacunatges i sistemes d'infiltració ràpida, ja que per una població equivalent més gran, la superfície requerida per aquests sistemes podria fàcilment superar 1 ha. Tanmateix, aquest criteri és relatiu, ja que el criteri depèn de la superfície disponible.

Per tal d'establir un nivell de selecció més acurat, s'han tractat a continuació per separat cadascun dels tres rangs poblacionals estudiats: 50·300, 300·1000 i 1000·2000 hab·eq, considerant els paràmetres següents:

1) El clima, bàsicament les temperatures mitjanes del mes de gener.

2) La disponibilitat de terreny.

3) Els pendents del terreny de què es disposa.

4) Els costos d'explotació i manteniment.

5) Els costos de construcció.

Selecció de la tecnologia de tractament més adequada per a aglomeracions d'entre 50 i 300 hab-eq.

Per a portar a terme aquesta selecció s'ha seguit el diagrama representat a la Figura 7.1.

Selecció de la tecnologia de tractament més adequada per a aglomeracions d'entre 300 i 1000 hab-eq.

Per a portar a terme aquesta selecció s'ha seguit el diagrama representat a la Figura 7.2.

Selecció de la tecnologia de tractament més adequada per a aglomeracions d'entre 1000 i 2000 hab-eq.

Per a portar a terme aquesta selecció s'ha seguit el diagrama representat a la Figura 7.3.

A les pàgines següents es descriuen les anotacions que apareixen a cadascun dels diagrames.

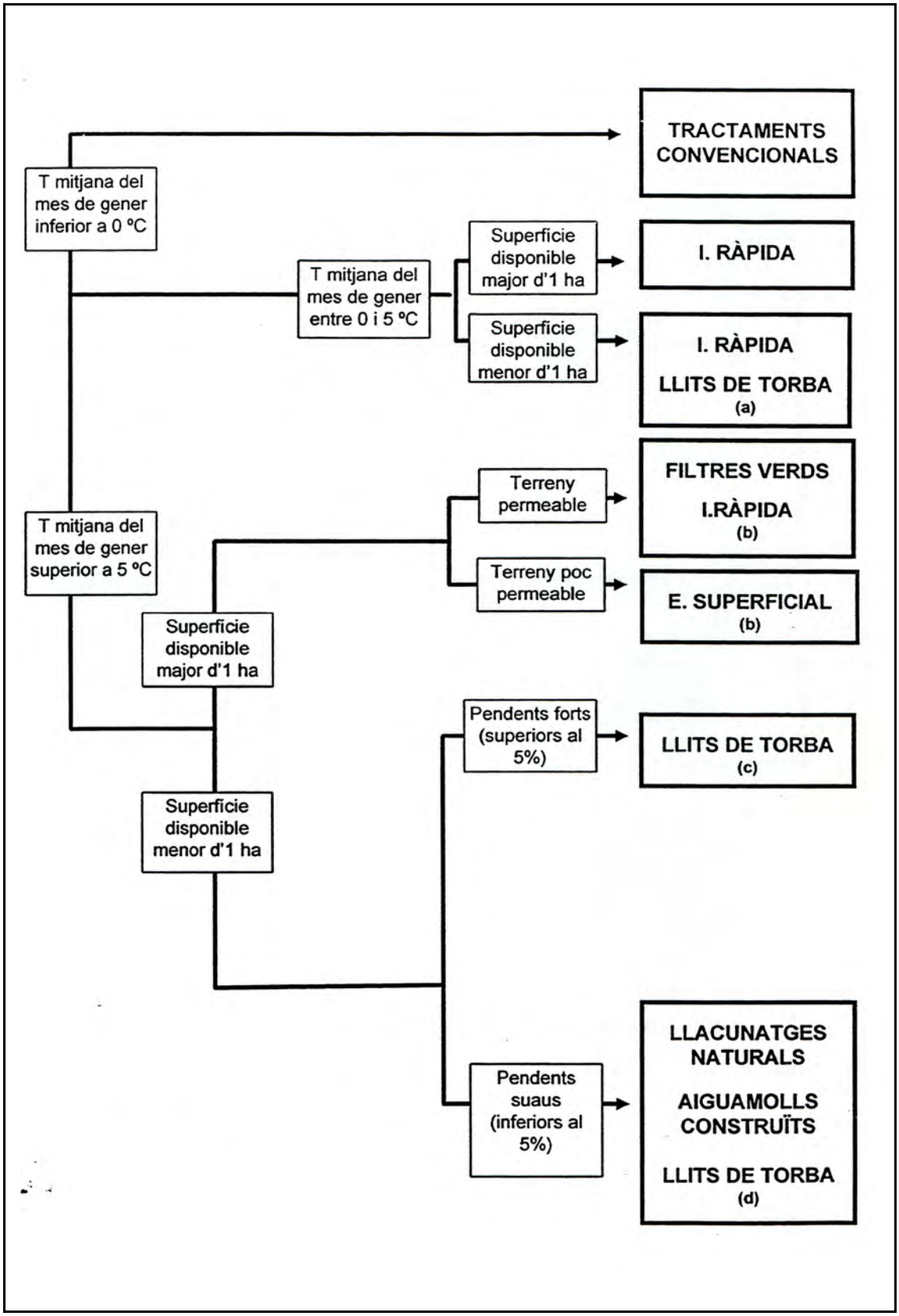


Figura 7.1. Diagrama de selecció de la tecnologia de tractament més adequada (tractament secundari) en aglomeracions d'entre 50 i 300 hab·eq.

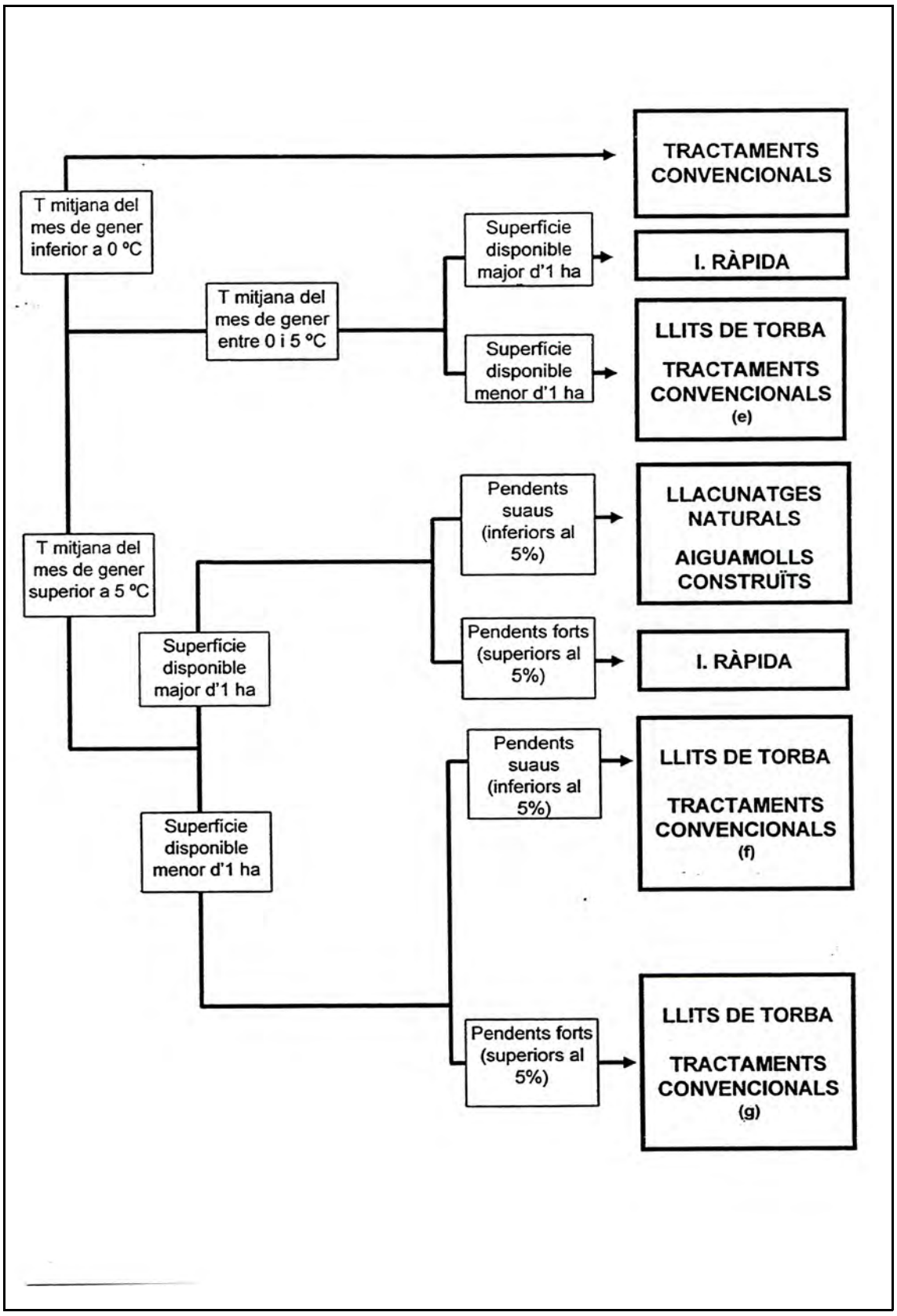


Figura 7.2. Diagrama de selecció de la tecnologia de tractament més adequada (tractament secundari) en aglomeracions d'entre 300 i 1000 hab-eq.

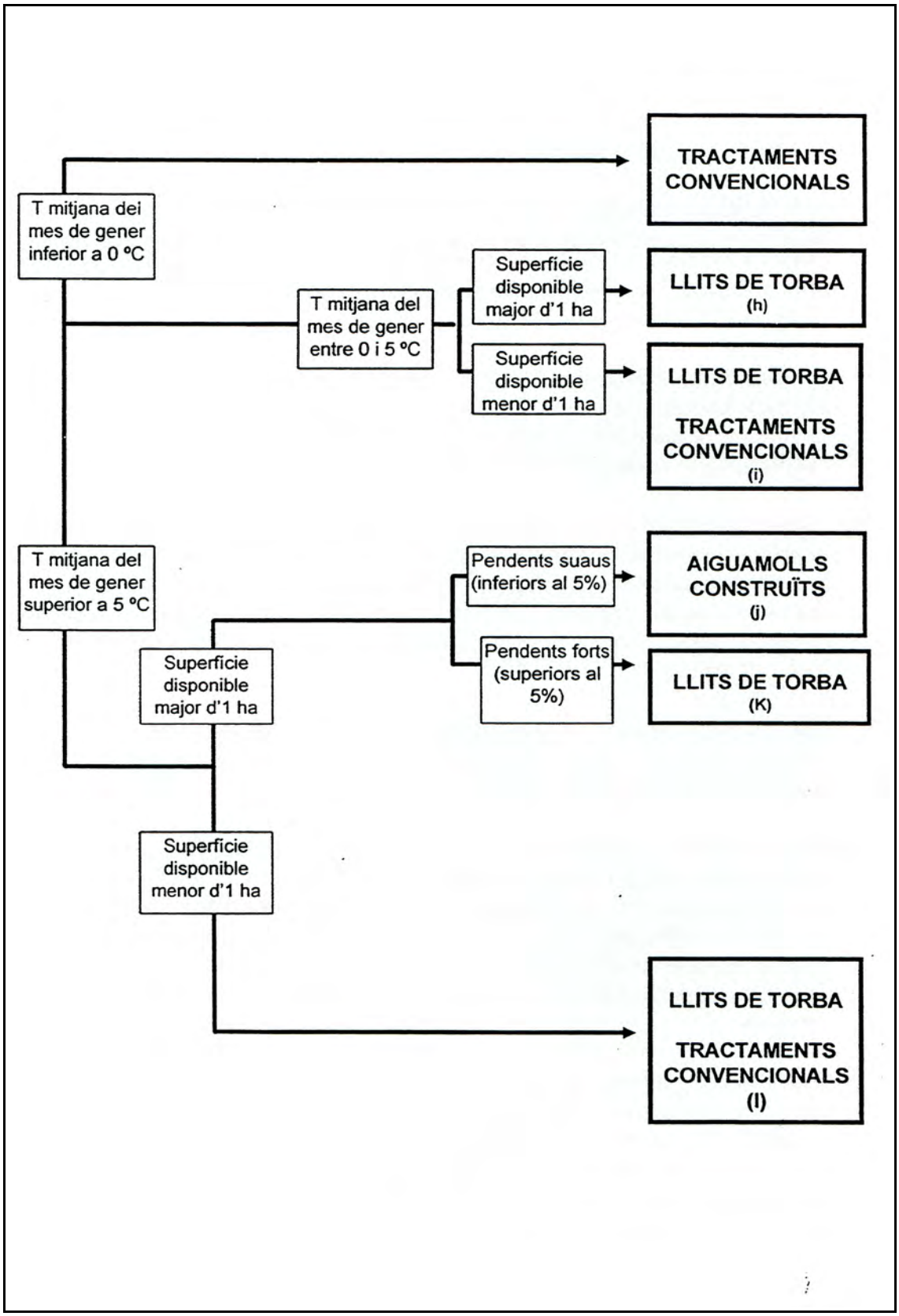


Figura 7.3. Diagrama de selecció de la tecnologia de tractament més adequada (tractament secundari) en aglomeracions d'entre 1000 i 2000 hab·eq.

a) Són tractaments poc afectats per les condicions climàtiques i a més no tenen problemes amb pendents elevats perquè són essencialment de flux vertical. És preferible la construcció d'un sistema d'infiltració ràpida perquè les despeses d'explotació i manteniment que genera són sempre són inferiors que les dels llits de torba (la torba s'ha de renovar sovint). Els llits de torba es reserven per aquells casos en què la superfície disponible sigui molt poca.

b) Sempre és preferible la instal·lació d'una d'aquestes tres alternatives quan la superfície disponible ho permeti, ja que comporten unes despeses d'explotació i manteniment sovint inferiors a les de les altres tecnologies naturals. En especial es recomana la implantació de filtres verds. Tanmateix, s'ha d'evaluar la possible contaminació de les aigües subterrànies.

c) Sempre és possible la instal·lació d'uns llits de torba. Tanmateix, s'ha de comprovar per cada cas particular si es disposa de la superfície suficient per la implantació d'una tecnologia d'aplicació al terreny (ja que això suposaria un estalvi important en l'explotació i el manteniment).

d) Gairebé sempre és possible que qualsevol d'aquestes tres alternatives es pugui implantar per raons de superfície en nuclis menors de 300 hab·eq. Són preferibles els llacunatges naturals i els aiguamolls construïts perquè les despeses d'explotació i manteniment que generen són inferiors a les dels llits de torba. Tanmateix, aquesta tecnologia es reserva per aquells casos en els quals les restriccions de superfície siguin molt importants.

   Com en el cas anterior, s'ha de comprovar si hi ha prou superfície per a la construcció d'una tecnologia natural d'aplicació al terreny, ja que s'aconseguiria d'aquesta manera un cert estalvi en explotació i manteniment.

e) És preferible la construcció d'uns llits de torba perquè els costos d'explotació i manteniment que generen són en general inferiors als d'un tractament convencional. Tanmateix, quan hi hagi restriccions importants de superfície, és possible que l'única alternativa viable sigui un tractament convencional. Cal comprovar si hi ha prou superfície per a la construcció d'un sistema d'infiltració ràpida, sistema que generaria unes despeses d'explotació i manteniment inferiors a les de les dues tecnologies anteriors.

f) Com en el cas anterior és preferible la construcció d'uns llits de torba. Tanmateix, és important comprovar si hi ha prou superfície per a la construcció d'un llacunatge natural o uns aiguamolls construïts, ja que aquests tenen uns costos d'explotació i manteniment inferiors. Quan sigui possible instal·lar alguna d'aquestes dues tecnologies, s'ha de comprovar també si la superfície disponible permet la construcció d'un sistema natural d'aplicació al terreny, reduint encara més els costos d'explotació i manteniment.

g) Tal com succeeix en els dos casos anteriors, és preferible la construcció d'uns llits de torba. Tanmateix, s'ha de comprovar si la superfície disponible permet la construcció d'un sistema natural d'aplicació al terreny, reduint així els costos d'explotació i manteniment.

h) La construcció d'uns llits de torba és sempre possible. Tanmateix, s'ha de prioritzar la instal·lació d'un sistema d'infiltració ràpida sempre que la superfície disponible sigui suficient.

i) És preferible la construcció d'uns llits de torba, perquè les despeses d'explotació i manteniment que generen són en general inferiors a les d'un tractament convencional. Tanmateix, quan hi hagi restriccions importants de superfície, és possible que l'única alternativa viable sigui un tractament convencional. Cal comprovar si hi ha prou superfície per a la construcció d'un sistema d'infiltració ràpida, el que generaria unes despeses d'explotació i manteniment inferiors a les de les dues tecnologies anteriors.

j) S'ha de comprovar si és factible la construcció d'un llacunatge natural (quan hi hagi prou superfície disponible). Quan això sigui possible, cal comprovar també si la superfície disponible permet la construcció d'un sistema d'infiltració ràpida, reduint encara més d'aquesta manera els costos d'explotació i manteniment.

k) La construcció d'uns llits de torba és sempre possible. Tanmateix, s'ha de prioritzar la instal·lació d'un sistema d'infiltració ràpida sempre que la superfície disponible sigui suficient.

l) És preferible la construcció d'uns llits de torba perquè les despeses d'explotació i manteniment que generen són inferiors a les d'un tractament convencional. Tanmateix, quan hi hagi restriccions importants de superfície, és possible que l'única alternativa viable sigui un tractament convencional. Cal comprovar si hi ha prou superfície per a la construcció d'un sistema d'infiltració ràpida, sistema que generaria unes despeses d'explotació i manteniment inferiors a les de les dues tecnologies anteriors.