



Universitat de Girona

# METODOLOGIA DE DISSENY CONCEPTUAL D'ESTACIONS DEPURADORES D'AIGÜES RESIDUALS QUE COMBINA EL PROCÉS DE DECISIÓ JERÀRQUIC AMB L'ANÀLISI DE DECISIONS MULTICRITERI

**Núria VIDAL ROBERTO**

**ISBN: 84-689-1338-3**

**Dipòsit legal: GI-349-2005**

<http://hdl.handle.net/10803/7786>

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

**WARNING.** Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



Universitat de Girona

DEPARTAMENT D'ENGINYERIA QUÍMICA, AGRÀRIA I  
TECNOLOGIA AGROALIMENTÀRIA

LABORATORI D'ENGINYERIA QUÍMICA I AMBIENTAL

TESI DOCTORAL

---

---

**Metodologia de disseny conceptual d'estacions  
depuradores d'aigües residuals que combina el  
procés de decisió jeràrquic amb l'anàlisi de decisions  
multicriteri**

---

---

Memòria presentada per Núria Vidal Roberto  
per optar al títol de doctor enginyer industrial per la Universitat de Girona

Girona, octubre de 2003



IGNASI RODRÍGUEZ-RODA LAYRET i RENÉ BAÑARES-ALCÁNTARA, professors d'Enginyeria Química de la Universitat de Girona i de la Universitat Rovira i Virgili, respectivament.

**CERTIFIQUEN:**

Que la llicenciada Núria Vidal Roberto ha dut a terme, sota la seva direcció, el treball que, amb el títol *Metodologia de disseny conceptual d'estacions depuradores d'aigües residuals que combina el procés de decisió jeràrquic amb l'anàlisi de decisions multicriteri*, presenta en aquesta memòria, la qual constitueix la seva Tesi per a optar al Grau de Doctor Enginyer Industrial.

I perquè en prengueu coneixement i tingui els efectes que correspongui, presentem davant la Facultat de Ciències de la Universitat de Girona l'esmentada Tesi i signem aquest certificat.

Girona, octubre de 2003

Ignasi Rodríguez-Roda Layret

René Bañares-Alcántara



## RESUM

La present Tesi proposa una metodologia de disseny conceptual d'estacions depuradores d'aigües residuals (EDARs) mitjançant la combinació del procés de decisió jeràrquic i l'anàlisi de decisions multicriteri. El document s'inicia amb una breu introducció als principals camps abordats pel treball: el disseny dels processos químics en general, el disseny de les estacions depuradores d'aigües residuals en particular, i l'anàlisi de decisions multicriteri aplicada a la gestió ambiental. Seguidament, es fixen els objectius del treball i es descriuen tant la metodologia com el material de suport informàtic utilitzats.

Per validar i contrastar la metodologia de disseny presentada, es desenvolupa un cas d'estudi on es porta a terme el disseny conceptual d'una EDAR que presenta els mateixos requeriments que l'EDAR que opera actualment al municipi de Granollers. Inicialment es presenta la informació de partida i tot seguit es defineixen els objectius de disseny, així com el conjunt de criteris que s'utilitzaran per avaluar en quina mesura es compleixen aquests objectius.

Els objectius de disseny són de diferents tipus: ambientals, tècnics, socials i econòmics, i el conjunt de criteris utilitzats, concretament 32, també es classifica segons aquestes quatre categories. Cadascun dels criteris presenta un determinat pes d'importància relativa en la presa de decisions.

Finalment, es desenvolupa tot el procés de decisió fins a obtenir el disseny complet de l'EDAR. El procés de decisió s'ha dividit en dues parts diferenciades però que alhora s'entrellacen: la línia d'aigües i la línia de fangs. El procés de decisió presenta un total de vint-i-una qüestions amb un màxim de quatre alternatives per pregunta (setze qüestions corresponen a la línia d'aigües, i cinc a la línia de fangs). Per solucionar cadascuna d'aquestes qüestions, s'avaluen les alternatives proposades respecte a un conjunt de criteris triats de la llista inicial. Aplicant el procés de decisió multicriteri anomenat SMART (*Simple MultiAttribute Rating Technique*), es combinen els resultats de les alternatives respecte a cada criteri, tenint en compte la importància de cada criteri, per obtenir un sol valor per alternativa. Per quantificar els criteris referents a l'operació del procés i les de tipus econòmic s'han utilitzat els programes GPS-X i CapdetWorks respectivament. La resta de criteris s'han resolt de manera qualitativa i mitjançant manuals de disseny i l'opinió

d'experts en aquest camp. L'alternativa que obté un resultat global més elevat és la recomanada per al procés de decisió. El cas d'estudi finalitza un cop s'obté el disseny conceptual complet de l'EDAR. Per integrar tots aquests elements que hem esmentat i donar suport al desenvolupament del procés de decisió, s'ha utilitzat el programa DRAMA (*Design RAtionale MAnagement*).

A continuació, es fa una anàlisi comparativa entre l'EDAR que hi ha actualment al municipi de Granollers i l'EDAR resultat del cas d'estudi. Es descriu el diagrama de flux que conforma l'EDAR de Granollers i el diagrama de flux de l'EDAR resultat de l'estudi, se'n fa una anàlisi comparativa justificant cadascuna de les decisions preses en el cas d'estudi i, finalment, es fa una discussió de resultats on es reflecteixen els avantatges associats d'aplicar la metodologia de disseny conceptual proposada. Finalment, es presenten les conclusions de la Tesi.

Aquest treball de Tesi Doctoral s'ha desenvolupat en el marc del projecte de recerca de la CICYT DPI2000-0665-C02-01 "Desenvolupament de tècniques òptimes de síntesi i disseny integrat de processos. Aplicació al procés de depuració d'aigües residuals". L'avaluació favorable d'aquest projecte ha permès la seva renovació en la convocatòria del MCyT DPI2003-09392-C02-01 "Desenvolupament i validació d'un sistema de suport a la decisió pel disseny integrat de processos de tractament d'aigües residuals urbanes."

Els principals resultats de la Tesi es van publicar el 2002 a la revista internacional *Industrial and Engineering Chemistry Research* (N. Vidal, R. Bañares-Alcántara, I. Rodríguez-Roda i M. Poch: "Design of wastewater treatment plants using a conceptual design methodology", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 41 (20), pàg. 4993-5005) i la continuació de la línia de recerca al Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental de la UdG ha comportat la presentació del treball de recerca de Xavi Flores "Procés de decisió jeràrquic combinat amb anàlisi multicriteri per al suport al disseny conceptual de sistemes de fangs actius d'una estació depuradora d'aigües residuals" i la presentació dels resultats parcials al congrés internacional de la 9<sup>th</sup> IWA Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment, que va tenir lloc el setembre passat a Praga ("Combining hierarchical decision process with multi-criteria analysis for conceptual design of WWTP", X. Flores, N. Vidal, A. Bonmatí, J. B. Copp i I. Rodríguez-Roda).

## RESUMEN

La presente Tesis propone una metodología de diseño conceptual de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) mediante la combinación del proceso de decisión jerárquico y el análisis de decisiones multicriterio. El documento se inicia con una breve introducción a los principales campos abordados por el trabajo: el diseño de los procesos químicos en general, el diseño de las estaciones depuradoras de aguas residuales en particular y el análisis de decisiones multicriterio aplicado a la gestión ambiental. Seguidamente, se fijan los objetivos del trabajo y se describen tanto la metodología como el material informático utilizados.

Para validar y contrastar la metodología de diseño presentada, se desarrolla un caso de estudio en el que se lleva a cabo el diseño conceptual de una EDAR que presenta los mismos requerimientos que la EDAR que opera actualmente en el municipio de Granollers. Inicialmente se presenta la información de partida y a continuación se definen los objetivos del diseño, así como el conjunto de criterios que se utilizarán para evaluar en qué medida se cumplen estos objetivos.

Los objetivos de diseño son de distintos tipos: ambientales, técnicos, sociales y económicos, y el conjunto de criterios utilizados, concretamente 32, también se clasifica según estas cuatro categorías. Cada uno de los criterios presenta un determinado peso de importancia relativa en la toma de decisiones.

Finalmente, se desarrolla todo el proceso de decisión hasta obtener el diseño completo de la EDAR. El proceso de decisión se ha dividido en dos partes diferenciadas pero que al mismo tiempo se entrelazan: la línea de aguas y la línea de fangos. El proceso de decisión presenta un total de veintiuna cuestiones con un máximo de cuatro alternativas por pregunta (la línea de agua presenta dieciséis y la línea de fango, cinco). Para solucionar cada una de estas cuestiones, se evalúan las alternativas propuestas con respecto a un conjunto de criterios escogidos de la lista inicial. Aplicando el proceso de decisión multicriterio llamado SMART (*Simple MultiAttribute Rating Technique*), se combinan los resultados de las alternativas con respecto a cada criterio, teniendo en cuenta la importancia de cada criterio, para obtener un único valor por alternativa. Para obtener los resultados de las alternativas referentes a la operación del proceso y las de tipo



económico, se han utilizado los programas GPS-X y CapdetWorks, respectivamente. El resto de criterios, se han resuelto de forma cualitativa y mediante manuales de diseño y la opinión de expertos en este campo. La alternativa que obtiene un resultado global más elevado es la recomendada para el proceso de decisión. El caso de estudio finaliza una vez se obtiene el diseño conceptual completo de la EDAR. Para integrar todos estos elementos que hemos mencionado y apoyar el desarrollo del proceso de decisión, se ha utilizado el programa DRAMA (Design Rationale Management).

A continuación, se realiza un análisis comparativo entre la EDAR que existe actualmente en el municipio de Granollers y la EDAR resultado del caso de estudio. Se describe el diagrama de flujo que conforma la EDAR de Granollers y el diagrama de flujo de la EDAR resultado del estudio, se realiza un análisis comparativo justificando cada una de las decisiones tomadas en el caso de estudio y, finalmente, se lleva a cabo una discusión de resultados en la que se reflejan las ventajas asociadas de aplicar la metodología de diseño conceptual propuesta. Finalmente, se presentan las conclusiones de la Tesis.

El presente trabajo de Tesis Doctoral se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación de la CICYT DPI2000-0665-C02-01 "Desarrollo de técnicas óptimas de síntesis y diseño integrado de procesos. Aplicación el proceso de depuración de aguas residuales". La evaluación favorable de este proyecto ha permitido su renovación en la convocatoria del MCyT DPI2003-09392-C02-01 "Desarrollo y validación de un sistema de soporte a la decisión para el diseño integrado de procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas."

Los principales resultados de la Tesis se publicaron en 2002 en la revista internacional *Industrial and Engineering Chemistry Research* (N. Vidal, R. Bañares-Alcántara, I. Rodríguez-Roda y M. Poch: "Design of wastewater treatment plants using a conceptual design methodology", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 41 (20), pág. 4993-5005), y la continuación de la línea de investigación en el Laboratorio de Ingeniería Química y Ambiental de la UdG ha comportado la presentación del trabajo de investigación de Xavi Flores *Procés de decisió jeràrquic combinat amb anàlisi multicriteri per al suport al disseny conceptual de sistemes de fangs actius d'una estació depuradora d'aigües residuals* y la presentación de los resultados parciales en el congreso internacional de la 9th IWA Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment, que tuvo lugar en el mes de septiembre pasado en Praga ("Combining

hierarchical decision process with multi-criteria analysis for conceptual design of WWTP", X. Flores, Núria Vidal, Augusto Bonmatí, J. B. Copp e Ignasi Rodríguez-Roda).



## ABSTRACT

This thesis proposes a methodology for the conceptual design of wastewater treatment plants (WWTP) via a combination of a hierarchical decision process and multicriteria decision analysis. We begin with a brief introduction into the main fields of study involved in this work: the design of chemical processes in general; the design of wastewater treatment plants in particular and multicriteria decision analysis as applied to environmental management. We go on to outline the objectives of the study and then describe our methodology as well as the computer-based support tools used.

In order to evaluate and contrast our design methodology, we present a study case in which a conceptual design is developed for a WWTP which has the same requirements as the actual WWTP currently in operation in the town of Granollers. First, we present the initial information and then define the design objectives, as well as the set of criteria that will be used in order to evaluate the degree to which the objectives have been met.

The design objectives are of different types: environmental, technical, social and economical; the set of criteria, of which there are 32 in all, are also classified into these four categories. Each of the criteria has a specific weighting in terms of their importance in taking decisions.

Next, we go through the whole decision process leading to the completion of the design of the WWTP. The decision process has been divided into two parts which are differentiated but at the same time, interconnected: the water line and the sludge line. The decision process involves a total of twenty-one questions (sixteen for the water line and five for the sludge line) with a maximum of four alternatives per question. In order to answer each question, the proposed alternatives are evaluated in relation to a set of criteria chosen from the initial list. Applying the multicriteria decision process known as SMART (*Simple MultiAttribute Rating Technique*), the results for the alternatives with respect to each criteria are combined, bearing in mind the importance of each criteria, in order to get a single value for each alternative. To get the results for those alternatives relating to the operation of the process and those to do with economical factors, we used the GPS-X and CapdetWorks programmes, respectively. The criteria not quantified by means of these programmes were resolved by qualitative means and through the

use of design manuals, in addition to taking expert opinion into account. The alternative that obtains the highest weighting is the one which is recommended by the decision process. The study case is completed once a complete design of the WWTP is obtained. In order to integrate all the elements we have mentioned, and to assist the development of the decision process, we employed the programme known as DRAMA (*Design RAtionale MAnagement*).

We then go on to give a comparative analysis between the real WWTP in Granollers and the WWTP resulting from our study case. We describe and compare the flow diagrams in both cases, providing justification for each of the decisions taken in the study case and then discuss the results, reflecting on the advantages to be gained from using the methodology of conceptual design we propose. Finally, we present the conclusions of our thesis.

This PhD has been developed in the framework of the research Project CICYT DPI2000-0665-C02-01 "Development of optimal synthesis and process design techniques. Application to wastewater treatment processes." The successful assessment of the project has led to his renewal in the last MCYT call DPI2003-09392-C02-01 "Development and validation of a decision support system for integrated process design of urban wastewater treatment."

The main results of this thesis were published, in 2002, in the international magazine, *Industrial and Engineering Chemistry Research* (N. Vidal, R. Bañares-Alcántara, I. Rodríguez-Roda and M. Poch: "Design of wastewater treatment plants using a conceptual design methodology", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 41 (20), pages 4993-5005). Continuing work in this line of research at the *Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental* at the University of Girona has led to the research work by Xavi Flores, *Procés de decisió jeràrquic combinat amb anàlisi multicriteri per al suport al disseny conceptual de sistemes de fangs actius d'una estació depuradora d'aigües residuals* (A hierarchical decision process combined with multicriteria analysis to assist conceptual design of active sludge systems in a wastewater treatment plant) and the presentation of the preliminary results at the 9<sup>th</sup> IWA Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment, which took place in September, 2003, in Prague ("Combining hierarchical decision process with multi-criteria analysis for conceptual design of WWTP", X. Flores, Núria Vidal, August Bonmatí, J. B. Copp and Ignasi Rodríguez-Roda).

**ÍNDEX**

ÍNDEX.....	1
Índex de taules .....	3
Índex de figures .....	7
NOMENCLATURA.....	9
1 INTRODUCCIÓ.....	11
1.1 Disseny de processos químics.....	11
1.2 Disseny d'estacions depuradores d'aigües residuals .....	17
1.2.1 Criteris aplicables al disseny d'una EDAR.....	23
1.3 Anàlisi de decisions multicriteri aplicada a la gestió mediambiental .....	25
1.3.1 Teoria multicriteri de valor o utilitat.....	28
1.3.1.1 Simple multiattribute rating technique (SMART).....	33
2 OBJECTIUS .....	37
3 METODOLOGIA PROPOSADA I MATERIAL DE SUPORT INFORMÀTIC .....	39
3.1 Metodologia proposada .....	40
3.1.1 Informació de partida.....	41
3.1.1.1 Caracterització de l'aigua residual d'entrada.....	41
3.1.1.2 Localització de l'EDAR.....	41
3.1.2 Proposta d'objectius inicials de disseny, criteris i pesos .....	41
3.1.3 Procés de decisió .....	42
3.2 Material de suport informàtic .....	46
3.2.1 CapdetWorks.....	46
3.2.1.1 Introducció .....	46
3.2.1.2 Funcionament del programa.....	47
3.2.1.3 Prestacions del programa .....	52
3.2.2 General Purpose Simulator (GPS-X) .....	55
3.2.2.1 Objectes.....	55
3.2.2.2 Variables d'estat i llibreries disponibles .....	57
3.2.2.3 Models d'afluent .....	60
3.2.2.4 Models de llots actius.....	61
3.2.2.5 Models de sedimentació i flotació.....	62

3.2.2.6	Prestacions del GPS-X .....	63
3.2.2.7	Calibratge del model .....	65
3.2.3	Design Rationale Management (DRAMA) .....	65
3.2.3.1	Objectes disponibles al programa .....	65
3.2.3.2	Funcionament del programa .....	67
3.2.3.3	Prestacions del programa .....	71
4	CAS D'ESTUDI .....	77
4.1	Informació de partida .....	77
4.1.1	Caracterització de l'aigua residual d'entrada .....	77
4.1.2	Localització .....	79
4.2	Objectius inicials de disseny i criteris.....	80
4.3	Procés de decisió: línia d'aigües.....	86
4.3.1	Línia d'aigües: secció del reactor .....	88
4.3.2	Línia d'aigües: secció prèvia al reactor .....	119
4.3.3	Línia d'aigües: secció posterior al reactor.....	133
4.3.4	Línia de fangs: secció del reactor .....	137
4.3.5	Línia de fangs: secció prèvia al reactor.....	142
4.3.6	Línia de fangs: secció posterior al reactor .....	148
5	ANÀLISI COMPARATIVA I DISCUSSIÓ DE RESULTATS.....	159
5.1	L'EDAR de Granollers .....	159
5.2	L'EDAR resultat de la metodologia proposada. ....	161
5.3	Anàlisi comparativa.....	164
5.4	Discussió de resultats .....	166
6	CONCLUSIONS .....	175
7	BIBLIOGRAFIA .....	177
8	ANNEXOS.....	187
8.1	Arxiu DRAMA: EDAR resultat d'estudi.....	187
8.2	Paràmetres de disseny inclosos a CapdetWorks.....	258

**Índex de taules**

Taula 1-1 Informació requerida per PIP .....	13
Taula 1-2 Procés de decisió jeràrquic de PIP .....	14
Taula 3-1 Avaluació de n alternatives en funció de m criteris .....	46
Taula 4-1 Paràmetres de disseny de l'EDAR de Granollers.....	78
Taula 4-2 Base de dades des del període de l'abril de l'any 1998 a l'abril de l'any 2000.....	79
Taula 4-3 Objectius inicials de disseny .....	80
Taula 4-4 Assignació de pesos a les 4 categories de criteris.....	86
Taula 4-5 Llista de qüestions que formen part del procés de decisió .....	87
Taula 4-6 Quantificació de criteris respecte a les alternatives proposades per prendre la decisió D1-Reactor biològic .....	92
Taula 4-7 Funcions de valor per als criteris C1-4, C3-2 i C4, quantificats a la decisió D1-Reactor biològic.....	94
Taula 4-8 Quantificació de criteris respecte les alternatives proposades per prendre la decisió D2-Aeració.....	97
Taula 4-9 Funcions de valor per als criteris C1-1 i C4, quantificats a la decisió D2-Aeració.....	98
Taula 4-10 Suma ponderada per prendre la decisió D2-Aeració .....	98
Taula 4-11 Quantificació de criteris respecte les alternatives proposades per prendre la decisió D3-Material del difusor.....	100
Taula 4-12 Funcions de valor per als criteris C1-1 i C4 a la decisió D3-Material del difusor.....	101
Taula 4-13 Suma ponderada per prendre la decisió D3-Material dels difusors.....	101
Taula 4-14 Mitjana, desviació estàndard, mínim i màxim dels paràmetres del perfil d'entrada seleccionat per portar a terme les simulacions .....	103
Taula 4-15 Paràmetres d'operació utilitzats per realitzar les simulacions .....	105
Taula 4-16 Quantificació dels criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D4-Control d'oxigen .....	108
Taula 4-17 Funcions de valor per als criteris C1-1 i C4-7 a la decisió D4-Control d'oxigen.....	108
Taula 4-18 Suma ponderada per prendre la decisió D4-Control d'oxigen.....	108
Taula 4-19. Quantificació dels criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D5-Consignes.....	111
Taula 4-20 Funcions de valor dels criteris C1-1, C4-7 a la decisió D5-Consignes.....	112



Taula 4-21 Suma ponderada per prendre la decisió D5-Consignes .....	112
Taula 4-22 Suma ponderada per prendre la decisió D6-Revisió de consignes.....	114
Taula 4-23 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D7-Selector.....	115
Taula 4-24 Funcions de valor del criteri C4 a la decisió D7-Selector.....	115
Taula 4-25 Suma ponderada per prendre la decisió D7-Selector .....	116
Taula 4-26 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D8-Tipus de selector.....	118
Taula 4-27 Funcions de valor dels criteris C1-1, C4 a la decisió D8-Tipus de Selector. ....	119
Taula 4-28 Suma ponderada per prendre la decisió D8-Tipus de selector.....	119
Taula 4-29 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D9-Decantador primari.....	121
Taula 4-30 Funcions de valor dels criteris C2-11 i C4 de la decisió D9-Decantador primari .	121
Taula 4-31 Suma ponderada per prendre la decisió D9-Decantador primari .....	122
Taula 4-32 Quantificació dels criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D10-Geometria del decantador .....	123
Taula 4-33 Funcions de valor dels criteris C3-2 i C4 a la decisió D10-Geometria del decantador primari.....	124
Taula 4-34 Suma ponderada per prendre la decisió D10-Geometria del decantador primari ....	124
Taula 4-35 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D11-Homogeneïtzador .....	125
Taula 4-36 Funcions de valor dels criteris C1-1 i C4 a la decisió D11-Homogeneïtzador.....	126
Taula 4-37 Suma ponderada per prendre la decisió D11-Homogeneïtzador .....	126
Taula 4-38 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D12-Dessorrador.....	127
Taula 4-39 Funcions de valor dels criteris C1-1 i C4 a la decisió D12-Dessorrador .....	128
Taula 4-40 Suma ponderada per prendre la decisió D12-Dessorrador. ....	128
Taula 4-41 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D13-Tipus de dessorrador .....	130
Taula 4-42 Funció de valor del criteri C4 a la decisió D13-Tipus de dessorrador .....	130
Taula 4-43 Suma ponderada per prendre la decisió D13-Tipus de dessorrador.....	131

Taula 4-44 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D14-Desbast de fins i grollers .....	132
Taula 4-45. Funcions de valor dels criteris C1-1 i C4 a la decisió D14-Desbast de fins i grollers .....	132
Taula 4-46 Suma ponderada per prendre la decisió D14-Desbast de fins i grollers .....	133
Taula 4-47 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D15-Geometria del decantador secundari.....	134
Taula 4-48 Funcions de valor dels criteris C3-2 i C4 a la decisió D15-Geometria del decantador secundari .....	135
Taula 4-49 Suma ponderada per prendre la decisió D15-Geometria del decantador secundari	135
Taula 4-50 Suma ponderada per prendre la decisió D16-Recirculació interna .....	136
Taula 4-51 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D17-Estabilització .....	140
Taula 4-52.Funcions de valor dels criteris C1-1, C2-12, C2-13, C3-2 i C4 a la decisió D17-Estabilització .....	141
Taula 4-53 Suma ponderada per prendre la decisió D17-Estabilització. ....	141
Taula 4-54 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D18-Espessiment de fangs primaris. ....	144
Taula 4-55 Funcions de valor dels criteris C1-1, C1-2, C2-13, C3-2 i C4 a la decisió D18-Espessiment de fangs primaris .....	144
Taula 4-56 Suma ponderada per prendre la decisió D18-Espessiment de fangs primaris.....	145
Taula 4-57 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D19-Espessiment de fangs secundaris .....	146
Taula 4-58 Funcions de valor dels criteris C1-1, C1-2, C2-13, C3-2 i C4 a la decisió D19-Espessiment de fangs secundaris .....	147
Taula 4-59. Suma ponderada per prendre la decisió D19-Espessiment de fangs secundaris...	147
Taula 4-60 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D20-Deshidratació .....	151
Taula 4-61 Funcions de valor dels criteris C1-1, C1-2, C2-3, C2,13, C2-15, C4 a la decisió D20-Deshidratació .....	153
Taula 4-62 Suma ponderada per prendre la decisió D20-Deshidratació .....	153

---

Taula 4-63 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D21-Gestió del fang .....	156
Taula 4-64 Funcions de valor dels criteris C1-1, C2-3, C3-2, C4 a la decisió D21-Gestió del fang .....	156
Taula 4-65 Suma ponderada per prendre la decisió D21-Gestió del fang.....	157
Taula 5-1 Unitats que difereixen entre l'EDAR resultat d'aplicar la metodologia proposada i l'EDAR de Granollers.....	164

## Índex de figures

Figura 1-1 Diagrama de ceba. Smith i Linnhoff .....	15
Figura 3-1 Estructura de la metodologia proposada. ....	40
Figura 3-2 Esquema general d'una xarxa de decisió .....	43
Figura 3-3 Quantificació de criteris.....	44
Figura 3-4 Funció de valor referent al criteri 1.....	45
Figura 3-5 Base de dades referent als costos d'equipament del juliol de 2000. ....	49
Figura 3-6 Model Capdet .....	50
Figura 3-7 Diagrama de flux d'una EDAR i diferents costos que proporciona el programa.....	51
Figura 3-8 Costos detallats.....	52
Figura 3-9 Comparació de costos per a diferents alternatives .....	53
Figura 3-10 Anàlisi de sensibilitat.....	54
Figura 3-11 Relació entre les variables de la llibreria CN i la DBO <sub>5</sub> , SST i DQO.....	59
Figura 3-12 Relació entre les variables de la llibreria CN i els compostos nitrogenats.....	59
Figura 3-13 Llibreria CN. Càlcul de les variables d'estat a l'afluent basat en la DBO <sub>5</sub> .....	60
Figura 3-14 Identificar la qüestió que s'ha de resoldre .....	67
Figura 3-15 Objectius de disseny.....	68
Figura 3-16 Pantalla Design Rationale .....	69
Figura 3-17 Relació dels criteris seleccionats amb els objectius inicials de disseny .....	70
Figura 3-18 Incloure enllaços al procés de disseny .....	71
Figura 3-19 Paràmetres introduïts a DRAMA.....	72
Figura 3-20 Opció per buscar dins el procés de disseny.....	73
Figura 3-21 Anàlisi d'inconsistència.....	74
Figura 3-22 Anàlisi d'impacte .....	75
Figura 4-1 Vista aèria de l'actual EDAR de Granollers .....	80
Figura 4-2 Objectius introduïts a DRAMA.....	82
Figura 4-3 Relació entre els criteris i els objectius inicials de disseny .....	85
Figura 4-4 Suma ponderada a DRAMA per prendre la decisió D1-Reactor biològic .....	94
Figura 4-5 Paràmetres del perfil d'entrada de 10 dies dels 170 utilitzats per tal de realitzar la simulació. Cabal d'entrada (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> ); DQO (mg l <sup>-1</sup> ); DBO <sub>5</sub> (mg l <sup>-1</sup> ); SS (mg l <sup>-1</sup> ).....	104

---

Figura 4-6 Alternativa sense control d'oxigen: oxigen dissolt al reactor. Oxigen dissolt del compartiment 1 ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ); oxigen dissolt del compartiment 2 ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ), i; oxigen dissolt del compartiment 3 ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ). .....	106
Figura 4-7 Alternativa amb control d'oxigen: cabal d'aire consumit. Cabal d'aire al compartiment 1 ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ); cabal d'aire al compartiment 2 ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ), i; cabal d'aire al compartiment 3 ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ) .....	107
Figura 4-8 Alternativa amb control d'oxigen: cabal total d'aire consumit ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ); consigna d'oxigen al primer compartiment; consigna d'oxigen al segon compartiment ,i; consigna d'oxigen al tercer compartiment. ....	110
Figura 5-1 Diagrama de flux de l'EDAR resultat de la metodologia proposada .....	162
Figura 5-2 Inconsistències referents a la relació entre objectius inicials de disseny i criteris....	169
Figura 5-3 Resultats d'aplicar l'opció de buscar nitrogen a DRAMA.....	170
Figura 5-4 Resultats d'aplicar l'anàlisi d'impacte al procés de disseny .....	172

## NOMENCLATURA

AHP: *Analytic Hierarchy Process*

AIDES: *Adaptative Initial Design Synthesizer*

CAPDET: *Computer Assisted Procedure for Design and Evaluation wastewater Treatment systems*

CLTM: *dutch Committee for Long-Term environmental policy*

DBO<sub>5</sub>: Demanda Biològica d'Oxigen

DQO: Demanda Química d'Oxigen

DRAMA: *Design Rationale MAnagement*

EDAR: Estació Depuradora d'Aigües Residuals

Elnitrogen: Eliminació de nitrogen

GPS-X: *General Purpose Simulator*

IWSA: *International Water Services Association*

KBDS: *Knowkedge Based Design System*

MAUT: *MultiAttribute Utility Theory*

MAVT: *MultiAttribute Valor Theory*

MINLP: *Mixer-Integer Nonlinear Programming*

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Amoni

NKT: Nitrogen Kjeldahl

Nt: Nitrogen total

PI: Proporcional integral

PIP: *Process Invention Procedure*

PROSYN.MINLP: *Process Synthesizer Mixer-Integer Nonlinear Programming*

Pt: Fòsfor total

SCADA: Sistema de Control i Adquisició de DAdes

SMART: *Simple MultriAttribute Rating Technique*

SS: Sòlids en Suspensió

SS<sub>p</sub>: Sòlids en Suspensió del fang en excés

SSV: Sòlids en Suspensió Volàtils

SSV<sub>p</sub>: Sòlids en Suspensió Volàtils del fang en excés



## 1 INTRODUCCIÓ

Aquest capítol es divideix en tres seccions principals: disseny de processos químics, disseny d'estacions depuradores d'aigües residuals i anàlisi de decisions multicriteri aplicada a la gestió mediambiental. La secció de disseny de processos químics se centra en l'etapa de disseny conceptual i es descriuen dues línies diferenciades pel que fa a les metodologies existents. Tot seguit, a la secció de disseny d'estacions depuradores d'aigües residuals es fa una breu descripció de les diferents etapes que conformen el disseny d'estacions depuradores d'aigües residuals i dels diferents tipus de criteris que es poden tenir en compte a l'hora de dissenyar-les. Finalment, a la secció d'anàlisi de decisions multicriteri aplicada a la gestió mediambiental es descriuen les diferents aplicacions, els elements, l'estructura i les característiques de les metodologies existents. Al final d'aquesta secció es descriu la teoria multicriteri de valor o utilitat centrant-se en el mètode SMART (*Simple MultiAttribute Rating Technique*).

### 1.1 Disseny de processos químics

El disseny de processos químics és una activitat complexa que inclou síntesi, anàlisi i avaluació, que alhora comporta tot un procés de decisió. Una vegada s'ha decidit el procés químic que es portarà a terme, cal seleccionar tant les unitats com la interconnexió d'aquestes unitats en un diagrama de flux que representarà la transformació de les matèries primeres en productes finals. Tot seguit es fan modelitzacions per predir el comportament del procés i, finalment, s'avalua el seu funcionament.

El procés de síntesi o disseny conceptual té l'objectiu de sintetitzar un diagrama de flux que presenti les millors condicions de disseny, seleccionant les unitats de procés i les interconnexions entre aquestes unitats. Això és difícil a causa del gran nombre d'alternatives que es poden generar i avaluar a la vegada davant de criteris de tipus tècnic, de seguretat, ambientals, socials, etc. Douglas (1988) va estimar que en un problema típic de disseny de processos químics existeixen entre  $10^4$  i  $10^9$  diagrames de flux alternatius.

Per altra banda, les alternatives s'han de comparar amb les condicions de disseny òptimes. Poden existir entre 10.000 i 20.000 equacions i entre 10 i 20 variables d'optimització que descriuen cada alternativa (Westerberg, 1981).



A la bibliografia hi ha un gran nombre de procediments sistemàtics en el camp del disseny conceptual o procés de síntesi de diagrames de flux. Nishida *et al.* (1981) van desenvolupar un procediment sistemàtic per sintetitzar el diagrama de flux d'una xarxa d'intercanvi de calor.

Aquest treball va rebre molta atenció i els resultats van demostrar que la xarxa d'intercanvi de calor resultat d'aplicar aquest procediment obtenia estalvis de calor d'un 30% a un 50% respecte als dissenys obtinguts d'aplicar tècniques de disseny convencional (Boland i Hindmarsh 1984; Linnhoff i Vredevel, 1984).

Això va demostrar que l'aplicació d'un procediment sistemàtic de disseny era efectiu per sintetitzar diagrames de flux de processos químics. També va rebre molta atenció l'aplicació de procediments sistemàtics de disseny per seleccionar les seqüències de columnes de destil·lació (Glinos i Malone, 1985).

Pel que fa a programes de suport a la síntesi de diagrames de flux, el primer programa desenvolupat va ser AIDES (*Adaptive Initial Design Synthesizer*), desenvolupat per Ruud (Powers, 1972; Sirola i Ruud, 1971; Sirola *et al.*, 1971). Aquest programa es basava en heurística i programació lineal i estava coordinat mitjançant una recerca per anàlisi de mitjans i objectius. El segon programa de suport al procés de síntesi que es va desenvolupar va ser BALTAZAR (Mahalec i Motard, 1977a, 1977b). Aquest també es basava en heurística i programació lineal. Per altra banda, disposava d'un arbre de mètode de recerca combinada amb tècniques de prova de teoremes.

A partir de mitjans dels anys vuitanta apareixen dues línies diferenciades per tal d'enfocar el problema de síntesi dels diagrames de flux: (1) el procés de decisió jeràrquic (Douglas 1985, 1988, 1990) i la seva aplicació en el programa *Process Invention Procedure* (PIP) (Kirkwood *et al.*, 1988) i (2) La programació matemàtica utilitzant *Mixer-Integer Nonlinear Programming* (MINLP) (Grossmann 1985, 1990a, 1990b) i la seva aplicació al programa *Process Synthesizer* (PROSYN.MINLP) (Kravanja i Grossmann, 1990, 1994).

Per aplicar el sistema de decisió jeràrquic, Douglas va sintetitzar un diagrama de flux per a un tipus de procés petroquímic. Aquest procediment combina l'heurística amb els mètodes de

disseny de càlcul aproximat. A Douglas i Woodcock (1985) es desenvolupen mètodes per eliminar directament les alternatives no vàlides.

La solució estratègica de PIP és dividir els problemes llargs i complexos de disseny en diferents problemes més simples i fàcils de solucionar. D'aquesta manera, centrant-se decisió per decisió en cadascun dels nivells del procés jeràrquic, és més senzill identificar les tecnologies existents per solucionar el problema i, a la vegada, també se n'hi poden incloure de noves que poden donar millor solució. En molts casos és possible utilitzar manuals de disseny (correlacions o regles expertes), per prendre algunes decisions de l'estructura del diagrama de flux o per seleccionar els valors d'algunes de les variables de disseny.

A la Taula 1-1 s'observa la informació que requereix PIP per sintetitzar un diagrama de flux referent a la matèria primera, a les reaccions primàries i secundàries, als corrents d'entrada, a les propietats físiques i a les dades de la distribució dels productes.

Taula 1-1 Informació requerida per PIP

(1) Matèria primera
▪ Taxa de producció
▪ Puresa
▪ Preu
(2) Reaccions primàries i secundàries
▪ Reactius i productes
▪ Temperatura i pressió
▪ Preu dels subproductes
(3) Corrents d'entrada
▪ Nombre i composició dels corrents
▪ Temperatura i pressió
▪ Preu de cada corrent d'entrada
(4) Propietats físiques
(5) Dades de la distribució dels productes

Per altra banda, a la Taula 1-2 s'observen els passos del procés de decisió de PIP. El procés de decisió està format per diferents nivells de jerarquia de decisions.

Taula 1-2 Procés de decisió jeràrquic de PIP

<b>Nivells de la jerarquia de decisions</b>
(0) Informació de partida
(1) Discontinu o continu
(2) Estructura d'entrada i sortida
(3) Estructura de recirculació
(4) Sistema de separació <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) Sistema de recuperació de vapor</li> <li>(b) Sistema de separació de líquid</li> </ul>
(5) Integració energètica
(6) Altres alternatives detallades

Una variant del procés de decisió jeràrquic de Douglas és el que van suggerir Smith i Linnhoff (1988), que proposen començar el procés de disseny pel reactor, unitat on es transformen les matèries primeres en productes.

El reactor escollit produeix una barreja de matèries primeres en excés, subproductes i productes finals que s'han de separar o fer recircular. És per això que el disseny del reactor determina les etapes de recirculació i separació.

Finalment, totes les etapes anteriors determinen el sistema d'escalfament i refredament. Per tant, la xarxa d'intercanvi de calor és l'etapa següent i els processos d'escalfament i refredament que no s'hagin pogut satisfer amb la recuperació de calor determinen la necessitat de fonts d'energia exteriors.

Aquesta jerarquia es pot representar mitjançant els nivells del diagrama de ceba (Figura 1-1). Aquest diagrama mostra la naturalesa seqüencial o jeràrquica del procés de disseny.

Per als processos que no requereixen reactor, com per exemple els processos de refinaria, es proposa començar pel sistema de separació.

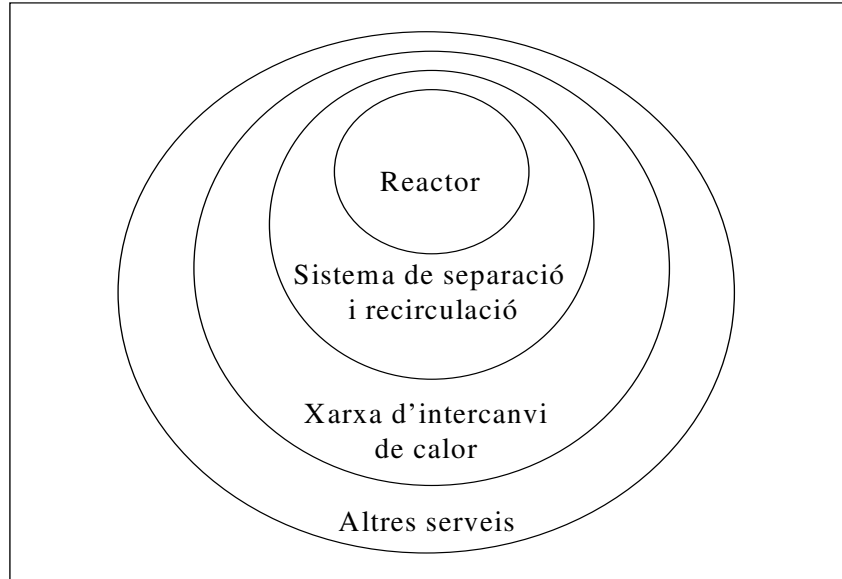


Figura 1-1 Diagrama de cebes. Smith i Linnhoff

Es poden trobar altres aplicacions del procés de decisió jeràrquic a Bañares-Alcántara *et al.*, (1995), on es desenvolupa una eina de suport al disseny basada en el coneixement "*Knowledge based design system*" (KBDS); a Rodríguez-Roda *et al.* (2000a, 2000b), on es presenta l'aplicació de KBDS al disseny d'estacions depuradores d'aigües residuals; a Freitas *et al.* (2000) on s'aplica el disseny conceptual al disseny d'una estació depuradora industrial combinant el procés de decisió jeràrquic amb els sistemes experts; a Vidal *et al.* (2002b), on es presenta una metodologia sistemàtica de disseny conceptual per dissenyar una estació depuradora d'aigües residuals que combina el procés de decisió jeràrquic amb la modelització matemàtica.

Per altra banda, l'aproximació basada en programació matemàtica desenvolupada per Grossmann (1985) es basa en la creació d'una superestructura o hiperestructura formada pel conjunt dels possibles processos d'operació i interconnexions alternatives per configurar un diagrama de flux òptim. Al principi s'avaluen totes les opcions, tot i que moltes es podrien eliminar directament. Això es fa per assegurar que s'ha explorat tot l'espai, incloent-hi totes les alternatives potencialment interessants. Tot seguit es formula el problema de disseny com un problema matemàtic amb equacions i variables de disseny. Les equacions de disseny són les equacions que modelitzen cadascuna de les unitats i les seves restriccions específiques.

De variables de disseny n'hi ha de dos tipus: les contínues i les d'integració. Són variables de tipus continu les que descriuen l'operació de cada unitat (cabal, composició, temperatura, pressió, etc.), la mida (volum, àrea de transferència de calor, etc.) i els costos i guanys associats a aquestes unitats. Per altra banda, són variables d'integració les que fan referència a l'estructura del diagrama de flux. Aquestes descriuen la presència d'unitats i connexions, prenent el valor 1 si la unitat o la connexió existeix i prenent el valor 0 si la unitat o connexió no existeix.

Una vegada s'ha formulat matemàticament el problema, la solució es porta a terme mitjançant l'aplicació d'un algorisme d'optimització. A mesura que les variables d'integració van prenent valors d'1 o 0, l'estructura inicial de disseny es va reduint fins a arribar al disseny òptim final. Podem trobar aplicacions d'aquesta metodologia a Steffens *et al.* (1999), on es mostra una metodologia multiobjectiu per sintetitzar els diagrames de flux mitjançant un exemple d'aplicació de la síntesi d'un procés de producció de la penicil·lina. Pérez *et al.* (2003, 2002) s'han plantejat una metodologia de disseny de processos que té en compte condicions de controlabilitat en llaç obert i estratègies de control en llaç tancat, utilitzant un conjunt de desigualtats lineals matricials on es resolen iterativament dos problemes d'optimització sub-òptims. Gutiérrez i Vega (2002a, 2002b) presenten un algorisme per al disseny integrat d'un procés de fangs activats i el seu control, tenint en compte propietats de controlabilitat i estabilitat del sistema resultant. Per altra banda, a Daichendt i Grossmann (1996) es desenvolupa una metodologia que combina la programació matemàtica amb el procés de decisió jeràrquic de Douglas per explotar els avantatges que presenten aquests dos mètodes.

A Smith (1995) es descriuen els avantatges i els inconvenients de cadascuna d'aquestes aproximacions. Com a inconvenient de l'aproximació basada en el procés de decisió jeràrquic, hi ha el fet que a cada estadi existeixen diferents alternatives i s'han d'avaluar totes per escollir la millor. Moltes vegades, aquestes alternatives no es poden avaluar sense completar el disseny i optimitzar les condicions d'operació. Això significa que s'han de completar i optimitzar un gran nombre de diagrames de flux per trobar l'òptim. Tot i així, no es té la garantia de trobar el millor disseny perquè es poden donar interaccions complexes entre els diferents elements del diagrama de flux. Per altra banda, l'avantatge més important d'aquesta aproximació és que la persona que dissenya pot mantenir el control de les decisions bàsiques i realitzar un procés de disseny interactiu.

Per altra banda, els inconvenients de l'aproximació basada en la programació matemàtica són, en primer lloc, la impossibilitat de trobar l'estructura òptima si no s'ha inclòs en la superestructura o hiperestructura inicial. Un altre dels inconvenients és la dificultat de trobar la solució òptima davant de resultats amb gran quantitat d'òptims locals. Finalment, l'inconvenient més important és que una vegada s'ha fixat la superestructura i la funció objectiu, la persona que dissenya és totalment eliminada del procés de decisió i, per tant, no es poden tenir en compte factors qualitius com la seguretat, el tipus d'equipament, etc., difícils d'incloure en la formulació matemàtica. Per altra banda, aquesta aproximació presenta un gran nombre d'avantatges. Es poden considerar moltes opcions de disseny al mateix temps i el procediment de disseny es pot realitzar amb un programa capaç de fer càlculs ràpids i eficaços.

## 1.2 Disseny d'estacions depuradores d'aigües residuals

Els sistemes de tractament d'aigües residuals es van desenvolupar per evitar les condicions adverses causades per l'abocament directe d'aigua residual al medi ambient. Els mètodes més comuns a principis del segle XIX eren la irrigació i la filtració intermitents. Més tard, es van començar a desenvolupar altres sistemes més avançats que tenien com a objectiu accelerar els processos naturals en condicions controlades. En general, des de l'any 1900 fins a l'any 1970, els objectius de tractament eren l'eliminació de sòlids en suspensió, el tractament de compostos orgànics biodegradables i l'eliminació d'organismes patògens. Als anys setanta es van marcar límits d'abocament més exigents i es va començar a eliminar nitrogen i fòsfor. Des de l'any 1980 fins ara la legislació s'ha anat fent més restrictiva i s'ha donat més importància a aspectes toxicològics.

El disseny d'Estacions Depuradores d'Aigües Residuals (EDARs) és un problema complex. Les EDARs, a més de complir amb els límits marcats per la legislació, també han de satisfer molts altres aspectes ambientals, socials, culturals, econòmics i tècnics. Hi ha diverses publicacions on es comparen tecnologies de tractament d'aigües residuals incloent-hi aquests aspectes. Roeleveld *et al.* (1997) i Graaf *et al.* (1997) comparen l'impacte del funcionament d'estacions depuradores amb l'impacte total antropogènic, tenint en compte estadístiques holandeses per identificar els impactes més importants provocats pel funcionament d'aquests sistemes. A Vidal *et al.* (2002a) avaluen l'impacte ambiental d'incloure modificacions estructurals en una EDAR per eliminar nitrogen biològicament.

Les unitats que conformen el diagrama de flux d'una EDAR són de dos tipus: operacions unitàries i unitats de reacció o tractament (WEF, 1992). En les operacions unitàries, els contaminants s'eliminen mitjançant processos físics; en canvi, en les unitats de tractament s'eliminen mitjançant processos químics o biològics. Hi ha unitats que presenten una combinació de tots tres processos, com és el cas dels bioreactors de fangs activats, on es combina la barreja, la transferència de gas, la floculació i l'activitat biològica. Les EDARs utilitzen un conjunt d'unitats d'operació i de tractament per configurar el millor diagrama de flux.

El diagrama de flux general d'una EDAR es divideix en dues línies principals: la línia d'aigües i la línia de fangs. La línia d'aigües està formada pel pretractament, el tractament primari i el tractament secundari. El pretractament és l'etapa del procés en què se separa el material sòlid contingut en l'aigua residual: els sòlids grossers i fins se separen mitjançant reixes, mentre que les sorres i els greixos se separen al dessorrador desgreixador. Tot seguit, en l'etapa de tractament primari se separen per decantació els sòlids en suspensió; aquesta etapa es pot complementar amb un tractament químic. Finalment, el tractament secundari consisteix en la conversió biològica dels components dissolts i col·loïdals que conté l'aigua residual en components estabilitzats i noves cèl·lules de biomassa. Aquesta conversió la porten a terme un conjunt de microorganismes, que juntament amb les partícules orgàniques i inorgàniques formen l'anomenat fang activat. Per altra banda, la línia de fangs té l'objectiu d'espessir, estabilitzar i deshidratar el fang activat purgat del sistema com a residu.

Les consideracions bàsiques per desenvolupar el diagrama de flux d'una EDAR inclouen factors tècnics i humans. Com a factors tècnics, hi ha la caracterització de l'aigua residual que s'ha de tractar, la quantitat i la qualitat de l'aigua tractada i fang generat, la topografia i les condicions del terreny on s'ha d'instal·lar l'EDAR, i l'equipament disponible i la minimització dels impactes ambientals generats. Com a factors humans, hi ha els requeriments de la legislació, la proximitat als nuclis urbans, les preferències i l'experiència de les persones que dissenyen l'EDAR, la informació econòmica i el nivell d'experiència del personal que haurà d'operar a l'EDAR.

Per dissenyar i construir una EDAR s'han de seguir els cinc passos següents (Metcalf i Eddy, 2003): planejament, disseny, valoració, construcció i, finalment, posada en funcionament.

### (1) Planejament

En l'etapa de planejament s'analitzen sistemàticament els factors tècnics, econòmics, ambientals i financers necessaris per seleccionar un sistema de gestió d'aigua residual efectiu. En el planejament es defineix el problema, s'identifiquen els anys de vida útil de l'estació depuradora, es defineixen, es desenvolupen i s'analitzen les alternatives de tractament com també dels sistemes d'abocament, se selecciona el diagrama de flux i, finalment, es defineix un planejament de disseny i construcció. L'etapa de planejament també ha d'incloure una avaluació de l'impacte ambiental.

A continuació es fa una llista detallada de tots els punts que ha d'incloure aquesta etapa de planejament:

- **Descripció del projecte**

Es descriu el projecte i les seves necessitats en termes de localització, zones de serveis i problemes associats a la situació actual. Es discuteixen detalladament les necessitats de millorar la situació actual, incloent-hi l'incompliment dels límits de descàrrega d'aigua residual marcats per la legislació i els perills potencials per a la salut pública associats a les condicions existents.

- **Límits de descàrrega**

Inclou els límits de descàrrega d'aigua tractada marcats per la legislació. Aquests límits venen fixats en funció del llit receptor.

- **Condicions existents i futures**

Es descriuen les condicions ambientals actuals i futures de la zona. La descripció ha de ser suficient per fer una anàlisi bàsica de les alternatives i determinar els impactes de l'acció proposada. Aquesta descripció ha d'incloure:

- ✓ Les aigües superficials i subterrànies, la quantitat, qualitat i ús de l'aigua, la temperatura, les precipitacions i l'evaporació.
- ✓ La geologia, la vegetació aquàtica i les comunitats animals.
- ✓ La qualitat de l'aire i el soroll, la producció d'energia.
- ✓ La situació econòmica, demogràfica i l'ús del sòl, així com projeccions de la població.
- ✓ Controls del sistema de sanejament.



- ✓ Característiques i composició de l'aigua residual.
- ✓ Característiques de la combinació de l'aigua residual urbana i municipal, presència d'infiltracions i avaluació del sistema de sanejament i rehabilitació.

- Criteris d'enginyeria

Els criteris d'enginyeria que es fan servir per dissenyar el projecte també s'han d'incloure en el planejament.

- Predicció de les característiques de l'aigua residual que s'ha de tractar

S'ha de fer una estimació de la futura mida i de la capacitat de l'EDAR durant el temps de vida del projecte. Aquesta estimació es basa en el creixement de la població, el creixement industrial, la infiltració, les mesures de reducció de la producció de residus i l'establiment d'un futur cabal i càrrega. També s'ha d'avaluar l'impacte de totes les unitats del projecte.

- Alternatives de tractament i selecció d'aquestes alternatives

Un cop s'ha definit el problema, es desenvolupen diverses alternatives de tractament, es localitza la descàrrega de l'aigua tractada i els processos de tractament de fangs i abocament de qualsevol tipus de rebuig. Es fa una avaluació i una selecció general de les alternatives que siguin més rendibles des del punt de vista econòmic, però que a la vegada també compleixin factors de tipus ambiental, social i tècnic.

- Descripció de l'estació depuradora d'aigües residuals seleccionada

Es descriuen les alternatives de tractament que s'han seleccionat de manera preliminar.

- Operació i manteniment de l'EDAR

Es descriu l'operació i el manteniment que s'haurà de realitzar a l'EDAR un cop estigui construïda.

- Subministrament elèctric alternatiu

Totes les EDARs han de tenir una font d'energia elèctrica alternativa per permetre la continuïtat de l'operació durant les possibles aturades de llum.

- Aspectes de tipus legal, institucionals i financers.

Discussió de les capacitats legals, institucionals i financeres de la zona.

- Avaluació de l'impacte ambiental

L'avaluació de l'impacte ambiental es fa amb el propòsit de minimitzar els potencials efectes adversos de l'alternativa proposada inicialment.

- Participació pública

La població hauria de participar des del principi en el procés de disseny perquè els interessos i conflictes potencials es puguin identificar en l'etapa de planejament.

- Estimació econòmica

Es fa una estimació econòmica general per construir l'EDAR.

- Calendari

Es fa un calendari detallat amb l'estimació de tasques i terminis per portar a terme el projecte.

## (2) Disseny

Després del planejament, l'aproximació que es fa servir generalment per dissenyar l'EDAR té tres etapes: disseny conceptual, disseny preliminar i disseny final. En l'etapa de disseny conceptual s'acaben de definir els criteris que s'han de tenir en compte, s'estableixen diagrames de flux preliminars i es defineix si hi ha necessitat d'investigar sobre un camp determinat.

El disseny preliminar és una expansió del disseny conceptual i és on s'acaben de definir les unitats que s'han d'incloure en el projecte per fer el disseny final. Durant les etapes de disseny conceptual i disseny preliminar es porten a terme les decisions més importants, es seleccionen els equips i es dibuixa un diagrama de flux preliminar.

En el disseny final es desenvolupa el contracte detalladament amb totes les especificacions per construir la planta. En l'etapa de disseny és important incloure-hi les mesures de prevenció per reduir possibles impactes ambientals.

- Disseny conceptual

L'èxit aconseguit en un projecte depèn en gran mesura de les accions que es portin a terme durant les etapes inicials del disseny. En l'etapa de disseny conceptual es desenvolupen i defineixen les dades bàsiques de disseny, es defineix el diagrama de flux, s'analitza la hidràulica de la planta, es defineix un perfil hidràulic, es defineixen les estratègies d'operació i control, així com també es localitza la implantació de la planta en el terreny.

- Disseny preliminar

Aquesta etapa representa entre el 20% i el 30% del projecte. Durant aquesta etapa s'acaba de localitzar la planta, es defineixen els requeriments dels equips, es trien definitivament les diferents alternatives, es desenvolupen els requeriments d'espai i els requeriments arquitectònics i es determinen els requeriments de sistemes de suport i prestacions. En aquesta etapa ja s'hauria de poder fer una estimació preliminar de costos. Abans o durant el disseny preliminar es fan estudis especials que inclouen plantes pilot, estudis de biodegradabilitat, estudis de l'impacte que comportarà l'abocament d'aigua tractada al medi receptor, etc.

- Disseny final

En l'etapa de disseny final es prepara el planejament de la construcció. Aquesta etapa normalment la porta a terme una enginyeria. Requereix l'esforç d'experts en diversos camps: civil, ambiental, químic, mecànic, elèctric, estructural, del sòl, etc.

### (3) Valoració

En aquesta etapa es revisa intensament el projecte fent servir una tècnica de control de costos especialitzada per identificar costos innecessaris. L'objectiu d'aquesta etapa és obtenir el millor projecte amb el menor cost, sense sacrificar la qualitat del projecte.

### (4) Construcció

En l'etapa de construcció, l'enginyer de disseny ha de tenir en compte com es construirà la planta, com s'integrarà en el lloc on es construeixi i quins són els materials de construcció que s'utilitzaran.

#### (5) Posada en marxa

Una vegada es posa en marxa l'estació depuradora d'aigües residuals dissenyada, s'ha de portar a terme una operació i un manteniment que permetin aconseguir els requeriments proposats. El disseny s'ha de fer pensant en l'operació i la planta s'ha de construir i operar d'acord amb el disseny.

Les eines utilitzades per dissenyar les estacions depuradores d'aigües residuals han anat evolucionant. Hi ha nous equips que han permès incrementar l'eficiència i la robustesa del procés de disseny. Avui dia es poden comparar les alternatives de disseny d'una manera ràpida i fàcil, cosa que abans era impossible (Qasim, 1999). De la mateixa manera, els Sistemes de Control, d'Adquisició de DAdes (SCADA) i els sistemes experts permeten enregistrar, interpretar i controlar un gran nombre de variables. Gràcies a aquestes eines es poden fer estudis de plantes pilot per poder predir el comportament d'un procés, optimitzar variables i desenvolupar la informació necessària per construir noves EDARs.

#### **1.2.1 Criteris aplicables al disseny d'una EDAR**

L'ús d'indicadors ambientals ha anat creixent de manera generalitzada durant els últims anys, i per harmonitzar esforços s'ha proposat una norma internacional per millorar l'avaluació ambiental mitjançant aquests indicadors, que s'ha inclòs en la sèrie 14000 de normes ISO (ISO 14031, 1998). L'objectiu d'aquesta norma és fer de guia per escollir i controlar els indicadors ambientals.

Pel que fa al tractament d'aigües residuals, aquests indicadors s'han desenvolupat i s'han utilitzat en molts països. L'objectiu principal del tractament d'aigües residuals és obtenir una bona qualitat de l'aigua tractada minimitzant els efectes secundaris derivats del procés. Recentment, dins aquests efectes també s'hi han inclòs aspectes ambientals. L'any 1997, la *International Water Services Association* (IWSA, 1997) va organitzar un curs per tal de trobar un conjunt d'indicadors aplicables al sector de les aigües urbanes.

Alguns dels estudis per desenvolupar indicadors per als sistemes sanitaris urbans els trobem a Azar *et al.* (1996), Gilbert i Feenstra (1994) i Holmerg (1995). La Fundació Sueca per a la Recerca Ambiental (MISTRA) està desenvolupant un projecte anomenat "*Sustainable Urban Water Management*" (Malmqvist, 1999). Un dels principals objectius d'aquest projecte és analitzar d'una manera global les diferents estructures existents per a la gestió integral de les

aigües urbanes, és a dir, la potabilització de l'aigua, la xarxa de distribució d'aigua potable, el clavegueram, el tractament d'aigües residuals i el transport del fang generat.

En aquest projecte s'han proposat un conjunt de criteris, dividits en cinc categories, per analitzar aquestes estructures: criteris de salut i higiene, socioculturals, ambientals, econòmics i tècnics (Kärrman, 2000). Tot seguit es presenta una breu descripció de cadascuna d'aquestes categories i de com s'apliquen al tractament d'aigües residuals:

- Criteris de salut i higiene

Aquesta categoria està centrada en la salut i la higiene humana respecte al risc d'infecció, exposició als components tòxics i altres impactes negatius en la salut humana, com ara el soroll i les olors. La possibilitat de disposar d'aigua neta és essencial per a la salut humana i per portar a terme moltes activitats. En general, el tractament d'aigües residuals redueix el risc d'infecció, però, per altra banda, també hi ha la possibilitat que la mateixa operació de les EDARs presenti risc d'infecció a causa de fallades (sobretot a les plantes més centralitzades), producció de components tòxics derivats del mateix sistema, reutilització d'aigua residual tractada per regar o aplicació del fang generat en l'agricultura amb components contaminants etc. L'avaluació de risc microbiològic és una de les tècniques aplicades per avaluar el risc de transmissió de malalties, basada en dades de nivells d'exposició i dosis de resposta (Gale, 1996; Macler i Regli, 1993). L'exposició a components tòxics, com metalls pesants o contaminants orgànics, també es pot avaluar mitjançant aquesta tècnica.

- Criteris socioculturals

Aquesta categoria es refereix a la interacció entre els humans i les instal·lacions tecnològiques. A l'hora de dissenyar una instal·lació és important tenir en compte l'acceptació social. Per això és important la disponibilitat social de la informació referent al projecte i, per tant, la participació social. Les tècniques per avaluar criteris socioculturals es basen en observacions i entrevistes.

- Criteris ambientals

Aquesta categoria es refereix a l'impacte ambiental produït pel sistema. Pel que fa al tractament d'aigües residuals, aquesta categoria engloba el consum de recursos renovables i no renovables, el consum energètic i les emissions a l'atmosfera i els abocaments d'aigua tractada en el medi

receptor. Per avaluar aquests criteris es poden utilitzar diverses metodologies, com ara l'anàlisi de flux de substàncies (Dalemo, 1996), l'anàlisi del cicle de vida (Ginée, 1993a, 1993b) i l'avaluació de l'impacte ambiental (Morris i Therivel, 1996).

- Criteris econòmics

Aquesta categoria es refereix al cost d'inversió, operació, manteniment i abocament. La suma d'aquests costos es pot definir com el cost total del cicle de vida de les instal·lacions.

- Criteris tècnics

Els criteris tècnics es refereixen, en primer lloc, al funcionament correcte del sistema; en el cas del tractament d'aigües residuals, aconseguir una depuració de l'aigua adequada. La robustesa de la instal·lació també és important en aquesta categoria i es refereix a la sensibilitat del procés davant d'un possible mal funcionament dels equips, o bé fluctuacions en l'administració energètica, com també es refereix a la sensibilitat del procés en presència de substàncies tòxiques a l'afluent, a les càrregues de xoc o bé als efectes estacionaris. La flexibilitat també és un criteri important en aquesta categoria i determina la capacitat del sistema per adaptar-se a possibles canvis en el futur, i finalment la controlabilitat del procés és un factor important pel que fa a la facilitat d'operar correctament el procés. L'avaluació del risc tecnològic és una eina utilitzada per avaluar aquest tipus de criteris. Una bona revisió d'aquests aspectes en el camp del sistema de sanejament es pot trobar a Beck i Shilling (1996).

### **1.3 Anàlisi de decisions multicriteri aplicada a la gestió mediambiental**

Tradicionalment els problemes de gestió ambiental se solucionaven mitjançant l'anàlisi del cost i del benefici. La gestió ambiental és complexa i s'han de tenir en compte també altres aspectes, com ara els tècnics, socials i ambientals. Tietenberg (2001), CLTM (1994), Ryding (1992) i Opschoor i Pearce (1991) fan una anàlisi de les múltiples facetes existents en els problemes de gestió ambiental.

Per abordar els problemes de gestió ambiental es va desenvolupar l'anàlisi de decisions multicriteri, amb l'objectiu d'identificar i seleccionar el millor procediment a seguir davant de problemes complexos. L'anàlisi de decisions multicriteri està formada per un conjunt de teories i algorismes de suport a la presa de decisions en què intervenen diversos objectius (Hwang i

Masud, 1979). Totes aquestes teories i algorismes de suport a la presa de decisions tenen en comú la teoria de la racionalitat. La teoria de la racionalitat defineix una decisió racional com una decisió que adopta l'alternativa que maximitza els objectius proposats tenint en compte un determinat conjunt de criteris (Buede i Maxwel, 1995).

Hi ha moltes aplicacions de mètodes d'anàlisi de decisions multicriteri a problemes mediambientals. A Smith i Theberge (1987) es presenten vint estudis que identifiquen àrees d'interès natural, donant suport al planejament d'activitats dins aquestes àrees durant el període 1971-1985. S'ha comprovat que l'aplicació de mètodes d'anàlisi de decisions multicriteri ha estat molt útil en les decisions mediambientals per diverses raons:

- Ajuden a estructurar el problema, milloren l'enteniment de la situació i permeten integrar aspectes ambientals, econòmics i socials.
- Ajuden a reflexionar sobre els objectius i prioritats de les persones involucrades en les decisions i a trobar solucions innovadores (Keeney, 1992).
- Actuen com a suport a l'anàlisi d'objectius en conflicte i de preferències en conflicte entre determinats grups de la societat (polítics, empresaris, etc.) quantificant i comunicant aquestes preferències (Brown, 1984; Hollick, 1981).
- Incrementen la transparència de les decisions i expliciten els enllaços entre coneixement, suposicions i decisions.

Hi ha una gran diversitat de mètodes d'anàlisi de decisions multicriteri, des d'aplicacions molt simples fins a aplicacions molt avançades. L'èxit d'una aplicació no depèn només del procediment de càlcul, dels fonaments teòrics o de la precisió numèrica que es portin a terme, sinó també de la qualitat de la informació de partida. Hi ha dos tipus d'informació de partida (Ríos Unsua, 1990): l'objectiva, que es refereix a la informació obtinguda a partir del coneixement científic, i la subjectiva, que es refereix a les preferències de les persones involucrades en la decisió.

Tot i la gran diversitat de mètodes existents, aquests comparteixen els mateixos elements i la mateixa estructura. Com a elements destaquen: el propòsit que condueix a prendre la decisió entre dues o més alternatives, anomenat objectiu, les alternatives que són les opcions a avaluar,

i els criteris, que són els objectius en el context d'una qüestió particular. Els criteris s'utilitzen per escollir entre dues o més alternatives i, per tant, per solucionar una qüestió i prendre una decisió. Keeney (1992) distingeix entre criteris directes, subjectius i indirectes. Els criteris directes són els que mesuren en quin grau s'aconsegueixen els objectius proposats directament a partir de l'objectiu amb què es relacionen (per exemple, mesurar com s'aconsegueix l'objectiu "minimitzar hectàrees d'impacte" a partir del criteri "hectàrees d'àrea impactada"); els criteris subjectius són aquells que mesuren en quin grau s'aconsegueixen els objectius proposats a partir d'una escala subjectiva, i finalment, els criteris indirectes mesuren amb quin grau s'aconsegueixen els objectius proposats indirectament a partir de l'objectiu amb el qual es relacionen (per exemple, mesurar com s'aconsegueix l'objectiu "minimitzar les malalties respiratòries" a partir del criteri "percentatge de població afectada per malalties respiratòries").

Pel que fa a l'estructura dels mètodes d'anàlisi de decisions multicriteri es diferencien tres etapes diferents:

(1) Planejament del problema. És l'etapa en què s'identifiquen els objectius de la decisió, les alternatives i la informació que es farà servir de cada alternativa per conèixer en quina mesura compleixen els objectius proposats inicialment. Els objectius normalment es resumeixen en forma d'arbre de valors o jerarquia d'objectius.

(2) Anàlisi del problema. És l'etapa en què s'avaluen i es comparen les alternatives entre si. Els mètodes d'anàlisi de decisions multicriteri ajuden a construir models de preferència que identifiquen l'alternativa que obté més bons resultats respecte a tots els criteris proposats (Buede i Maxwell, 1995).

(3) Anàlisi de sensibilitat. És l'etapa en què es verifica la decisió presa.

Els mètodes d'anàlisi de decisions multicriteri es poden classificar en continus o discrets, compensatoris o no compensatoris, d'agregació de millora o d'agregació de preferència. Els mètodes continus es caracteritzen per un nombre infinit d'alternatives i normalment s'apliquen a problemes de síntesi. Aquests mètodes són més coneguts com a mètodes de decisió multiobjectiu i normalment es fan servir per solucionar problemes de disseny en què les



alternatives estan implícitament descrites a través d'un conjunt de restriccions (Hwang i Masud, 1979); en canvi, els mètodes discrets es caracteritzen per un nombre finit d'alternatives i normalment s'apliquen a problemes de selecció. Aquests mètodes són més coneguts com a mètodes de decisió multicriteri (Hwang i Yoon, 1981).

Per altra banda, els mètodes compensatoris són aquells en què una alternativa que obté mals resultats d'un criteri es pot compensar amb els bons resultats obtinguts amb un altre criteri diferent; en canvi, els mètodes no compensatoris són aquells en què els bons resultats d'un criteri no compensen els mals resultats d'un altra criteri i les alternatives es van descartant segons si compleixen o no els límits establerts.

Finalment, els mètodes d'agregació de millora són aquells en què els resultats que una alternativa obté de cadascun dels criteris es combinen i, finalment, s'obté un sol valor, mentre que en els mètodes d'agregació de preferència no es combinen i s'han de comparar entre si.

Els mètodes més aplicats fins ara han estat els de tipus discret compensatori d'agregació de millora, en què s'inclouen els anomenats teoria multicriteri d'utilitat (MAUT), teoria multicriteri de valor (MAVT), mètode de suma ponderada, mètode de distància a l'objectiu, procés jeràrquic analític (AHP) i tècnica d'ordre de preferència per semblança amb la solució ideal (TOPSIS). La base teòrica d'aquests tipus de mètodes es pot trobar a Keeney i Raiffa (1976), Saaty (1980) i Von Winterfeldt i Edwards (1986).

### **1.3.1 Teoria multicriteri de valor o utilitat**

La teoria multicriteri de valor o utilitat és una branca d'una teoria més general basada en el concepte de maximització (Von Neuman i Morgenstern, 1970). La teoria es basa en funcions de valor o utilitat, que són representacions matemàtiques de les preferències de la persona que fa l'avaluació. Mitjançant aquestes funcions, els resultats dels criteris avaluats es converteixen en efectes normalitzats entre 0 i 1, considerats la pitjor i la millor situació respectivament. El propòsit d'aplicar aquesta teoria és escollir l'alternativa que obté els efectes més elevats dels criteris seleccionats. Dins aquesta teoria, s'ha de diferenciar entre funcions de valor i d'utilitat. En aquestes últimes els resultats dels criteris porten associats un cert grau d'incertesa (Keeney i Raiffa, 1976), inexistent en els resultats obtinguts a partir de les funcions de valor. Les funcions de valor són més fàcils d'aplicar, ja que no requereixen distribucions de probabilitat. La teoria de

funcions de valor o utilitat es basa en el procés d'assignació d'efectes a diferents alternatives (Siegel, 1956) per tal d'establir una relació quantitativa entre elles. Aquesta teoria assumeix la possibilitat de reproduir les preferències entre alternatives mitjançant relacions numèriques. Aquestes relacions poden ser de preferència subjectiva, d'indiferència o de preferència absoluta. Tal com s'ha explicat abans, en qualsevol problema de decisió multicriteri es presenta una situació en la qual es vol assolir un conjunt d'objectius. Per assolir aquests objectius es generen un conjunt d'alternatives i criteris que permeten mesurar les alternatives aconseguen aquests objectius.

La teoria multicriteri de valor o utilitat descompon el problema en criteris, avaluant cada criteri per separat mitjançant les funcions de valor o d'utilitat. Tot seguit se'ls assigna un pes i, finalment, s'apliquen models per agregar els resultats obtinguts de cada criteri respecte a una alternativa. L'alternativa que obté el valor total més elevat és la solució del problema.

Hi ha sis passes principals a seguir per tal d'aplicar la teoria multicriteri de valor o utilitat:

- (1) Definir els objectius, les alternatives i els criteris.
- (2) Descompondre el problema en criteris, i definir un rang de valors per a cada criteri. Els extrems d'aquest rang representen la millor i la pitjor situació considerada. La selecció d'aquest rang es fa des del punt de vista pràctic, és a dir, tenint en compte que dins el rang s'incloguin tots els possibles valors del criteri que puguin prendre les alternatives considerades en l'estudi i els valors que es cregui important considerar. Tot i que la selecció és arbitrària, és important que els extrems del rang es puguin considerar com els límits per interpretar el significat dels efectes obtinguts a través de la funció de valor.
- (3) Construir les funcions de valor o d'utilitat per a cada criteri per tal de convertir els valors dels criteris a efectes normalitzats entre 0 i 1. Per construir aquestes funcions, primer es descriuen les característiques de cada funció (linealitat, concavitat, convexitat etc.), tot seguit es construeixen les funcions de valor, assignant efectes de 0 a 1 als valors compresos dins el rang escollit per a cada criteri, i es representen les funcions, i finalment, se'n comprova la validesa. Les funcions lineals són les més fàcils de construir i normalment s'apliquen a criteris com ara els nivells de contaminació, el cost econòmic, etc. Altres formes, com la concavitat o la convexitat, requereixen una anàlisi més profunda. Hi ha diversos procediments per construir les funcions de valor:

- Assignació directa

Aquest procediment presenta dues variants per assignar efectes entre 0 i 1 als valors compresos en el rang seleccionat. En el primer cas es divideix el rang del criteri en parts iguals en què cadascun dels intervals presenta un mateix augment o disminució de l'efecte assignat entre 0 i 1. En el segon cas s'assignen els efectes directament i s'aplica només en el cas que la persona que avalua tingui una interpretació molt clara dels valors del criteri (Beinat, 1992).

- Selecció de la corba

A Von Winterfeldt i Edwards (1986) s'afirma que la persona que avalua ha de seleccionar la corba directament. La corba se selecciona entre un conjunt de formes funcionals i es fixen els valors extrems del rang fent-los passar per l'1 i el 0. Un cop s'han determinat aquests valors, les corbes tenen un grau de llibertat útil per modificar la forma de la corba i assignar valors directament (per exemple  $v(x') = 0.5$ ). Aquest procediment és útil quan un programa gràfic dóna suport a l'avaluació i la forma de les corbes es pot modificar en temps real. L'avantatge principal és la facilitat amb què es pot aplicar.

- Bisecció

El primer pas d'aquest procediment és seleccionar el valor referent al punt mitjà del rang del criteri, que divideix els valors del rang en dos intervals amb el mateix efecte. Tot seguit es van seleccionant els punts mitjans dels nous intervals que es van formant, fins a obtenir suficients punts per representar la funció.

- Seqüència estàndard de diferència

El propòsit d'aquest procediment és dividir el rang del criteri en intervals amb un mateix efecte. El primer pas és assignar un efecte (per exemple de 0,1) al primer valor  $x'$  del rang. Tot seguit se selecciona el següent valor del rang  $x''$  on la diferència entre  $x'$  i  $x''$  sigui també de 0,1. Se segueix el mateix procediment fins a arribar a  $x^*$  que és l'últim valor del rang del criteri. Una versió més sofisticada d'aquest procediment és la que proposa Lootsma (1993), que divideix el rang del criteri escollit en un nombre finit d'intervals que representen diferents categories lingüístiques (per exemple, molt econòmic, econòmic i poc econòmic). Normalment la funció resultant és de tipus logarítmic i depèn del nombre d'intervals i del

factor de progressió escollits. Aquest procediment simplifica substancialment l'avaluació, perquè la persona que avalua només ha d'escollir el nombre d'interval·ls. Lootsma va demostrar empíricament que els resultats obtinguts amb aquest tipus de funció són comparables amb els de qualsevol altre mètode molt més complex.

- Estimació de paràmetres

Hi ha dues variants d'aquest procediment: la propietat delta (Kirkwood i Sarin, 1980) i la representació de paràmetres (Keelin, 1981). La propietat delta s'utilitza per restringir la forma de la funció de valor. Un criteri té la propietat delta quan  $x_{50}$ , el punt mitjà del seu rang, està comprès entre  $x^*$  i  $x^*$ ; llavors  $x_{50} + \delta$  serà el punt mitjà entre  $x^* + \delta$  i  $x^* + \delta$  per a qualsevol  $\delta$ . Si el criteri compleix aquesta propietat, la funció de valor es restringeix a ser lineal o exponencial. Per representar la corba s'utilitza el mètode d'assignació directa.

La segona variant és l'anomenada representació de paràmetres. En aquesta variant, la persona que avalua, fixa la taxa marginal de substitució d'un criteri. La taxa marginal de substitució d'un criteri és la quantitat de  $x_i$  que la persona que avalua està disposada a augmentar per obtenir l'increment d'una unitat a  $x_j$  començant des d'un punt específic de  $x_i^0$ . Keelin (1981) va demostrar que coneixent aquesta taxa marginal per a cada parell de punts, la funció es dedueix analíticament.

- Interpolació

La funció de valor s'obté a partir de l'estimació de punts. El nombre de punts necessaris per a una bona interpolació depèn de la complexitat de la funció de valor. En molts casos n'hi ha prou amb tres o quatre punts. Per a corbes senzilles s'utilitzen funcions polinòmiques, exponencials o logarítmiques (Keeney i Raiffa, 1976), mentre que una combinació de diferents formes funcionals pot ser més útil en casos més complicats (Hastings i Peakock, 1975). La interpolació determina la corba que passa a través dels punts avaluats fent servir diferents expressions analítiques per a cadascun dels interval·ls. Un cop s'ha construït la funció de valor, s'ha de comprovar la validesa de la funció de valor resultant. Aquestes anàlisis són especialment útils quan la corba s'ha construït basant-se en pocs punts. Un test típic és el que analitza els valors mitjans. Un valor mitjà és un valor que divideix el rang d'un criteri en dos interval·ls que tenen el mateix efecte.

(4) Assignar pesos als criteris, que representaran la importància de cada criteris en el problema de decisió. Per assignar pesos als criteris també hi ha diversos procediments. Aquests pesos representen la importància dels criteris en el problema de decisió. A Weber *et al.* (1992) s'analitzen les influències dels pesos en les decisions multicriteri. Alguns dels procediments utilitzats són els següents:

- *Swing*

En aquest procediment s'identifiquen els efectes de cadascun dels criteris que fan referència a la pitjor situació en què es troben les alternatives. Tot seguit es comparen aquests efectes amb els que s'han obtingut en la millor situació. S'assigna el pes més elevat al criteri que experimenta una diferència més elevada en passar de la pitjor a la millor situació.

- Assignació directa

Aquest procediment no es basa en el mecanisme swing, és a dir, no enllaça el rang dels criteris amb els pesos. La persona que avalua simplement assigna directament la importància que considera a cadascun dels criteris. S'ordenen els criteris de menys a més important i se'ls assigna un valor numèric. També hi ha la versió basada en quocients, en el qual s'assigna un pes d'1 al criteri menys important. En la resta de criteris els pesos s'assignen amb referència al menys important (Weber *et al.*, 1988; Von Winterdeldt i Edwards, 1986).

- Comparació criteri a criteri

Aquest procediment està implementat en el procés jeràrquic analític (*Analytic Hierarchy Process*, AHP) (Saaty, 1980; 1990). Els pesos s'assignen comparant cada parell de criteris. En aquest procediment l'assignació de pesos tampoc no es relaciona amb el rang dels criteris (Belton, 1986), tot i que es pot adaptar comparant els resultats obtinguts amb el mètode *swing* per a cada parell de criteris mitjançant quocients.

- Traducció qualitativa

Els pesos numèrics s'extreuen a partir de pesos ordinals, seleccionant una representació numèrica arbitrària i consistent, o bé a partir d'assumpcions estadístiques. Un recull dels primer tipus de pes el podem trobar a Stilwell *et al.* (1981), on l'única justificació racional per

traduir l'ordre de pesos a nombres és la informació capturada pel mateix ordre dels pesos. Un recull del segon tipus el podem trobar a Rietveldt (1984) on s'assumeix que qualsevol vector de pesos consistent amb l'ordre prèviament determinat pot ser vàlid. A Janssen (1992) es poden trobar diverses aplicacions d'aquests mètodes.

- (5) Combinar les funcions de valor o d'utilitat de cadascun dels criteris per obtenir una funció global del problema. La funció de valor global d'una alternativa s'obté mitjançant la combinació d'efectes i pesos que resulta d'aplicar els mètodes descrits anteriorment. El mètode més utilitzat és el de la suma ponderada,

$$V(x) = \sum_{i=1}^n w_i \times v_i(x_i)$$

en què  $x$  és l'alternativa que s'avalua,  $x_i$  és el valor resultant que l'alternativa obté del criteri  $i$ ,  $v_i$  és l'efecte resultant d'aplicar la funció de valor referent al criteri  $i$ ,  $w_i$  és el pes del criteri  $i$ ,  $V(x)$  és el resultat d'aplicar la funció de valor global a l'alternativa  $x$ , finalment,  $n$  és el nombre de criteris mitjançant els quals s'avalua l'alternativa. La suma ponderada només es pot utilitzar si els criteris són independents entre si.

- (6) Finalment, es revisen els resultats obtinguts d'aplicar el model de funcions de valor al problema de decisió. Hi ha la possibilitat de combinar diferents tècniques d'anàlisi multicriteri descrites prèviament per resoldre un problema de decisió.

### 1.3.1.1 Simple multiattribute rating technique (SMART)

Es coneixen versions de la teoria multicriteri de valor o utilitat des de l'any 1959, quan Adams i Fagot van descriure els principis de les funcions de valor i alguns procediments d'avaluació basats en judicis indiferents (Beinat, 1995). Més tard Krantz (1964) i Luce i Tukey (1964) van tractar formalment l'addició de funcions de valor per avaluar tot un conjunt de criteris a la vegada.

A l'any 1965, Fishburn va publicar un article on formulava els axiomes per a l'addició de funcions d'utilitat. Pollak (1967) i Keeney (1968) van desenvolupar una base axiomàtica per a funcions d'utilitat multiplicades. El 1968 la teoria de funcions d'utilitat estava ben establerta. Després de deu anys teoritzant, els mètodes s'anaven fent cada vegada més complicats. Edwards (1977) va

proposar el mètode SMART (*Simple MultiAttribute Rating Technique*) com a solució. Aquest mètode proposa models additius senzills, tècniques d'estimació numèrica per obtenir els efectes dels criteris, i assignar pesos a aquests criteris que representen la importància que prenen. Inicialment, aquest mètode es va justificar per la seva simplicitat; més tard es van fer estudis que van demostrar la robustesa de l'addició de funcions de valor. El mètode SMART ha tingut molts canvis al llarg dels anys, i avui més que un procediment individual comprèn una recollida de tècniques. Totes aquestes tècniques comparteixen la confiança que tenen en els procediments d'assignació directa. La versió original de SMART consisteix en deu etapes:

1. Identificar el context on s'han de maximitzar els efectes.
2. Identificar l'objectiu pel qual volem realitzar aquesta maximització.
3. Identificar les alternatives que s'han d'avaluar.
4. Identificar els criteris que es tindran en compte.
5. Ordenar els criteris de més a menys importants.
6. Calcular la importància relativa de cada criteri en relació amb el menys important.
7. Dividir la importància relativa de cada criteri per la suma total dels quocients.
8. Convertir els resultats dels diferents criteris a un efecte normalitzat entre 0 i 100 mitjançant funcions de valor.
9. Calcular el valor obtingut per a cada alternativa com a resultat de combinar els pesos de cada criteri amb els efectes obtinguts per a cadascun.
10. Escollir l'alternativa que maximitza aquest valor.

En versions més recents d'aquest mètode es proposa aplicar una estructura jeràrquica als objectius, criteris i alternatives. Per altra banda, cada vegada s'ha anat aplicant més la tècnica *swing* per assignar els pesos als criteris. També s'han anat refinant les tècniques per construir les funcions de valor.

Tot i la senzillesa d'aquest mètode, la seva aplicació requereix un gran esforç per part de la persona que fa l'avaluació, i no es pot aplicar a problemes de decisió amb resultats incerts.

En aquest capítol s'han descrit les principals metodologies existents de disseny conceptual aplicat als processos químics, les etapes de disseny d'estacions depuradores d'aigües residuals,

els tipus de criteris que s'han de tenir en compte en aquest disseny i, finalment, els elements, l'estructura i els tipus de metodologies existents en l'anàlisi de decisions multicriteri aplicada a la gestió mediambiental.





## 2 OBJECTIUS

L'objectiu d'aquesta Tesi és el de realitzar una contribució en el camp del disseny conceptual d'estacions depuradores d'aigües residuals. Tot i ser una etapa clau dins el conjunt del procés de disseny global, la major part de la recerca i de la bibliografia existent sobre disseny d'estacions depuradores se centra més en el desenvolupament de guies per dimensionar i ajustar els paràmetres cinètics i d'operació, que no pas en el desenvolupament de protocols clars que sistematitzin i facilitin l'etapa preliminar del disseny.

Així doncs, es pretén establir una sistematització d'aquesta etapa de disseny, que per una banda fixi una estructura sòlida per aportar consistència al procés de disseny i que, per l'altra, doni suport a la presa de decisions durant el procés de disseny i faciliti en el futur canvis en l'estructura i les condicions d'operació de la planta. Aquesta sistematització, més que aportar una solució òptima al disseny preliminar, dona suport a l'equip que porta a terme el procés de disseny. Tot seguit es presenten els objectius concrets amb què es pretén assolir l'objectiu genèric esmentat anteriorment:

- Proposar una metodologia sistemàtica de disseny conceptual d'estacions depuradores d'aigües residuals que combini, per una banda, el procés de decisió jeràrquic que aportarà consistència al procés de disseny i, per l'altra, l'anàlisi de decisions multicriteri que donarà suport a la presa de decisions.
- Aplicar la metodologia proposada per fer el disseny conceptual d'una estació depuradora d'aigües residuals amb els mateixos requeriments que l'estació depuradora d'aigües residuals que hi ha actualment a Granollers.
- Fer una anàlisi comparativa de l'estació depuradora d'aigües residuals resultat d'aplicar la metodologia proposada amb l'existent actualment a Granollers per avaluar els avantatges associats.

Cal remarcar que el procés de decisió jeràrquic s'aplica sempre a la selecció del tipus d'unitat que constitueix el diagrama de flux de l'estació depuradora d'aigües residuals, i mai a l'estructura

del diagrama de flux en si mateixa, perquè les estacions depuradores d'aigües residuals, a diferència dels processos químics, tenen una funció fixa i determinada, i per tant, sempre presenten una mateixa estructura lògica.

Cal remarcar també que la Tesi no pretén tractar de manera rigorosa els aspectes relacionats amb el dimensionament d'unitats, les estimacions econòmiques, la tria dels paràmetres cinètics i d'operació, ni els paràmetres que caracteritzen l'aigua residual tractada, dels quals només se n'ha fet un càlcul preliminar. Precisament el refinament d'aquests càlculs acurats és competència d'etapes més avançades del procés de disseny.

### 3 METODOLOGIA PROPOSADA I MATERIAL DE SUPORT INFORMÀTIC

Tot seguit es presenta la metodologia proposada per al disseny conceptual d'una EDAR. Inicialment es justifica la metodologia proposada mitjançant una breu descripció de les similituds i diferències existents entre els processos químics i les estacions depuradores d'aigües residuals. A continuació, es presenta l'estructura de la metodologia proposada mitjançant la descripció de tots els passos que s'han de seguir per tal d'aplicar-la i, finalment, es descriu el material informàtic de suport utilitzat per aplicar el cas d'estudi: GPS-X, CapdetWorks i DRAMA.

L'aplicació del procés de decisió jeràrquic al disseny d'una EDAR és possible gràcies a les similituds estructurals de les EDARs amb els processos químics. A les EDARs, igual que als processos químics, la transformació de les matèries primeres en productes finals es fa a la secció de reacció. Tot seguit, en tots dos tipus de processos, també cal una secció de separació on se separa el producte final dels subproductes o matèries primeres que no hagin reaccionat. Finalment, també cal una secció de recirculació per fer recircular cap al reactor les matèries primeres que no han reaccionat en el cas dels processos químics, i el fang activat en el cas de les EDARs.

Tot i així existeixen diferències que fan necessari modificar la metodologia per adaptar-la al disseny d'EDARs. Mentre que el disseny d'un procés químic pot donar com a resultat una extensa varietat de diagrames de flux, perquè hi ha involucrada també una gran varietat de productes i matèries primeres, una EDAR sempre presenta la mateixa funció expressada amb la mateixa estructura, és a dir, sempre presenta el mateix diagrama de flux, amb lleugeres modificacions de la configuració. Tenint en compte això, el procés de decisió jeràrquic s'aplica a la selecció del tipus d'unitat que constituirà el diagrama de flux de l'EDAR, i mai a l'estructura del diagrama del flux en si mateix. Per altra banda, la finalitat del disseny d'un procés químic és de tipus econòmic, tot i que els factors ambientals també són importants, mentre que la finalitat principal del disseny d'una EDAR és de tipus ambiental, tot i que els factors econòmics també són importants. Tenint en compte això, es combina el procés de decisió jeràrquic amb l'anàlisi de decisions multicriteri per tal de tenir en compte diferents factors a l'hora d'avaluar les diferents unitats que constituïran el diagrama de flux de l'EDAR.

Finalment, s'ha de tenir en compte que una EDAR presenta una matèria primera d'entrada molt variable, tant en quantitat com en qualitat, i és per això que, juntament amb els factors ambientals i econòmics, els aspectes de control i flexibilitat del procés també tenen molta importància.

### 3.1 Metodologia proposada

La metodologia s'estructura de la manera següent (Figura 3-1): primer es defineix la informació de partida, on es caracteritza l'aigua residual d'entrada i la localització de l'EDAR. Tot seguit es defineixen els objectius inicials de disseny, els criteris per avaluar el compliment aquests objectius i la importància d'aquests criteris. Finalment, es porta a terme el procés iteratiu de decisió, fins a obtenir un disseny preliminar complet de l'EDAR.

Per prendre cadascuna de les decisions se segueixen els passos següents: (1) identificació de la qüestió que s'ha de resoldre, (2) proposta d'alternatives, (3) tria de criteris, (4) avaluació d'alternatives i (5) selecció de l'alternativa. L'avaluació d'alternatives, al seu torn, presenta la quantificació de criteris, la normalització i la suma ponderada.

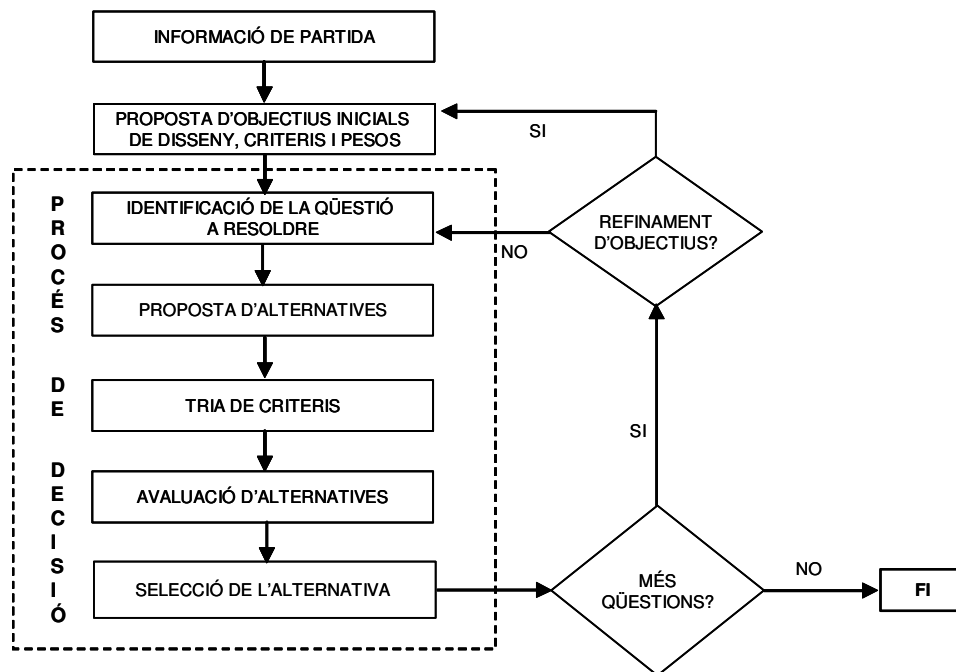


Figura 3-1 Estructura de la metodologia proposada.

### **3.1.1 Informació de partida**

En primer lloc, es recull i s'analitza tota la informació de partida, que es divideix principalment en dos punts: caracterització de l'aigua residual que s'ha de tractar i localització de l'EDAR.

#### **3.1.1.1 Caracterització de l'aigua residual d'entrada**

Per caracteritzar l'aigua residual d'entrada, es determinen els habitants equivalents, el cabal màxim, mínim i mitjà que haurà de tractar la planta i la càrrega referent a la demanda biològica d'oxigen ( $DBO_5$ ), la demanda química d'oxigen (DQO), el nitrogen total (NT), el nitrogen Kjeldahl total (NKT), l'amoni ( $NH_4^+$ ) i el fòsfor total (PT) d'entrada. També es determina el percentatge d'aigua industrial que forma part de l'afluent. La quantitat d'aigua industrial que conté l'afluent és un factor important tant a l'hora de dimensionar l'EDAR com a l'hora de seleccionar els diferents equips que en formaran part.

#### **3.1.1.2 Localització de l'EDAR**

La localització de l'EDAR es refereix al lloc físic on es construirà. La localització és determinant pel que fa a la possible proximitat de nuclis urbans i també per la naturalesa del medi receptor i l'impacte que li pot ocasionar l'abocament de les aigües tractades. Les possibles restriccions d'espai també estan determinades per la localització de l'EDAR.

### **3.1.2 Proposta d'objectius inicials de disseny, criteris i pesos**

Tenint en compte tota la informació recollida en el pas anterior, es defineixen els objectius que haurà de complir l'EDAR. A banda d'aconseguir una qualitat determinada de l'aigua tractada, adequada a la legislació vigent, els objectius també han de considerar altres aspectes ambientals, tècnics, socials i econòmics.

Els objectius de tipus ambiental pretenen minimitzar l'impacte ambiental ocasionat pel funcionament de l'EDAR. L'impacte ambiental pot ser provocat pel consum energètic i de matèries primeres, les emissions a l'atmosfera i la producció de fangs. Els objectius de tipus tècnic pretenen minimitzar qualsevol problema relacionat amb l'eficiència i el rendiment de l'equipament instal·lat a l'EDAR. Els objectius de tipus social pretenen minimitzar tots aquells aspectes que puguin ser molestos per a la població més pròxima a l'EDAR, ja siguin nuclis urbans o urbanitzacions. Dins aquests aspectes es consideren l'ocupació del sòl, l'impacte visual, les olors i el soroll. Finalment, els objectius econòmics pretenen minimitzar el cost

econòmic, ja sigui de construcció, operació, manteniment o material. Aquests objectius es poden anar refinant a mesura que el procés de disseny avança i es disposa d'informació addicional que permeti afinar molt més determinats aspectes que a l'inici són de tipus general.

Per mesurar el compliment d'aquests objectius es defineixen una sèrie de criteris classificats també com a ambientals, tècnics, socials i econòmics. Els objectius i els criteris mantenen una estreta relació i mentre que els primers s'han de complir, els segons serveixen per mesurar aquest compliment.

Els criteris s'utilitzen en el procés de decisió i cadascun té un pes diferent que serà determinant a l'hora de seleccionar l'alternativa. Aquests pesos es poden fixar perquè siguin els mateixos a totes les decisions, assignant un pes a cada categoria de criteris, o es poden assignar pesos diferents per a cada decisió. En aquest últim cas, l'assignació es fa en funció de la importància relativa de cadascun dels criteris utilitzats en cada decisió.

### **3.1.3 Procés de decisió**

D'acord amb els objectius definits en l'etapa anterior, es comencen a plantejar diferents qüestions per prendre totes les decisions fins a completar el disseny preliminar de l'EDAR. Com ja s'ha justificat anteriorment, aquestes qüestions sempre són respecte al tipus d'unitat que constituirà el diagrama de flux i mai respecte a l'estructura del diagrama de flux en si mateix.

Es proposa que l'ordre d'aquestes decisions segueixi la lògica basada en el procés de decisió jeràrquic que Smith i Linnhoff (1988) van desenvolupar per portar a terme el procés de disseny conceptual (reacció, separació i recirculació). L'aplicació d'aquest procés es fa per separat en la línia d'aigües i en la línia de fangs, tot i que es tenen en compte les interconnexions existents.

A la línia d'aigües, el procés de decisió comença amb la selecció de la configuració del reactor biològic, juntament amb totes les unitats que en formen part.

Tot seguit se seleccionen les seccions de separació prèvies i posteriors al reactor. El pretractament i el tractament primari es refereixen a les seccions prèvies al reactor, mentre que la decantació secundària es refereix a la secció posterior al reactor.

L'ordre de les decisions per a la línia de fangs és el mateix: el disseny comença amb la selecció del reactor, en aquest cas l'estabilització dels fangs en excés.

Tot seguit se seleccionen les seccions de separació, és a dir, l'espessiment i la deshidratació del fang, situades, respectivament, abans i després de l'estabilització. Tot el procés de disseny, és a dir, el conjunt de decisions i alternatives, es representa en forma de xarxa de decisió (vegeu la Figura 3-2).

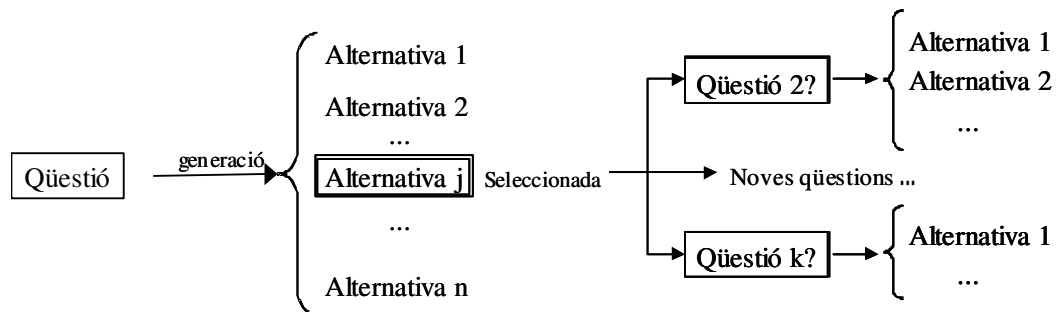


Figura 3-2 Esquema general d'una xarxa de decisió.

Tal com s'observa en la Figura 3-2, per prendre cadascuna de les decisions es planteja una qüestió i es generen diferents alternatives. D'aquestes, se'n selecciona una i a partir d'aquesta decisió es plantegen noves qüestions i noves alternatives. Cada decisió presenta els passos següents:

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre

El primer pas és plantejar la qüestió que s'ha de resoldre. A partir d'aquesta qüestió es desenvolupa tota una metodologia per resoldre-la i prendre la decisió. Aquesta metodologia és idèntica per resoldre totes les qüestions que formen part del procés de decisió global.

(2) Proposta d'alternatives

El primer pas que s'ha de seguir per resoldre les decisions és generar diferents alternatives. Davant la possibilitat de proposar infinites alternatives, es descarten les alternatives que no es creguin vàlides directament. Per aquesta raó és important fer una bona anàlisi de la informació de partida recollida a l'inici.



### (3) Tria de criteris

Tot seguit s'ha de triar un conjunt de criteris de la llista definida a l'inici del disseny. Aquests criteris s'utilitzen per mesurar en quin grau les alternatives compleixen els objectius de disseny.

### (4) Avaluació d'alternatives

A l'avaluació d'alternatives es fa la quantificació de criteris, la normalització i la suma ponderada.

#### ▪ Quantificació de criteris

La quantificació de criteris es pot fer de manera manual o bé automàtica (Figura 3-3). En aquest estudi, per quantificar els criteris relacionats amb l'operació de l'EDAR s'ha utilitzat la modelització matemàtica del procés mitjançant l'entorn de simulació d'EDARs anomenat GPS-X (vegeu la secció 3.2.2).

Els criteris de caràcter econòmic s'han quantificat fent estimacions econòmiques amb l'ajut del programa CapdetWorks 1.01 (vegeu la secció 3.2.1) i també mitjançant pressupostos reals facilitats per diverses enginyeries. Finalment, per obtenir els resultats dels criteris de tipus ambiental, tècnic i social no quantificables s'han utilitzat manuals de disseny (WEF, 1992) i s'han fet diverses consultes i reunions amb experts.

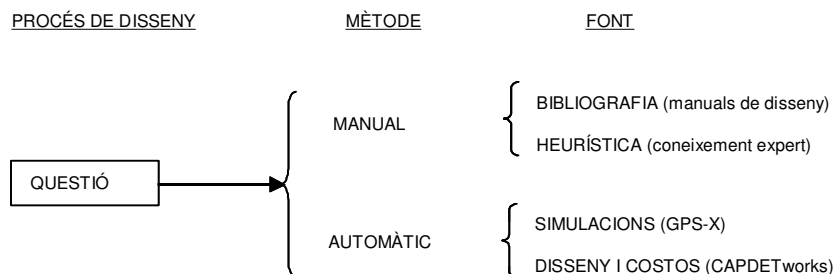


Figura 3-3 Quantificació de criteris

#### ▪ Normalització

Un cop s'han quantificat els criteris, es normalitzen els resultats obtinguts a valors compresos entre 1 i 0. Aquesta normalització es fa mitjançant funcions de valor. Les funcions de valor representen matemàticament les preferències de la persona que dissenya, sempre

amb el suport tècnic d'un grup d'experts, i s'associen els valors 1 i 0 a la millor i pitjor situació respectivament.

Hi ha diversos mètodes per construir aquestes funcions, i depenent de l'impacte que produeix el criteri respecte a la millor i la pitjor situació esperades, la funció adquireix una forma o una altra (vegeu la secció 1.3.1).

La Figura 3-4 mostra un exemple de la forma que podria tenir una funció de valor: es representa l'efecte (valor 1, que representa la millor situació esperada, i valor 0, que representa la pitjor situació existent) en funció dels valors presos per al criteri 1.

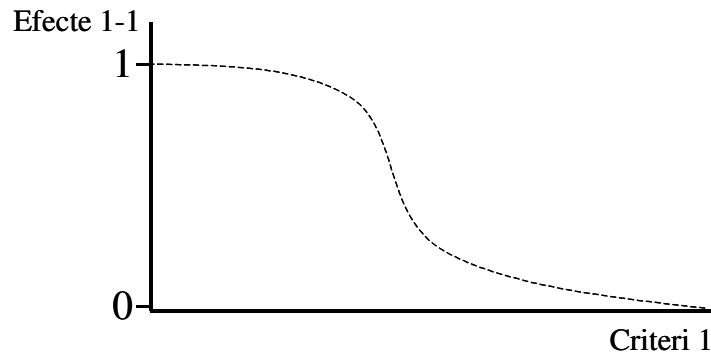


Figura 3-4 Funció de valor referent al criteri 1.

Tal com s'observa en la funció representada en la Figura 3-4, per a valors baixos del criteri 1 l'efecte produït sobre l'alternativa avaluada és significatiu; mentre que com major és el valor d'aquest criteri, menor és l'efecte que produeix sobre l'alternativa avaluada.

- Suma ponderada

Finalment, es fa una suma ponderada per tal d'obtenir un sol valor per a cadascuna de les alternatives. La suma ponderada consisteix a sumar el producte del valor obtingut de la normalització de cada criteri pel pes assignat al criteri corresponent. Aquesta suma es fa per a totes les alternatives considerades.

La Taula 3-1 mostra un quadre resum amb tots els factors que intervenen en cada decisió.

Taula 3-1 Avaluació de n alternatives en funció de m criteris

<b>QÜESTIÓ 1</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>...</b>	<b>Alternativa n</b>	<b>Pes</b>
Criteri 1	Efecte 1-1	Efecte 1-2	...	Efecte 1-n	Pes 1
Criteri 2	Efecte 2-1	Efecte 2-2	...	Efecte 2-n	Pes 2
...	...	...	...	...	...
Criteri m	Efecte m-1	Efecte m-2	...	Efecte m--n	Pes m
<b>Puntuació</b>	...	...	...	...	
Classificació	2º	1º		3º	
Decisió	Descartada	Recomanada	...	Descartada	

### (5) Selecció de l'alternativa

Finalment, l'alternativa que obté un valor més elevat és la que es recomana en el procés de disseny per solucionar la qüestió proposada. Un cop presa la primera decisió referent a la secció de reacció de la línia d'aigües, es planteja la qüestió següent. Moltes vegades les alternatives seleccionades marquen la direcció de les noves qüestions que s'han de plantejar.

Per donar suport a aquesta metodologia es proposa enregistrar d'una manera fàcilment accessible tota la xarxa de decisions en un sistema informàtic de suport al disseny. L'enregistrament progressiu del procés de disseny és molt important per aconseguir una metodologia estructurada, un disseny supervisat i un indexatge òptim i intel·ligent de les decisions preses. En aquest estudi s'ha utilitzat concretament el programa DRAMA com a sistema informàtic de suport. Se'n pot trobar una descripció a l'apartat 3.2.3.

## 3.2 Material de suport informàtic

### 3.2.1 CapdetWorks

#### 3.2.1.1 Introducció

CapdetWorks és un programa desenvolupat per Hydromantis, Inc. (2001) per avaluar diferents alternatives de disseny d'una EDAR des del punt de vista econòmic i d'eficiència de tractament. CapdetWorks funciona en un entorn Windows. La versió original de CapdetWorks, desenvolupada el 1973, utilitzava tècniques de disseny acceptades, juntament amb tècniques

d'estimació de costos basades en corbes. Aquesta tècnica d'estimació de costos paramètrica va limitar la utilitat del model perquè no reflectia la diferència de costos entre regions i no s'adequava als requeriments de disseny específics d'una regió concreta. Per millorar la utilitat del model es va revisar aquesta tècnica d'estimació de costos i es va decidir modificar-la, utilitzant la tècnica paramètrica juntament amb la de costos unitaris. La tècnica de costos unitaris s'utilitza per estimar els costos de construcció dins de cada unitat. Per altra banda, els costos addicionals s'estimen utilitzant corbes de cost generades estadísticament i basades en costos mitjans.

L'objectiu principal de CapdetWorks és l'estimació de costos basada en el model Capdet (Figura 3-6) i l'objectiu secundari, dissenyar el procés i predir la qualitat de l'efluent. La predicció de la qualitat de l'efluent no és gaire acurada i moltes vegades requereix que l'usuari introdueixi un factor de percentatge d'eliminació. S'ha de tenir en compte que aquest programa no és un instrument d'optimització ni de simulació.

### **3.2.1.2 Funcionament del programa**

El disseny de l'EDAR s'efectua en un entorn de programació orientada a l'objecte. La configuració del diagrama de flux es fa mitjançant la unió dels diferents objectes disponibles en el programa. Els objectes estan classificats segons les diferents etapes que conformen el diagrama de flux d'una EDAR:

- Pretractament: caracterització de l'aigua d'entrada, estació de bombeig, tractament preliminar, tamisatge de fins, homogeneïtzador, flotador, decantador primari.
- Tractament químic: intercanviador aniònic, intercanviador catiònic, neutralització, coagulació-floculació, adsorció de carbó actiu.
- Fang activat: llacunatge natural, llacunatge airejat, planta de fang activat compacte, mescla completa, flux pistó, tractament discontinu, contacte estabilització, aeració per etapes, alta càrrega, aeració prolongada, carrussel, fang activat amb oxigen pur, nitrificació, desnitrificació.
- Eliminació biològica de nitrogen: eliminació biològica de nitrogen, eliminació biològica de nitrogen de 2 etapes, eliminació biològica de nitrogen de 3 a 5 etapes.
- Biomassa fixada: filtres percoladors, filtres percoladors nitrificants, biodiscs, biodiscs nitrificants, tanc de desnitrificació de biomassa fixada.

- Tractaments diversos: bombeig intermedi, *stripping* d'amoni a contracorrent, *stripping* d'amoni en direcció del corrent, infiltració ràpida del sòl, infiltració lenta del sòl, decantador secundari, post-aeració, filtració, divisor de cabals, reutilització de l'aigua tractada.
- Desinfecció: cloració, raigs ultraviolats.
- Tractament de fangs: fangs d'entrada, digestió aeròbia, digestió anaeròbia, oxidació humida, reutilització del fang, divisor de cabals de fang.
- Espessiment de fangs i deshidratació: espessiment per gravetat, espessiment per flotació, filtres de bandes, centrífuga, llits d'assecatge, filtre de premsa, filtració al buit, llacs de llits d'assecatge.
- Abocament de fang: abocador, incineració de llit fluiditzat, incineració urbana.

Cada objecte presenta una sèrie de paràmetres, classificats en quatre categories:

- Paràmetres de procés: cabals, percentatges d'eliminació, concentracions, etc.
- Paràmetres de disseny: es refereixen a les dimensions que prenen les diferents unitats del procés. El programa ofereix la possibilitat de calcular aquestes dimensions o bé que l'usuari les introdueixi.
- Paràmetres d'equipament: es refereixen als costos unitaris de l'equipament. En aquest cas el programa també ofereix la possibilitat de modificar aquests costos.
- Paràmetres referents a la vida útil de la unitat: es refereixen a la vida útil que presenten les diferents unitats. Aquests paràmetres també poden ser modificats per l'usuari.

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

- Costos unitaris. Els costos unitaris es refereixen als costos d'excavació, edificació, compra de terreny, costos provocats pel consum d'electricitat, productes químics, mà d'obra, etc.
- Índex econòmic. L'índex econòmic es refereix a la variació dels preus en el temps dins els algorismes que conformen el programa. S'utilitzen una sèrie d'índexs per ajustar aquests preus al present.

- Costos específics addicionals. Els costos específics addicionals es refereixen al cost del bombeig de l'aigua residual, als costos administratius, als costos de compra de terreny, d'instrumentació, control, etc.
- Costos d'equipament. Són els costos dels diferents equips que poden formar part del disseny de l'EDAR. El programa disposa de dues bases de dades, una referent a costos dels Estats Units de l'any 2002 (Figura 3-5) i l'altra amb preus de l'any 1977.

The screenshot shows a software window titled "Equipment Costs". It has a "Database Selection" section with a dropdown menu set to "July 2000,(USA Avg)", a search field, and a "Match Case" checkbox. Below is a "Process Equipment" section containing a table of equipment items.

Description	Cost	Cost Index	Value of Co...
8-in diam. cast iron bend	\$450.00	PIPE	547.2
Clearing and grubbing 1acre for land treatment	\$2,500.00	MAS	1,084.7
60-ft diam. gas circulation unit for an anaerobic digester	\$32,000.00	MAS	491.6
2-in. diam. gas safety unit for an anaerobic digester	\$7,100.00	MAS	491.6
1 ton of chlorine	\$940.00	ENR	6,238
1 cu ft of support media for attached growth denitrification	\$3.00	MAS	491.6
50-ft diam. distribution arm for a trickling filter	\$35,000.00	MAS	1,084.7
1 sq ft (cross-sectional) of distribution system and effluent weir troughs for attached growth ...	\$40.00	MAS	491.6
1 cu yd of gravel in place for drying beds	\$25.00	ENR	6,238
1 cu yd of sand in place for drying beds	\$13.00	ENR	6,238
784-sq ft filtration unit	\$165,000.00	MAS	491.6
1 ft of fencing	\$17.50	MAS	1,084.7
1000 cu ft of natural gas	\$3.00	ENR	6,238
1 gallon of fuel oil	\$1.55	ENR	6,238
2-ft mechanically cleaned bar screen unit	\$39,000.00	MAS	1,084.7
3-ft by 6-ft control gate with operator and frame for a carbon adsorption unit	\$17,300.00	MAS	491.6
60-ft diam. upflow clarifier	\$72,000.00	MAS	1,084.7
2000-lb/day chlorinator	\$14,500.00	MAS	1,084.7
1 ft of perforated PVC pipe inplace:4 in. diam.	\$9.30	ENR	6,238
1 ft of perforated PVC pipe inplace:6 in. diam.	\$11.00	ENR	6,238
1 ft of perforated PVC pipe inplace:8 in. diam.	\$14.00	ENR	6,238
42-in. diam. by 20-ft rotor for an oxidation ditch	\$15,340.00	MAS	491.6
Clarifier mechanism:Rectangular 20-ft by 120-ft	\$72,000.00	MAS	1,084.7
Clarifier mechanism:Circular 90-ft diameter	\$100,000.00	MAS	1,084.7

At the bottom of the window are buttons for "Add", "Delete", "Save", and "Cancel".

Figura 3-5 Base de dades referent als costos d'equipament del juliol de 2000.

Un cop s'ha configurat el diagrama de procés de l'EDAR, introduint els paràmetres necessaris o bé deixant-los per defecte, es fa l'estimació econòmica mitjançant el model CAPDET (Figura 3-6).

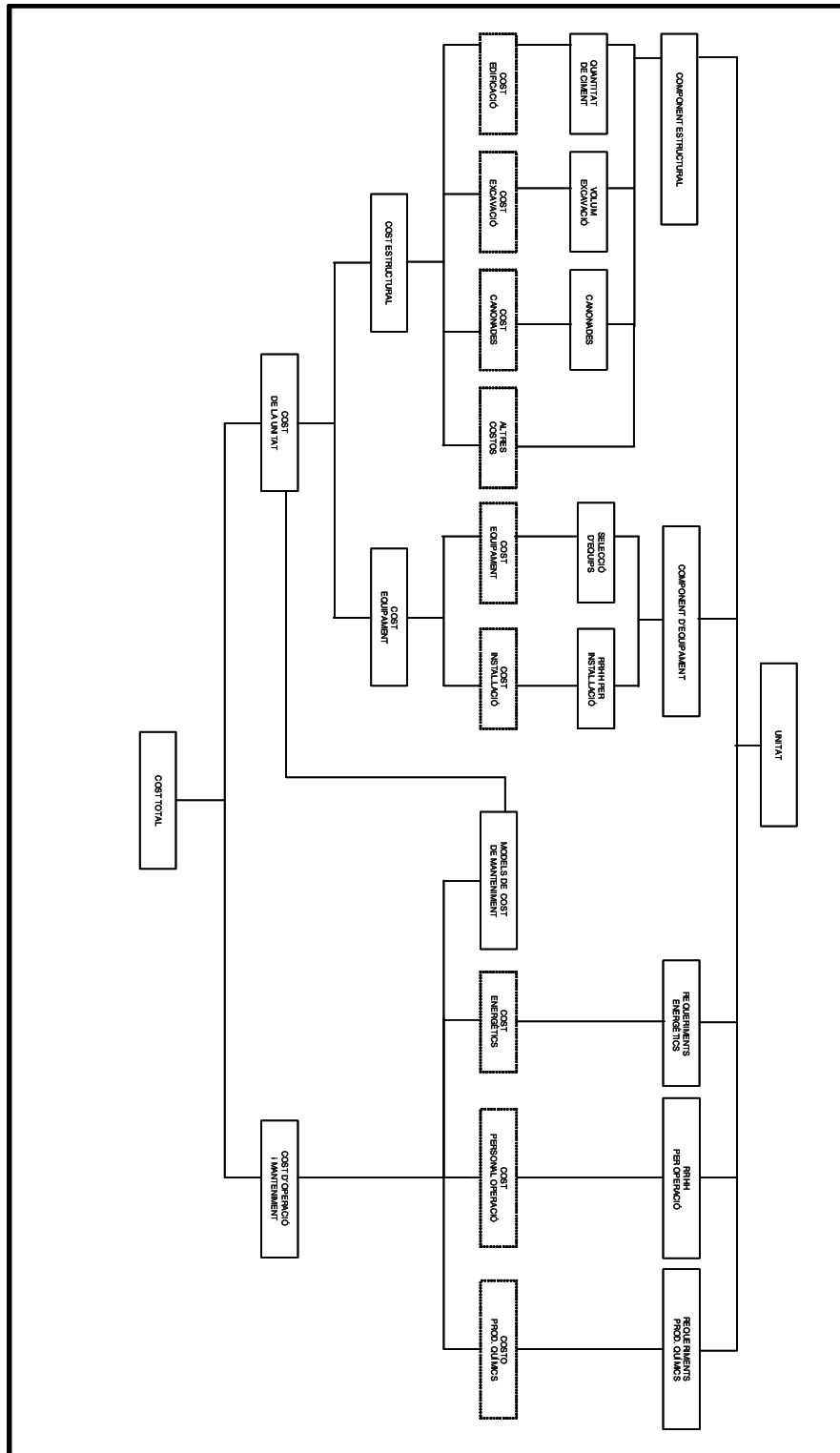


Figura 3-6 Model Capdet

El cost total està format, per una banda, pel cost de la unitat i, per l'altra, pel cost d'operació i manteniment. Al seu torn, el cost de la unitat deriva del cost estructural i del cost d'equipament. El cost estructural està format pel cost d'edificació, el cost d'excavació, el cost de les canonades i altres costos. El cost d'equipament està format pel cost dels mateixos equips (selecció dels equips) i pel cost d'instal·lació (mà d'obra).

Per altra banda, el cost d'operació i manteniment deriva del cost energètic (requeriments energètics), del cost del personal d'operació (mà d'obra) i del cost dels productes químics (requeriment de productes químics).

Un cop s'ha fet l'estimació econòmica, els costos es poden obtenir de manera genèrica o bé detallada. Els costos genèrics són el cost del projecte, el cost d'operació, el cost de manteniment, de material i de productes químics (Figura 3-7).

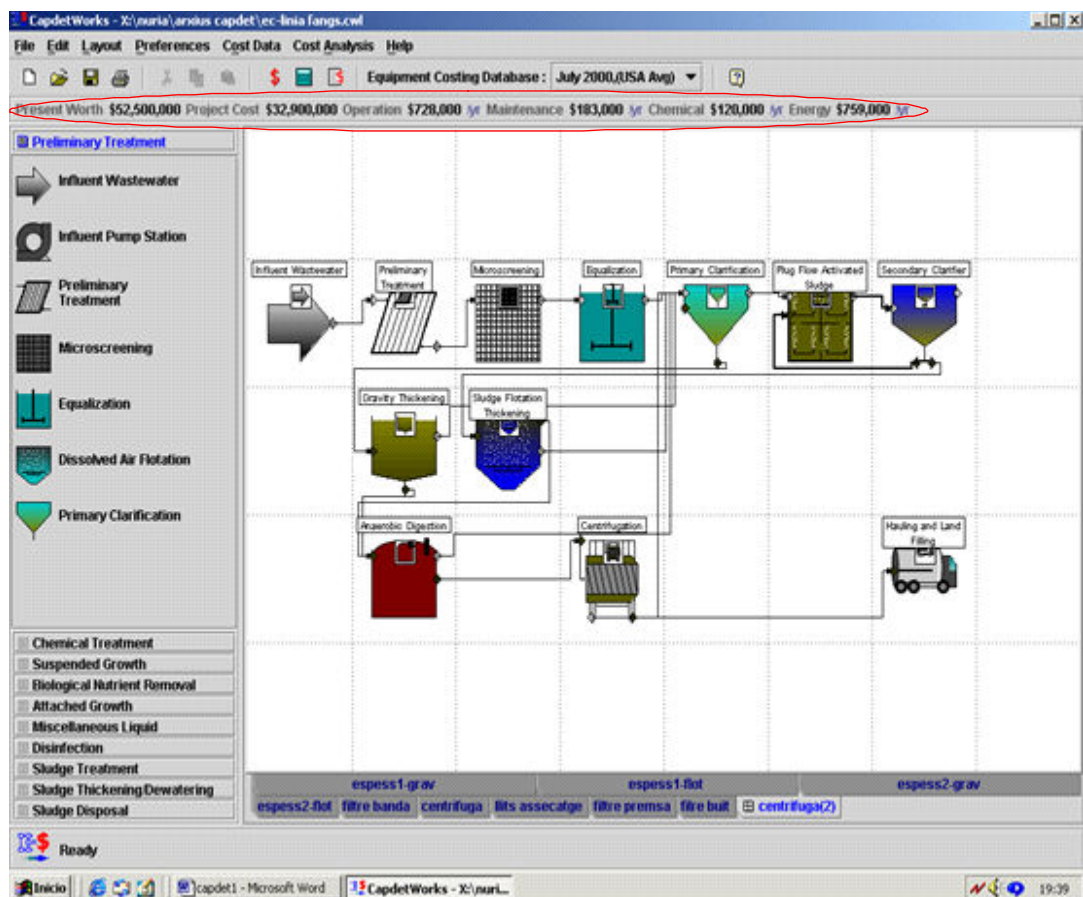


Figura 3-7 Diagrama de flux d'una EDAR i diferents costos que proporciona el programa.



Els costos detallats apareixen en una finestra com la que es mostra a la Figura 3-8. En aquesta finestra es mostra la informació desglossada en cadascuna de les unitats que conformen el diagrama de flux sobre costos de construcció, operació, manteniment, productes químics, costos energètics i d'amortització.

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

The screenshot shows a software window titled "Details for e-aerobia". It contains a table of costs for different treatment stages, a section for design information, and a section for wastewater quality parameters.

Description	Construction	Operational	Maintenance	Material	Chemical	Energy	Amortization
Preliminary Treatment	\$574,000	\$26,300	\$11,900	\$0	\$0	\$3,070	\$48,100
Microscreening	\$358,000	\$20,500	\$11,500	\$0	\$0	\$48,500	\$30,000
Equalization	\$2,720,000	\$25,500	\$23,100	\$3,380	\$0	\$226,000	\$236,000
Primary Clarification	\$441,000	\$15,500	\$7,380	\$4,410	\$0	\$754	\$40,800

**Preliminary Treatment**

Design Information:  SI Units  US Units  Mixed Units

Description	Value	Units	Notes
<b>Design Information</b>			
Bar size	0.25	in	
Bar spacing	1.5	in	
Slope of bars from horizontal	30	degrees	
Head loss through screen	0.0206	ft	
Approach velocity	2.5	ft/s	
Average flow through velocity	2.5	ft/s	
Maximum flow through velocity	3	ft/s	
Screen channel width	4.07	ft	
<b>Wastewater Quality</b>			
Parameter	Influent	Effluent	Units
Maximum Flow	16.5	16.5	MGD(US)
Minimum Flow	6.59	6.59	MGD(US)
Average Flow	6.6	6.6	MGD(US)
Suspended Solids	530	530	mg/L
% Volatile Solids	75	75	%
BOD	614	614	mg/L
Soluble BOD	223	223	mg/L
COD	1290	1290	mg/L
Soluble COD	777	777	mg/L

Figura 3-8 Costos detallats.

### 3.2.1.3 Prestacions del programa

- Comparació entre diferents diagrames de flux

Per comparar diversos diagrames de flux, el programa presenta una opció que permet comparar tant els costos com els paràmetres d'operació de diverses configuracions. A més, la comparació es pot observar gràficament (Figura 3-9).

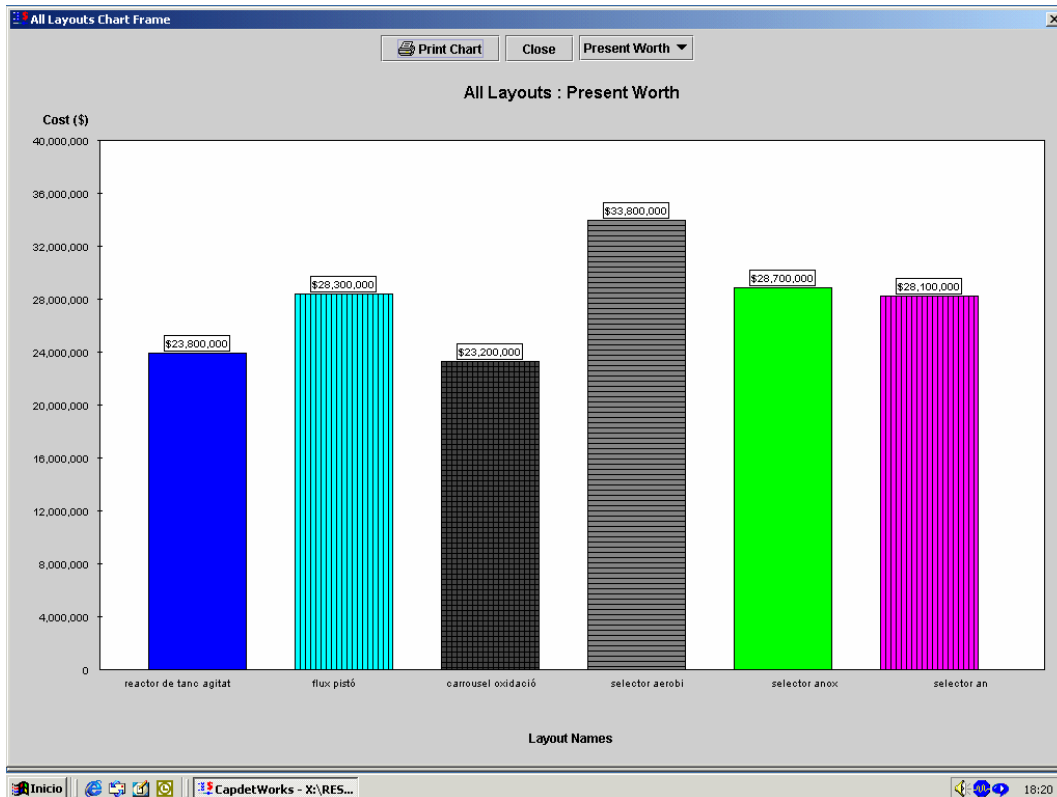


Figura 3-9 Comparació de costos per a diferents alternatives

- Anàlisi de sensibilitat

El programa presenta la possibilitat de fer estimacions econòmiques d'una configuració en funció d'una variable. Els resultats d'aquesta possibilitat s'observen de manera gràfica. A la Figura 3-10 s'observa com varia el cost total del projecte d'un reactor tipus flux pistó en funció de la càrrega màssica a la que operi.

- Modificació de les bases de dades

Hi ha la possibilitat de modificar els costos unitaris, els índexs econòmics i els costos d'equipament. Dins els costos unitaris es poden modificar els costos d'edificació, d'excavació, de dipòsits de formigó, murs de formigó, teulats, electricitat, de construir una tanca i de terreny. Dins

aquests costos també hi ha els costos de personal (personal de construcció, operadors, administratius i instal·lació), costos de productes químics (calç, alumini, ferro i polielectrolit), variables de tipus financer (taxa d'interès, període de construcció, temps de vida de l'EDAR) costos de bombeig i costos diversos (costos d'enginyeria, administratius i legals, d'inspecció, contingents, tècnics, etc.).

El programa presenta per defecte els índex següents: *Marshall and Swift index*, *Engineering news records index* i *Pipe cost index*. En el cas que es vulguin modificar, hi ha la possibilitat d'incloure'n-hi tres més.

Dins els costos d'equipament es poden modificar les bases de dades existents: la base de dades d'equipament del juliol de l'any 2000 (EUA) i la de l'any 1977.

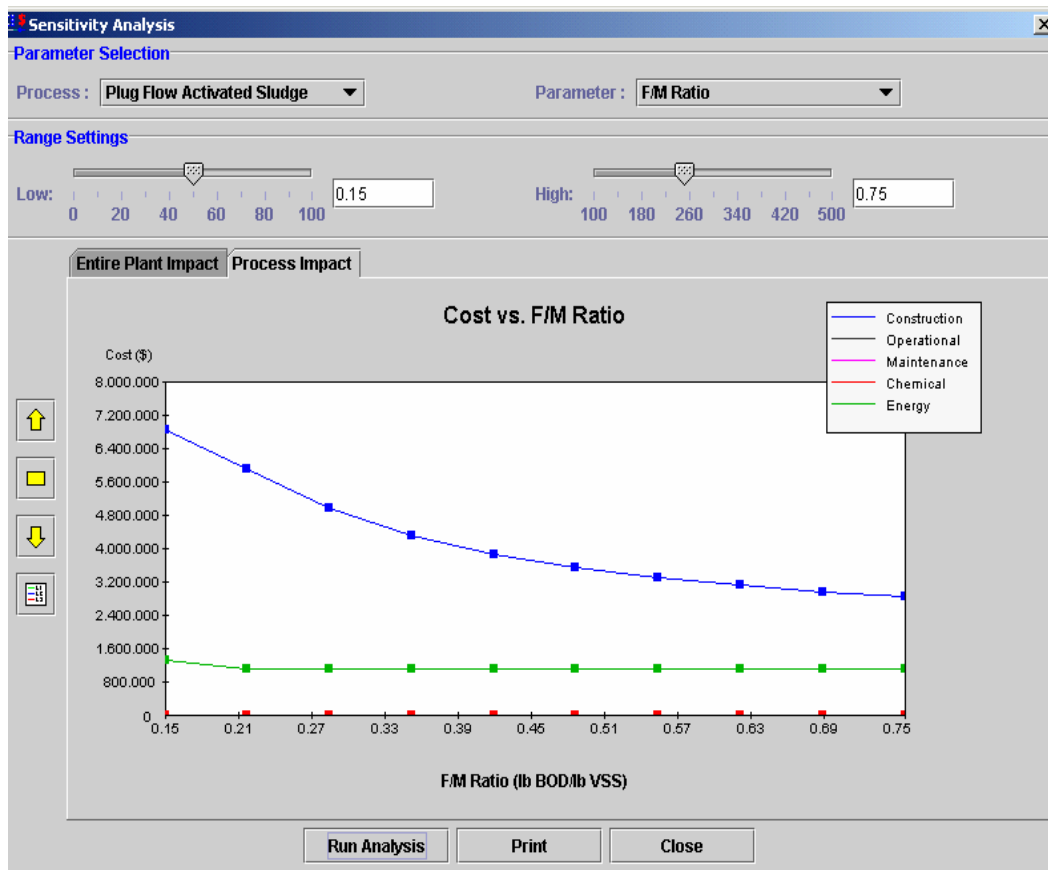


Figura 3-10 Anàlisi de sensibilitat.

### 3.2.2 General Purpose Simulator (GPS-X)





GPS-X és un programa comercial de simulació d'estacions depuradores d'aigües residuals desenvolupat el 1965 per Hydromantis, Inc. GPS-X funciona en un entorn X-Windows sobre plataformes SUN-Solaris o Windows NT. La modelització de l'EDAR es fa en un entorn de programació orientada a l'objecte (Colprim, 1998).




















#### 3.2.2.1 Objectes

El diagrama de flux de l'EDAR es configura mitjançant diversos objectes. Cada objecte s'associa a unes determinades propietats. A continuació es mostra una llista de totes les possibles propietats que poden contenir els objectes i els objectes disponibles en el programa:

- a) Configuració hidràulica. Es refereix al nombre de connexions de què disposa un objecte i si són d'entrada o de sortida.
- b) Propietats físiques i d'operació. Inclou la descripció quantitativa de les dimensions i capacitats reals de l'objecte i dels seus paràmetres d'operació.
- c) Models matemàtics. En cadascuna de les unitats es pot escollir entre diferents models matemàtics referits al seu comportament.
- d) Variables disponibles. Són les variables d'estat i definides de l'objecte que es poden escollir per obtenir una representació gràfica de l'objecte o fitxer de resultats.
- e) Origen dels paràmetres. Indica de quina altra unitat del diagrama provenen els paràmetres del model escollit per a la unitat. D'aquesta manera es poden utilitzar paràmetres diferents per a unitats diferents o considerar que els paràmetres del model seran constants en qualsevol de les unitats.
- f) Etiquetes. Permeten anomenar cada connexió d'entrada o sortida, així com l'objecte, amb un nom que la pot fer més identificable per a l'usuari.

Els objectes disponibles en el programa són els següents:

- 1) afluent 
- 2) descàrrega en discontinu 
- 3) conduccions 
- 4) sortida o efluent 

- 5) bifurcacions  i unions  de corrents (2,3,4 o 5)
- 6) estacions de bombeig 
- 7) tancs de pulmó o d'homogeneïtzació 
- 8) cambra de sedimentació grollera 
- 9) reactor biològic continu de tanc agitat 
- 10) reactors biològics de flux pistó 
- 11) reactor biològic discontinu 
- 12) filtres percoladors 
- 13) biofiltres 
- 14) sistemes híbrids 
- 15) reactors biològics rotatoris de contacte 
- 16) sistemes de llacunatge 
- 17) unitats de flotació 
- 18) digestors anaerobis 
- 19) unitats de filtració 
- 20) decantadors primaris (circulars o rectangulars) 
- 21) decantadors secundaris (circulars o rectangulars) 
- 22) filtres de sorra, cloració i altres utilitats 

Els objectes o unitats disponibles poden tenir o no tenir volum. Per exemple, les unitats d'afluent i efluent no disposen d'un volum sinó que indiquen les entrades i sortides del sistema. Tots els objectes amb volum tindran com a mínim una entrada i una sortida i el volum ocupat es determinarà a partir del balanç global suposant un sistema de barreja completa:

$$\frac{dV}{dt} = \sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{i=1}^m Q_i$$

en què:  $\frac{dV}{dt}$  = variació del volum respecte del temps

$n$ = Nombre d'entrades

$m$ = Nombre de sortides

$Q_i$  Cabal volumètric del corrent  $i$

La possibilitat de considerar un volum ocupat variable per a cadascuna de les unitats estableix la necessitat de desenvolupar un balanç de cadascun dels components tenint en compte aquest efecte:

$$\sum_{i=1}^n Q_{in,i} C_{in,i} - \sum_{i=1}^m Q_{out,i} C_j + r_j = \frac{d(C_j \cdot V)}{dt} = V \frac{\partial C_j}{\partial t} + C_j \frac{\partial V}{\partial t}$$

en què :  $Q_{in}$ = cabal d'entrada

$Q_{out}$ = cabal de sortida

$V$ = volum de la unitat

$C_{in,j}$ = concentració del component  $j$  a l'entrada

$C_j$ = concentració del component a la sortida

$r_j$ = velocitat amb la que el component  $j$  reacciona

Les unitats definides amb un comportament de flux pistó es defineixen com el resultat de  $n$  reactors continus de tanc agitat en sèrie, de manera que les variables de sortida estaran definides com una matriu de dimensió  $(n \times 1)$ . Aquest seria el cas dels reactors biològics de flux pistó o dels decantadors circulars secundaris.

### 3.2.2.2 Variables d'estat i lliberies disponibles

A continuació es descriuen breument les variables d'estat utilitzades i com s'agrupen en diferents lliberies. GPS-X inclou la possibilitat de treballar amb diferents variables d'estat en funció de les

necessitats de la simulació. Cadascuna d'aquestes combinacions es recull en una llibreria i n'hi ha quatre de disponibles:

- (1) Llibreria CN (carboni-nitrogen)
- (2) Llibreria CNP (carboni-nitrogen-fòsfor)
- (3) Llibreria CN2 (carboni-nitrogen ampliada)
- (4) Llibreria IP (processos industrials)

Cadascuna de les llibreries disposa de diversos models en funció de la unitat seleccionada. Aquests models defineixen les seves variables d'estat en funció de les de la llibreria.

La utilització de models mecanístics que utilitzen variables d'estat molt específiques per a cadascun dels processos que consideren fa que moltes de les variables d'estat no es puguin observar directament (dades analítiques). És per això que en cadascuna de les llibreries es disposa de relacions entre les variables observables (dades analítiques) i les variables d'estat.

(1) Llibreria CN. Permet simular els processos d'eliminació de matèria orgànica i nitrogen. Consta de 12 variables d'estat, que són: (1) substrat soluble ràpidament biodegradable (*ss*); (2) substrat lentament biodegradable (particulat) (*xs*); (3) compostos orgànics inerts particulats (*xi*); (4) compostos orgànics inerts solubles (*si*); (5) biomassa heterotròfica activa (*xbh*); (6) biomassa autotròfica activa (*xba*); (7) compostos particulats no biodegradables de la mort dels microorganismes (*xu*); (8) nitrogen oxidat, nitrats i nitrits (*sno*); (9) nitrogen amoniacal lliure i ionitzat (*snh*); (10) nitrogen orgànic soluble biodegradable (*snd*), i (11) nitrogen orgànic particulat biodegradable (*xnd*).

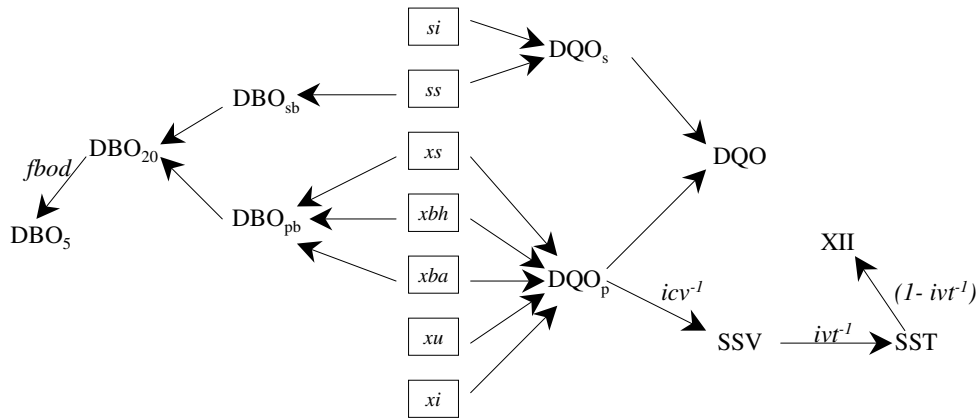


Figura 3-11 Relació entre les variables de la llibreria CN i la DBO<sub>5</sub>, SST i DQO.

La relació entre les variables d'estat referides a la biomassa i a la matèria orgànica es mostra a la Figura 3-11. Per convertir les variables d'estat en variables analítiques s'han de conèixer els coeficients estequiomètrics *fbod*, *icv* i *ivt*. Aquests coeficients fan referència a les relacions  $DBO_5/DBO_{20}$ ,  $SSV/DQO_p$  i  $SSV/SST$ , respectivament.

El nitrogen total (*NT*) inclou tant els nitrats com els nitrits (*sno*) i el nitrogen Kjeldhal total (*NKT*). La fracció particulada de l'*NKT* s'associa al nitrogen orgànic biodegradable particulat (*xnd*), i la soluble es divideix en amoni (*snh*) i nitrogen orgànic soluble biodegradable (*snd*), tal com es mostra a la Figura 3-12.

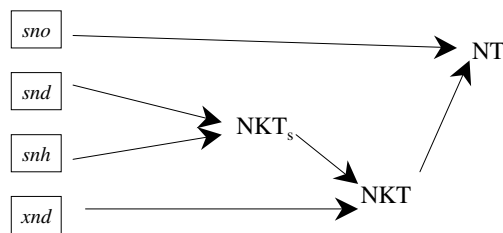


Figura 3-12 Relació entre les variables de la llibreria CN i els compostos nitrogenats.

(2) Llibreria CNP. Consta de 17 variables d'estat que permeten modelitzar l'eliminació de matèria orgànica, nitrogen i fòsfor.



(3) Llibreria CN2. La diferència entre la llibreria CN2 i la CN és que aquí es defineixen dues variables noves, l'alcalinitat i el nitrogen inert. A més, la biomassa nitrificant (autòtrofs) es divideix en *nitrosomonas* i *nitrobacter*, i diferencia la conversió d'amoni a nitrit i de nitrit a nitrat.

### 3.2.2.3 Models d'afluent

Independentment de la llibreria escollida, les variables d'estat en l'aigua residual d'entrada a l'EDAR, es poden definir a partir de (1) la DBO<sub>5</sub>, (2) la DQO, (3) les variables d'estat de la llibreria escollida, (4) la combinació de la DBO<sub>5</sub> i la DQO, i (5) les variables definides en el model núm. 2 de la IAWPRC (IAWPRC, 1995).

A continuació es mostra com es calculen les variables d'estat de la llibreria CN a l'afluent de l'EDAR en funció de l'opció escollida. Per a les altres llibreries se segueix un procediment semblant.

#### (1) Llibreria CN: afluent basat en la DBO<sub>5</sub>

La llibreria CN s'utilitza quan no es disposa de valors de DQO. Es necessiten els paràmetres següents: DBO<sub>5</sub>, SST, NKT, alguns paràmetres estequiòmètrics, biomassa autotròfica i heterotròfica, compostos particulats no biodegradables de la mort cel·lular, compostos orgànics inerts solubles, oxigen dissolt i nitrats i nitrits, que normalment agafen valor zero, excepte els compostos orgànics inerts solubles. La resta de variables es calculen segons l'esquema de la Figura 3-13.

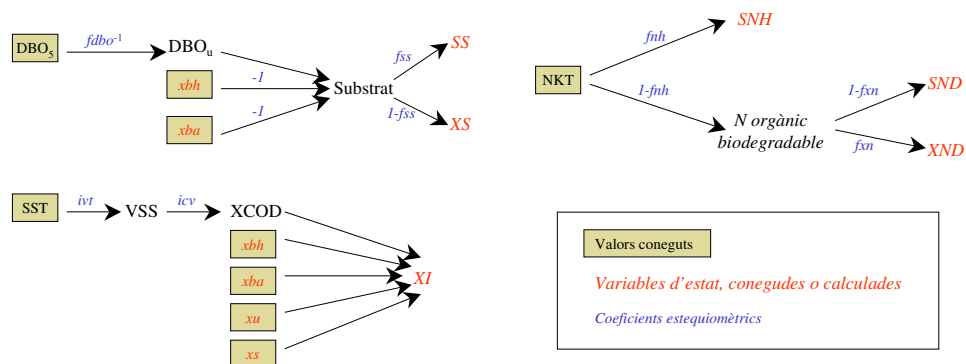


Figura 3-13 Llibreria CN. Càlcul de les variables d'estat a l'afluent basat en la DBO<sub>5</sub>

### 3.2.2.4 Models de llots actius.

Per a cadascuna de les llibreries disponibles i en funció del tipus d'unitat escollida, s'inclou una varietat de models biològics. A continuació es presenten els models disponibles: IAWPRC-ASM1, Model Mantis, Model reduït, Model NRMantis, Model General, Model ASM2, Model NRgeneral i model NRASM2.

- IAWPRC-ASM1

Aquest model es troba disponible a les llibreries CN, CNP i IP per al reactor continu de flux pistó i per al reactor continu de tanc agitat. Incorpora el model proposat per la IAWPRC el 1986 i desenvolupat pel *Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment* (Henze *et al.*, 1987).

- Model Mantis

Està disponible a totes quatre llibreries i per a tots els possibles reactors biològics incorporats en el programa. Desenvolupat per Hydromantis Inc. i es basa en el model núm. 1 de la IAWPRC, amb les modificacions següents: (1) no es té en compte l'alcalinitat; (2) inclou dos processos addicionals de creixement per als bacteris heterotròfics i autotròfics, i (3) inclou la dependència de la temperatura dels paràmetres cinètics.

- Model reduït

Està disponible només per a la llibreria CN i per al reactor continu de tanc agitat. És un model en què s'han reduït el nombre de variables d'estat per simplificar-ne l'ajust i el càlcul dels paràmetres del model. Inclou només 5 variables d'estat: (1) substrat orgànic biodegradable ( $x_{cod}$ ), (2) nitrogen amoniacal ( $s_{nh}$ ), (3) nitrats ( $s_{no}$ ), (4) biomassa autotròfica ( $x_{ba}$ ) i (5) biomassa heterotròfica ( $x_{bh}$ ). Les condicions d'operació es limiten a dos entorns: (1) aeròbic i (2) anòxic.

- Model NRMantis

Només està disponible per als reactors biològics discontinus (SBR). El model és el mateix que el de Mantis, però durant els períodes de decantació o sedimentació no es té en compte la reacció biològica.

- Model general

Està disponible únicament per a la llibreria CNP i per a tots els reactors biològics menys per al reactor rotatori de contacte (biodisc). Es basa en el model general de Dold (1990), que inclou l'eliminació de fòsfor. Els components del model per als organismes no acumuladors de fòsfor segueixen el model de la IAWQ (ASM2) amb tres modificacions: (1) inclouen la possibilitat que en determinades condicions el nitrat pot substituir l'amoni com a font de nitrogen per a la síntesi de microorganismes, (2) conversió de la DQO soluble ràpidament biodegradable en àcids grassos de cadena curta (SCFA), i (3) creixement de la biomassa heterotròfica no acumuladora de fosfats amb SCFA.

- Model ASM2

Està disponible únicament per a la llibreria CNP i per a tots els reactors biològics, menys per al reactor rotatiu de contacte (biodisc).

- Models NRgeneral i NRASM2

Només es poden aplicar en el SBR i en la llibreria CNP. Igual que el model NRMantis, no consideren la reacció biològica en les etapes de decantació o sedimentació del procés. Es basen en el models general i en el model ASM2 respectivament.

### 3.2.2.5 Models de sedimentació i flotació.

Les operacions bàsiques de sedimentació, decantació i compactació de fangs disponibles en el GPS-X són la sedimentació o decantació i la flotació per aire.

- Model Point

Està disponible a totes les llibreries únicament per al decantador secundari circular. Correspon al model de decantació més senzill. Es basa a efectuar un balanç de matèria entre l'entrada i les sortides del decantador o sedimentador i no considera en cap cas un flux de matèria entre diferents capes.

- Simple 1d

Disponible a totes les llibreries i per a tots els tipus de decantadors possibles. Estableix un flux de sòlids a través de les capes del decantador, però no té en compte l'efecte de dilució que es produeix per als compostos solubles.

- Noreac 1d

Disponible a totes les llibreries i per a tots els tipus de decantador possibles, menys per als espessidors del tipus de flotació per aire. És igual que el model Simple 1d però considerant l'efecte de dilució dels compostos solubles. Les diferències entre els models Simple 1d i Noreac 1d es fan importants en casos d'oscil·lacions de l'aigua residual d'entrada al decantador.

- Mantis 1d, Gener 1d i ASM2 1d.

El model Mantis 1d està disponible a totes les llibreries i per a tots els tipus de decantador, menys per als espessidors per flotació. El model Gener 1d i ASM2 1d només es troba disponible a la llibreria CNP i per als mateixos tipus de decantador que el Mantis 1d. Són models unidimensionals basats en el model Noreac 1d, amb la particularitat que consideren la reacció biològica segons els models biològics Mantis, General i ASM2, respectivament.

- Sim 2d, Gen 2d i ASM2 2d.

El model Sim 2d es troba disponible a la llibreria CNP per a tots els tipus de decantador; en canvi, per a la resta de llibreries només està disponible per als decantadors secundaris circulars i rectangulars. Els models Gen 2d i ASM2 2d es troben disponibles únicament a la llibreria CNP i només per als decantadors secundaris rectangulars. Són models amb dues dimensions i consideren que en cada capa la concentració de sòlids difereix en funció del radi. El primer (Sim 2d) no considera la reacció biològica, mentre que els altres dos consideren la reacció biològica segons els models General i ASM2, respectivament.

### 3.2.2.6 Prestacions del GPS-X

El GPS-X permet utilitzar diferents models matemàtics per simular les operacions unitàries més importants en els processos de depuració biològica d'aigües residuals. La modelització d'una EDAR amb el GPS-X implica una sèrie de procediments previs a l'obtenció de resultats. Primer es defineix el diagrama de procés de la part de la depuradora que volem modelar. Un cop definit el diagrama de procés, es trien els models necessaris i es compila del programa. Al final d'aquest procés s'obté un programa executable que permet efectuar les simulacions desitjades. Hi ha diferents tipus de simulacions: estat estacionari, anàlisi de sensibilitat i simulació dinàmica.

- Estat estacionari.

Les característiques de l'EDAR no varien amb el temps. El programa calcula les condicions de l'estat estacionari a partir de les variables d'entrada constants. El càlcul de l'estat estacionari s'utilitza per trobar les condicions inicials per a la simulació dinàmica.

- Anàlisi de sensibilitat

L'anàlisi de sensibilitat s'utilitza per identificar els paràmetres del model que més afecten el comportament del sistema i així enfocar el calibratge amb l'ajust d'aquests paràmetres. Es poden fer dos tipus d'anàlisis de sensibilitat:

- a) Anàlisi de sensibilitat en estat estacionari. Calcula com afecta el valor d'un paràmetre del model en les condicions que aquest assoleix a l'estat estacionari.
- b) Anàlisi de sensibilitat dinàmica. Calcula la resposta dinàmica del sistema per a diferents valors d'un paràmetre del model. Es diferencia de l'anàlisi de l'estat estacionari pel fet que aquí tenim altres paràmetres que variem amb el temps.

- Simulacions dinàmiques.

Per a la simulació d'una EDAR en estat estacionari no fan falta grans programes informàtics. De fet, actualment, i partir de les equacions de disseny utilitzades per dissenyar la majoria d' EDARs actuals ja s'utilitzen models d'estat estacionari. Ara bé, la realitat en una EDAR qualsevol és que treballen en estat no estacionari. Fins i tot si es pren una depuradora en què les condicions d'operació no es modifiquin, sempre es tindrà una gran variabilitat en les condicions de l'aigua residual que arriba a la depuradora.

Algunes de les característiques d'aquesta aigua es poden mantenir més o menys constants (per exemple, la utilització de dipòsits pulmó per obtenir cabals constants), però la presència de pertorbacions en l'entrada és un fenomen normal en qualsevol depuradora. Es aquí on la simulació dinàmica de la depuradora pot fer servei. Es pot saber com es comportarà la depuradora en diferents condicions fixes, però la possibilitat de conèixer com anirà d'un estat a un altre (la transició) només es pot saber de dues maneres: experimentalment o amb la simulació dinàmica.

### 3.2.2.7 Calibratge del model

Es pot treballar amb el simulador amb relativa facilitat; ara bé, la fiabilitat dels resultats que obtinguem dependrà gran manera del calibratge del model. El GPS-X permet calibrar el model a partir de les dades experimentals disponibles. Així, coneixent els valors de les principals variables d'estat del sistema per a diferents punts de l'EDAR (com a mínim entrada i sortida), es pot calcular un valor per als diferents paràmetres cinètics i estequiomètrics del model. En aquelles plantes en què no es disposi d'una gran quantitat de dades analítiques, es poden utilitzar els paràmetres estequiomètrics i cinètics més usuals, que es troben referenciats en la bibliografia i incorporats en el mateix programa.

### 3.2.3 Design Rationale Management (DRAMA)

El programa Design Rationale Management (DRAMA) és una eina de suport per a la gestió i el registre del disseny racional desenvolupada per Quantisci i basada en les idees del sistema de disseny basat en el coneixement (*Knowledge Based Design System, KBDS*).

Aquest programa utilitza un entorn de programació orientada a l'objecte i una interfície gràfica per guardar i estructurar el raonament relacionat amb el disseny. El raonament s'enregistra en forma d'arguments, juntament amb les alternatives que s'hagin d'argumentar. L'estructura de l'argumentació es basa en l'aproximació IBIS (*issue/based informacion systems*) (Rittel, 1973), augmentada de diverses maneres per tal d'aproximar-lo a l'enginyeria de disseny.

Aquesta sistemàtica permet fixar objectius i descompondre les decisions complexes en subdecisiones molt més senzilles utilitzant argumentació quantitativa i qualitativa. Aquesta argumentació es pot introduir directament, o bé es poden crear enllaços entre els objectes de DRAMA i altres programes (simuladors, programes de quantificació de costos, etc.) o bé amb documents electrònics (bases de dades). DRAMA també facilita la recerca d'objectius, decisions, alternatives, etc., i l'anàlisi de la consistència del disseny, l'anàlisi de l'impacte que suposa el canvi d'un objectiu, paràmetre, alternativa, etc. i la generació d'una llista de tot el disseny.

#### 3.2.3.1 Objectes disponibles al programa

Els objectes utilitzats a DRAMA són els següents: qüestió, alternativa, objectiu, criteri, pes, quantificació, avaluació i paràmetres.

- **Qüestió**

Es refereix a la qüestió que es planteja per prendre una decisió. Aquesta qüestió es resol seleccionant una alternativa. La selecció d'una alternativa porta al plantejament d'una altra qüestió. Una qüestió també es pot descompondre en diferents subqüestions més senzilles.
- **Alternativa**

L'alternativa és una possible solució a una qüestió.
- **Objectiu**

Es refereix als objectius de disseny definits a l'inici del disseny. Un objectiu es pot refinar amb diversos objectius més detallats. Els objectius es propaguen per defecte a totes les qüestions que es van generant.
- **Criteri**

Un criteri és un objectiu de disseny en el context d'una qüestió particular. Els criteris s'utilitzen per escollir entre les alternatives i ajuden a mesurar en quin grau una alternativa compleix un objectiu determinat.
- **Pes**

El pes representa la importància relativa d'un criteri respecte als altres en una qüestió. El pes pot ser qualitatiu o quantitatiu. Dins els pesos també hi ha diferents nivells i si es vol que un criteri estigui molt per sobre dels altres se li pot assignar un nivell superior.
- **Quantificació**

Es refereix a la quantificació de les alternatives respecte a cadascun dels criteris seleccionats. La quantificació mostra el grau en què cada alternativa compleix l'objectiu amb què es mesura el criteri.
- **Avaluació**

En l'avaluació es fa automàticament una suma ponderada (vegeu els mètodes de decisió multicriteri).

- Paràmetres

Hi ha la possibilitat de definir a priori diversos paràmetres i introduir-los en el disseny. D'aquesta manera la quantificació es pot realitzar mitjançant diferents equacions. Els paràmetres es poden introduir directament o mitjançant un enllaç.

### 3.2.3.2 Funcionament del programa

Els passos que se segueixen per fer tot el procés de disseny són els següents:

- Identificar la qüestió que s'ha de resoldre

El primer pas del procés de disseny és incloure una qüestió representada per una icona quadrada de color groc. Cadascuna d'aquestes icones es poden obrir, on es mostra una finestra que presenta dues pestanyes: informació general, objectius i enllaços. Quan s'obre la icona surt visitada per defecte la pestanya d'informació general on es formula la qüestió i es fa una explicació d'aquesta (Figura 3-14).

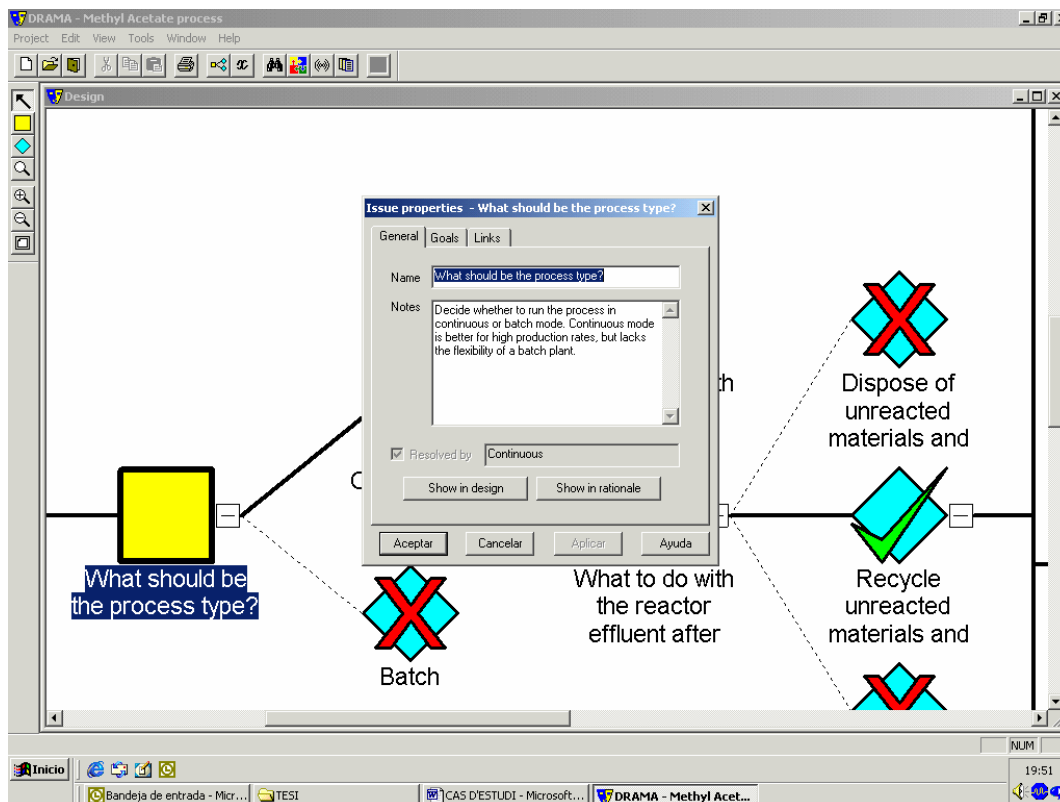


Figura 3-14 Identificar la qüestió que s'ha de resoldre



- Identificar els objectius

Es clica la pestanya objectius de la finestra central de la figura anterior i s'obre un altra finestra on a la part superior apareix un espai per formular els objectius i fer una explicació de cadascun d'ells. Aquesta finestra es propaga a totes les que representen les qüestions que es van generant a continuació. En aquesta mateixa finestra també hi ha la possibilitat d'afegir-hi nous objectius quan es consideri necessari (Figura 3-15).

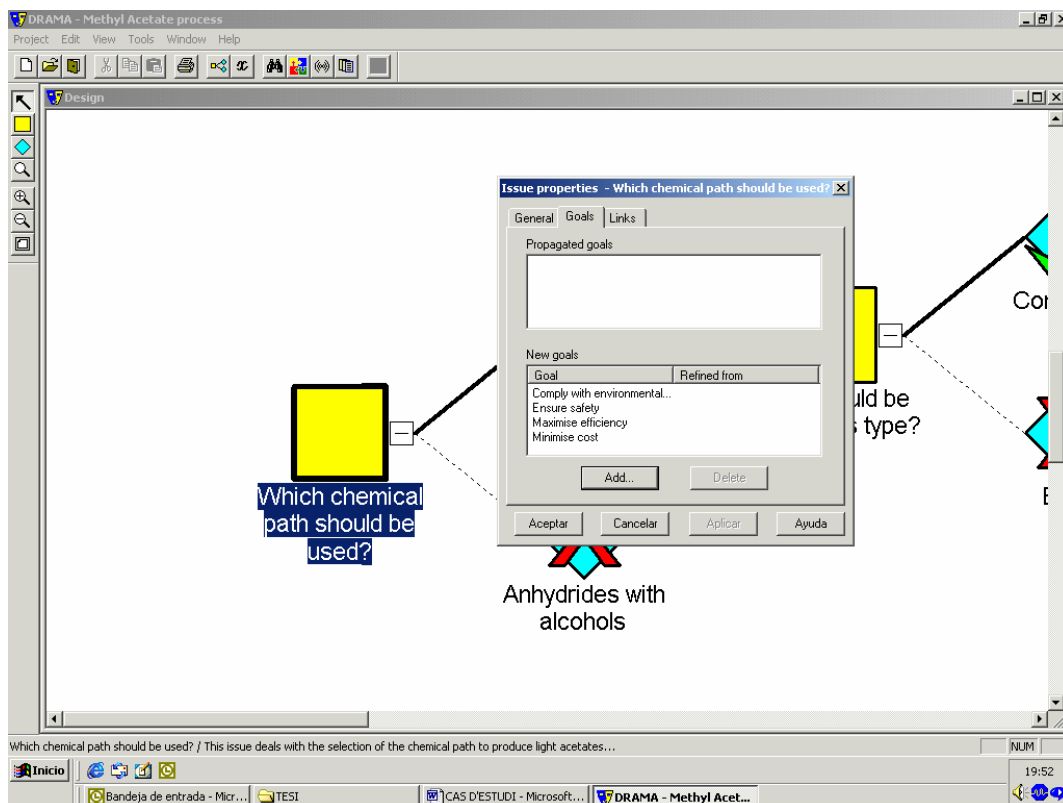


Figura 3-15 Objectius de disseny.

- Generar alternatives

A la part inferior de la pestanya general de la finestra central de la Figura 3-14 s'hi pot observar una icona anomenada *Show in rationale*; si s'hi clica s'obre una pantalla que servirà per generar les alternatives, seleccionar els criteris, quantificar-los, assignar pesos i fer l'avaluació mitjançant la suma ponderada (Figura 3-16). Per afegir-hi les alternatives es fa mitjançant la icona *Add options* situada a la part superior de la Figura 3-16.

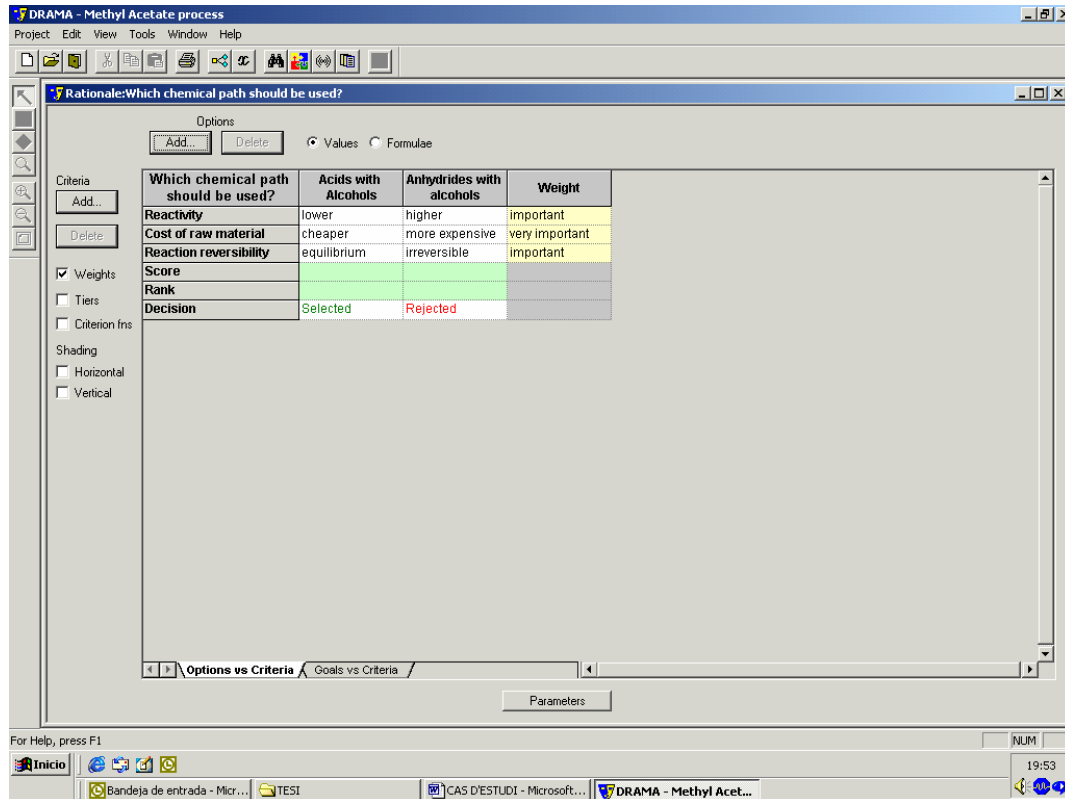


Figura 3-16 Pantalla Design Rationale

- Seleccionar els criteris per avaluar les alternatives

Els criteris s'adhereixen mitjançant la icona *Add criteria* situada a l'esquerra de la figura anterior. A l'última columna, que no pertany a cap alternativa, hi ha una casella reservada per assignar els pesos als criteris.

A la part inferior de la Figura 3-16 hi ha dues pestanyes: una *options vs criteria* i l'altra *goals vs criteria*. La primera és la que es mostra en aquesta mateixa finestra i la segona és la que es mostra a la Figura 3-17. Aquesta finestra permet observar la relació dels criteris seleccionats amb els objectius inicials de disseny.

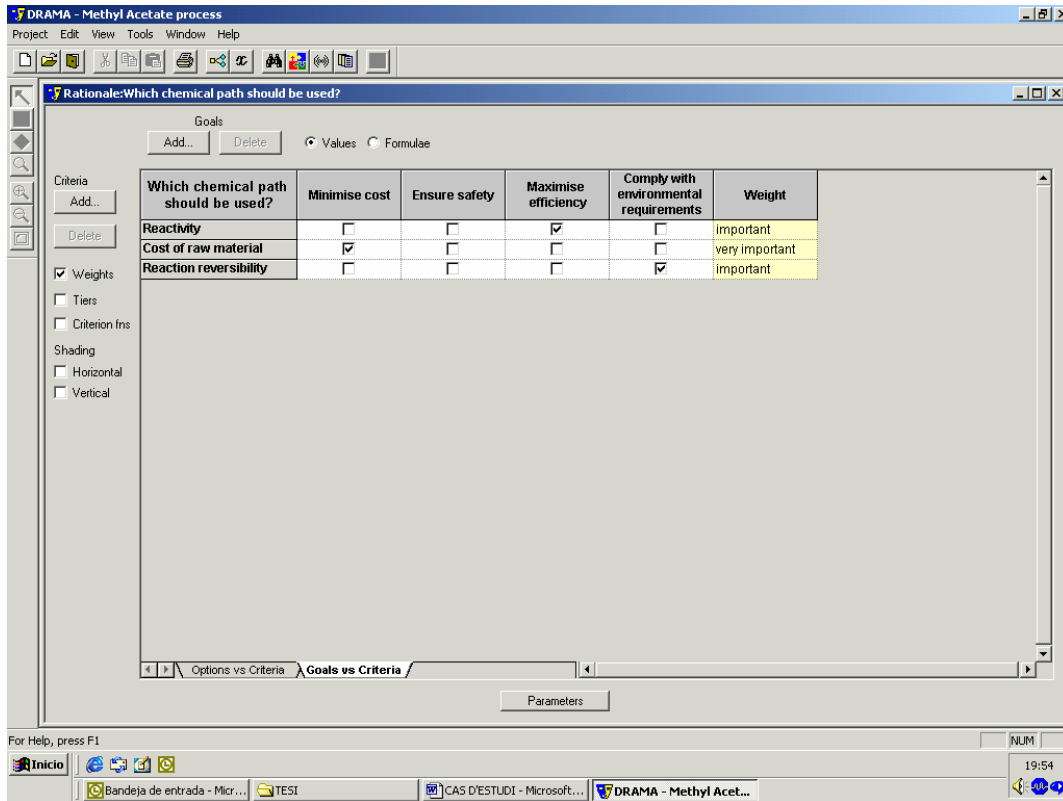


Figura 3-17 Relació dels criteris seleccionats amb els objectius inicials de disseny

- Quantificar les alternatives respecte els criteris

Per quantificar les alternatives es van omplir les caselles que coincideixen amb l'alternativa i el criteri que es vol quantificar (Figura 3-16).

- Avaluar realitzant una suma ponderada

Un cop s'han quantificat els criteris i se'ls han assignat els pesos, el programa realitza la suma ponderada automàticament per obtenir un sol valor per a cada alternativa.

- Seleccionar l'alternativa recomanada

Normalment se selecciona l'alternativa que obté el valor més elevat, tot i que l'usuari pot seleccionar qualsevol de les altres alternatives, i en el procés de disseny hi queda enregistrat que en el moment oportú no es va seleccionar l'alternativa que va obtenir un valor més elevat.

Tot seguit s'identifica la següent qüestió per resoldre i si es vol s'inclouen nous objectius o es refinem els existents.

### 3.2.3.3 Prestacions del programa

- Incloure enllaços

Hi ha la possibilitat d'adherir enllaços a qualsevol objecte, encara que presentin un format diferent del que s'utilitza a DRAMA. Per adherir aquests enllaços se selecciona la pestanya *links* de la figura 15 i apareix una pantalla amb l'opció d'adherir enllaços amb altres dissenys, bases de dades, etc (Figura 3-18).

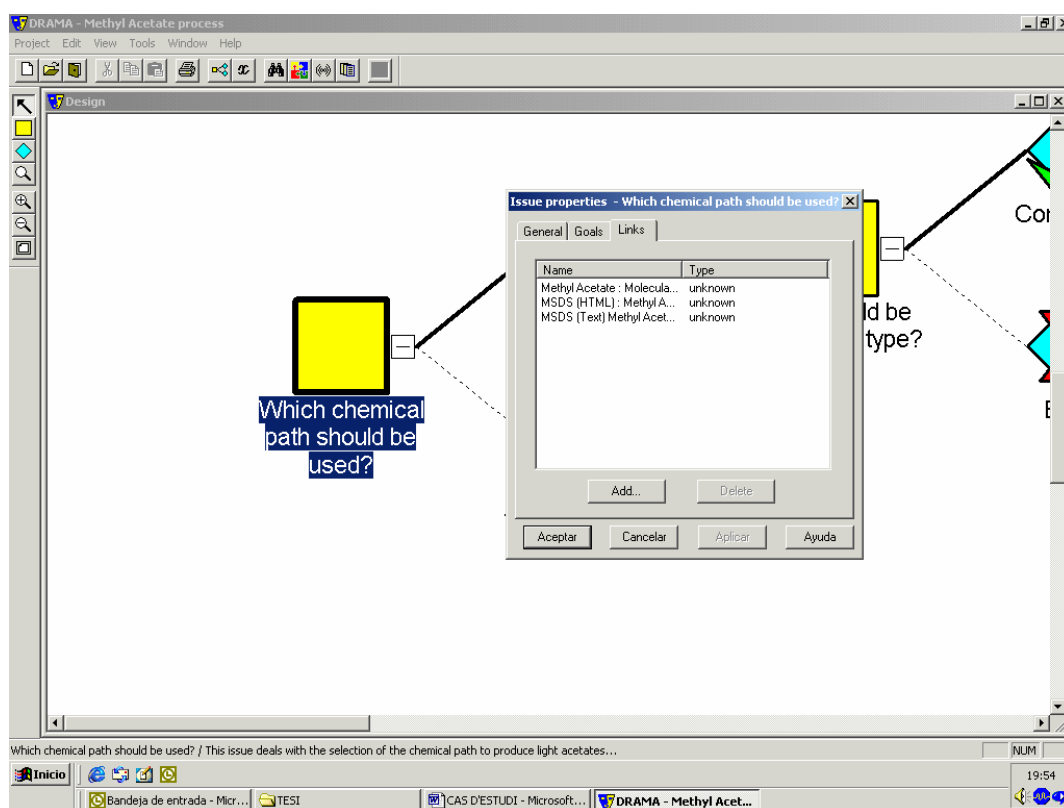


Figura 3-18 Incloure enllaços al procés de disseny

- Incloure paràmetres

A la part inferior de la finestra *Design rationale* (Figura 3-16) hi ha una icona anomenada *Parameters*. Si s'hi fa un clic apareix una finestra on s'inclou el nom del paràmetre que es vol introduir, la fórmula i el seu valor. La quantificació dels criteris es pot introduir en forma

d'equació, utilitzant els paràmetres com a variables. A la part superior de la Figura 3-19 es pot observar la pantalla dels paràmetres utilitzats en un projecte concret.

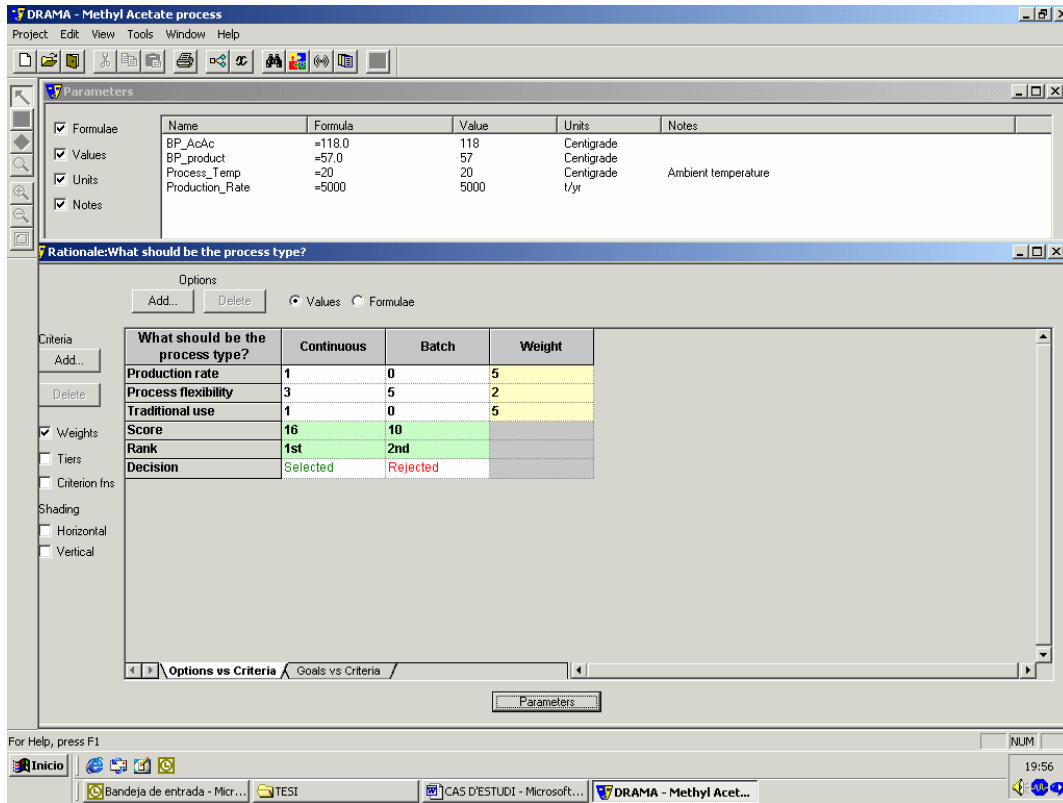


Figura 3-19 Paràmetres introduïts a DRAMA

- **Buscar**

Mitjançant l'opció *Search* es pot localitzar on i quantes vegades hi ha present una determinada paraula. Aquesta opció permet maximitzar la possibilitat d'utilitzar un procés de disseny enregistrat per portar a terme altres projectes. Al centre de la Figura 3-20 es pot observar una pantalla on s'introdueix la paraula que es vol buscar.

A la pantalla on s'introdueix la paraula que es vol buscar es pot seleccionar si es vol buscar la paraula en les qüestions, les alternatives, els criteris, les avaluacions, els objectius, els paràmetres o els enllaços.

També es pot seleccionar si es vol buscar la paraula en aquest projecte, en qualsevol altre o bé en tots els projectes que s'han portat a terme. En el fons d'aquesta pantalla es poden observar els resultats obtinguts d'haver portat a terme aquesta opció. Es mostra el projecte, l'objecte (criteri, objectiu, alternativa, avaluació o qüestió), el nom de l'objecte i el text del qual forma part la paraula trobada.

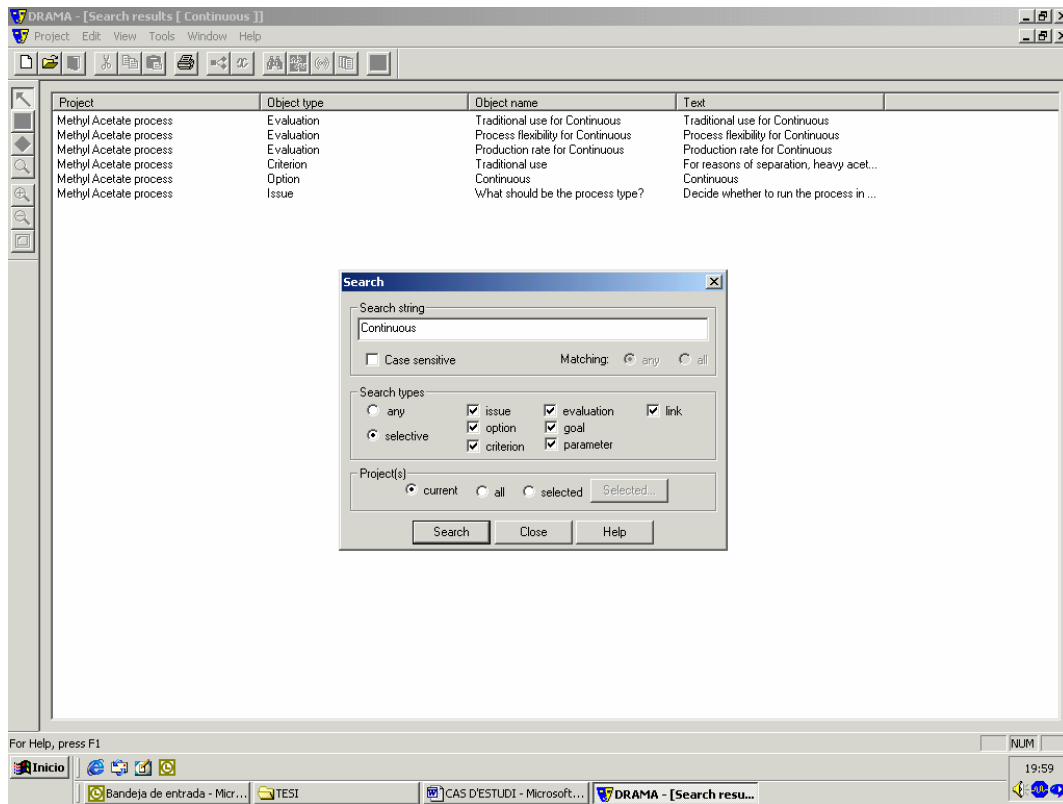


Figura 3-20 Opció per buscar dins el procés de disseny

- Anàlisi de consistència

L'anàlisi de consistència ajuda a identificar d'una manera ràpida les inconsistències presents al llarg de tot el procés de disseny, llarg i complex. A la part inferior de la Figura 3-21 es pot observar la pantalla utilitzada per d'identificar les inconsistències presents.

Hi ha la possibilitat de seleccionar, per una banda, si les inconsistències es volen identificar en el present projecte o bé en tots els altres que s'han portat a terme.

Per altra banda, també es pot seleccionar quin tipus d'inconsistència es vol identificar: restriccions incompletes, paràmetres indefinits, objectius no relacionats amb alguns dels criteris, criteris no relacionats amb alguns dels objectius, qüestions no solucionades, qüestions que tenen menys d'un determinat nombre d'alternatives, qüestions que tenen menys d'un determinat nombre de criteris, alternatives recomanades per al procés de disseny, avaluacions que presenten una puntuació més baixa que una puntuació determinada, avaluacions que presenten més d'una puntuació determinada, criteris que presenten un pes menor determinat, documents relacionats i documents relacionats que s'han eliminat o bé que s'han canviat de nom.

En el fons d'aquesta pantalla s'observa la pantalla de resultats on es mostra el tipus d'objecte on s'ha trobat la inconsistència, el nom de l'objecte i la inconsistència.

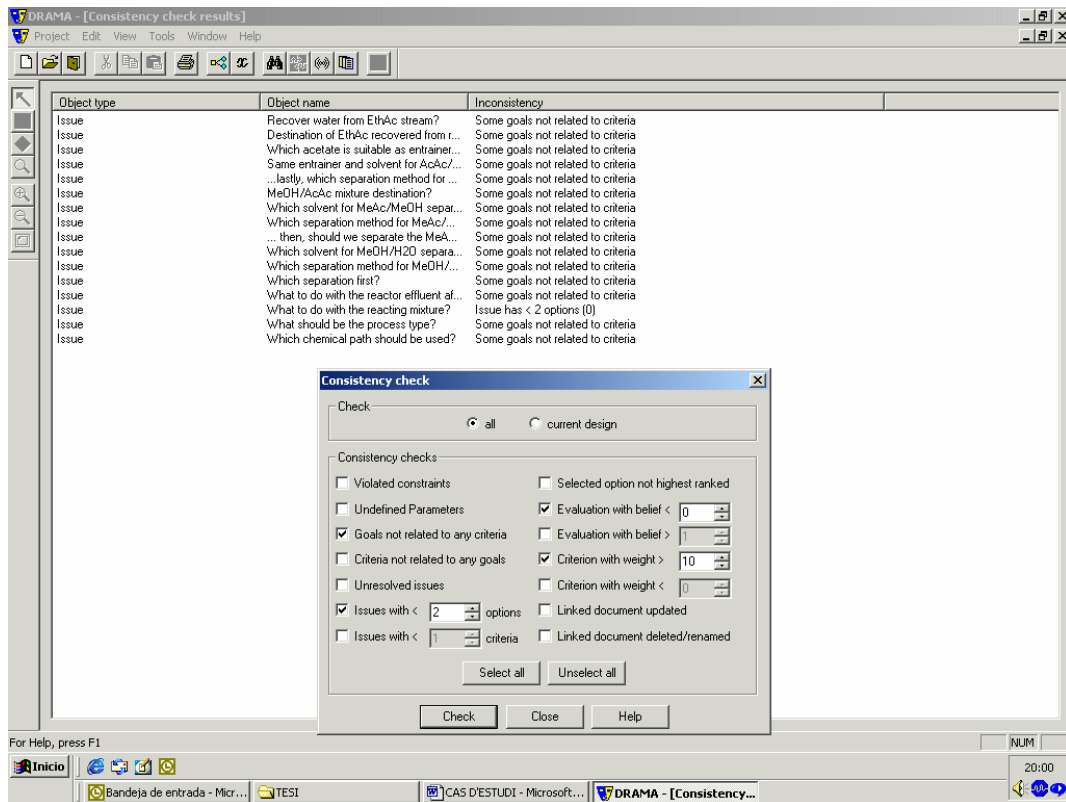


Figura 3-21 Anàlisi d'inconsistència

- Anàlisi d'impacte

L'anàlisi d'impacte permet avaluar quines modificacions comporta el canvi del valor d'un paràmetre utilitzat durant el procés de disseny. Al centre de la Figura 3-22 es mostra la pantalla per fer l'anàlisi d'impacte, en la qual se selecciona el paràmetre i el canvi de valor d'aquest paràmetre.

En el fons d'aquesta pantalla s'observa la pantalla de resultats on s'indica el tipus d'objecte, l'alternativa modificada i l'explicació de per què canvia l'alternativa seleccionada anteriorment..

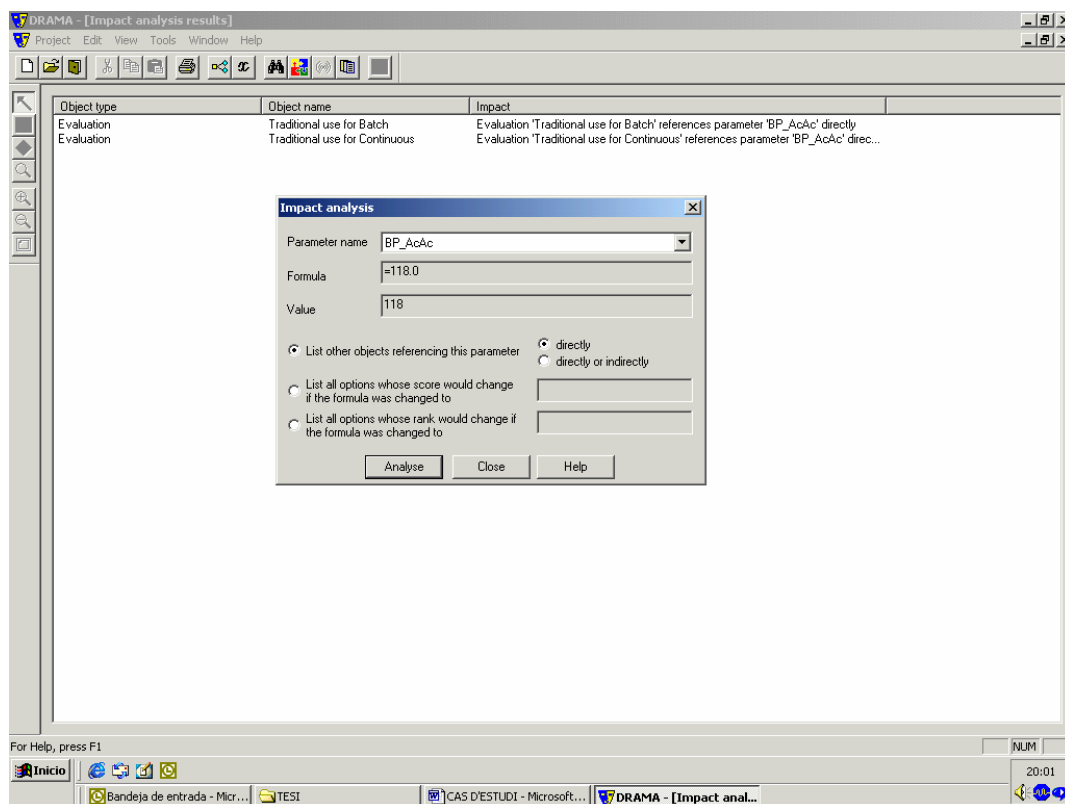


Figura 3-22 Anàlisi d'impacte

- Generar un informe

Mitjançant l'opció Report es pot generar un informe en format HTML, .doc o bé txt (veure secció 8.1 dels annexos).





## 4 CAS D'ESTUDI

A continuació es presenta un cas d'estudi de l'aplicació de la metodologia proposada en aquesta Tesi pel disseny conceptual d'una estació depuradora d'aigües residuals (EDAR). Per aplicar aquesta metodologia s'ha escollit una EDAR ja existent amb el propòsit de comparar-la amb els resultats obtinguts amb la metodologia aplicada.

L'EDAR escollida està situada al municipi de Granollers i actualment tracta les aigües residuals del mateix municipi juntament amb les aigües residuals de les empreses situades al polígon industrial. S'ha escollit l'EDAR de Granollers degut a la disponibilitat de dades tant de disseny com d'operació presents, a que té una mida representativa de les EDARs existents actualment a Catalunya i que ha sofert diferents redissenys des de que la varen construir per primer cop.

L'aplicació de la metodologia proposada s'estructura de la manera següent: primer es presenta la informació de partida; tot seguit es defineixen els objectius de disseny, així com els criteris i el pes assignat a cadascun d'ells, i finalment es desenvolupa tot el procés de decisió fins a obtenir el disseny complet de l'EDAR.

El procés de decisió s'ha dividit en dues parts diferenciades però que alhora s'entrellacen: la línia d'aigües i la línia de fangs. El procés de decisió presenta un total de vint-i-una qüestions amb un màxim de quatre alternatives per qüestió (la línia d'aigües està formada per setze qüestions i la línia de fangs per cinc qüestions).

### 4.1 Informació de partida

Per iniciar el procés de disseny cal localitzar l'EDAR i caracteritzar l'aigua residual a tractar, és a dir, estimar el cabal d'entrada i els valors dels paràmetres continguts en l'aigua residual. En aplicar la metodologia proposada a una EDAR anàloga a la de Granollers, s'ha utilitzat la informació de partida d'aquesta EDAR.

#### 4.1.1 Caracterització de l'aigua residual d'entrada

Per caracteritzar l'aigua residual d'entrada s'ha utilitzat la informació que va servir per elaborar el projecte de disseny original de l'EDAR de Granollers. Aquesta planta es va dissenyar per servir

una població de 130.000 habitants equivalents amb un cabal mitjà de 25.000 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. La Taula 4-1 recull la informació referent al cabal màxim, els Sòlids en Suspensió (SS), la Demanda Biològica d'oxigen (DBO<sub>5</sub>) i la Demanda Química d'Oxigen (DQO) de l'aigua residual d'entrada al pretractament i al tractament biològic que van servir en el seu moment per dissenyar l'EDAR.

Al principi l'EDAR de Granollers només consistia en un tractament fisicoquímic. Quan es va ampliar, s'hi va incloure el tractament biològic aprofitant l'estructura anterior com a pretractament de l'EDAR actual.

Taula 4-1 Paràmetres de disseny de l'EDAR de Granollers

<b>Paràmetres d'entrada</b>	<b>Aigua d'entrada al pretractament</b>	<b>Aigua d'entrada al biològic</b>
Cabal màxim (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	62.400	34.368
SS (mg·l <sup>-1</sup> )	530	51
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> ·l <sup>-1</sup> )	614	322
DQO (mg O <sub>2</sub> ·l <sup>-1</sup> )	1.290	580

Tal com es pot observar a la Taula 4-1, el pretractament presenta un elevat rendiment. Aquesta etapa és molt important tenint en compte que un 42,75 % de l'aigua residual d'entrada és d'origen industrial.

A la Taula 4-1 també s'hi pot observar que el pretractament presenta el doble de capacitat hidràulica que el tractament biològic. Aquesta diferència és per assegurar un tractament fisicoquímic a tota l'aigua residual d'entrada que en episodis de pluja superi la capacitat hidràulica del tractament biològic posterior.

Per obtenir una millor caracterització de l'aigua residual s'ha utilitzat una base de dades històrica (Comas, 2000) que comprèn des de l'abril de l'any 1998 fins a l'abril de l'any 2000 (Taula 4-2).

Taula 4-2 Base de dades des del període de l'abril de l'any 1998 a l'abril de l'any 2000.

<b>Paràmetres d'entrada</b>	<b>Mitjana</b>	<b>Desviació estàndard</b>	<b>Mínim</b>	<b>Màxim</b>
Cabal d'entrada (m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )	22.142	7.323	6.259	62.035
pH	8,1	1,2	7,3	9,1
Conductivitat (μS · cm <sup>-1</sup> )	5.753	1.365	1.000	9.060
Terbolesa (NTU)	179	57	98	726
DQO (mg O <sub>2</sub> · l <sup>-1</sup> )	766	191	220	2.950
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> · l <sup>-1</sup> )	420	111	62,7	2.120
SS (mg · l <sup>-1</sup> )	292	109	88	1.640
NKT (mg N · l <sup>-1</sup> )	115	43	64	285
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N · l <sup>-1</sup> )	75	30	42	230
Pt (mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> · l <sup>-1</sup> )	14,3	4,1	6,6	19,3

Tal com es pot observar a la Taula 4-2, les concentracions mitjanes dels paràmetres d'entrada es mantenen lleugerament superiors als d'una aigua residual urbana típica (Metcalf i Eddy, 2003), i les concentracions màximes ens indiquen que l'EDAR presenta abocaments industrials puntuals.

#### 4.1.2 Localització

La planta de Granollers està situada al polígon industrial de Granollers i aboca les aigües tractades al riu Congost, que pertany a la conca del Besòs.

A la Figura 4-1 es pot observar una vista aèria de l'actual EDAR de Granollers. Al marge inferior de la Figura 4-1, situat a la dreta, es pot observar el pretractament de l'EDAR.

Seguint cap a la part superior de la figura es pot observar com després del pretractament es diferencien dos línies de tractament primari, reactor biològic i decantació secundària respectivament.

El tractament de fangs s'observa al costat esquerra del pretractament. A l'esquerra de l'EDAR es pot observar l'abocament de les aigües tractades al riu Congost.



Figura 4-1 Vista aèria de l'actual EDAR de Granollers

## 4.2 Objectius inicials de disseny i criteris

Tot seguit es defineixen els objectius inicials de disseny (Taula 4-3) i els criteris que serviran per avaluar el compliment d'aquests objectius. Els objectius s'han classificat en les quatre categories que s'han esmentat en la metodologia: ambientals, tècnics, socials i econòmics.

Taula 4-3 Objectius inicials de disseny.

<p><b>OBJ1-AMBIENTAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Minimitzar l'impacte ambiental produït pel funcionament de l'EDAR respecte al consum energètic i les matèries primeres, les emissions a l'atmosfera i la producció de fangs.</li> </ul>
<p><b>OBJ2-TÈCNIC</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Minimitzar o maximitzar els aspectes tècnics que puguin afectar el funcionament correcte de l'EDAR tenint en compte la seva flexibilitat, la robustesa, la compatibilitat entre unitats, el control del procés, l'eficiència d'eliminació per tal de complir els paràmetres d'aigua tractada establerts per la Directiva Europea 91/271/CEE:</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>- <math>DBO_5 &lt; 25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}</math></li><li>- <math>DQO &lt; 125 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}</math></li><li>- <math>SS &lt; 35 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}</math></li></ul> <p>i l'eficiència de tractament dels fangs generats per complir els paràmetres següents:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Deshidratar i estabilitzar el fang</li><li>- Sequedat del fang <math>\geq 25\%</math></li><li>- <math>SSV \leq 55\%</math></li></ul>
<p><b>OBJ3-SOCIAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Minimitzar l'impacte social produït pel funcionament de l'EDAR referent a l'ocupació del sòl, l'impacte visual, les olors i els sorolls.</li></ul>
<p><b>OBJ4-ECONÒMIC</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Minimitzar el cost econòmic.</li></ul>

A continuació es mostra una finestra del sistema de suport al disseny utilitzat (DRAMA) on s'introdueixen els objectius definits (Figura 4-2). A la dreta hi apareix una part de l'arbre de decisió, mentre que a l'esquerra hi apareix la finestra on s'hi introdueixen els objectius a l'inici del disseny. Aquesta finestra es pot anar a buscar en qualsevol moment del disseny per afegir nous objectius o refinar els existents.

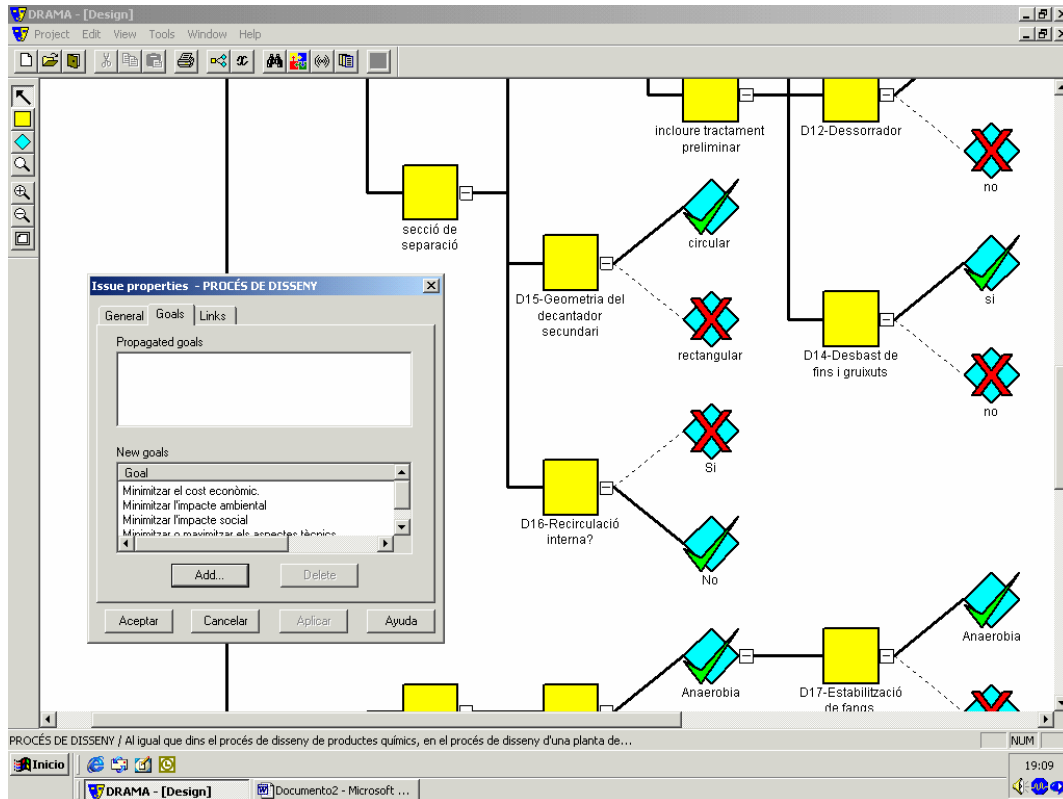


Figura 4-2 Objectius introduïts a DRAMA.

Els criteris definits per mesurar el compliment dels objectius esmentats anteriorment són els següents:

### CRITERIS AMBIENTALS

C1-1 Consum energètic - consum d'energia elèctrica, expressada en kWh · any<sup>-1</sup>.

C1-2 Consum de productes químics - consum de productes químics expressat en kg · d<sup>-1</sup>.

C1-3 Emissions d'àcid sulfhídric - emissió d'àcid sulfhídric expressada qualitativament.

C1-4 Producció de fangs en excés - quantitat de fang generat en excés i expressat en kg · d<sup>-1</sup>.

### CRITERIS TÈCNICS

C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen - capacitat per adaptar-se a nous requeriments d'eliminació de nitrogen a llarg terme, expressat qualitativament.

C2-2 Flexibilitat d'operació – capacitat per adaptar l'operació del procés a qualsevol requeriment futur, expressat qualitativament.

C2-3 Capacitat del procés – quantitat d'aigua o fang que es pot tractar, expressat en  $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$ .

C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos - capacitat de fer front a una situació a curt terme de proliferació de microorganismes filamentosos, expressat qualitativament.

C2-5 Robustesa per acceptar xocs de càrrega - capacitat de fer front a una situació a curt terme de xoc de càrrega, expressat qualitativament.

C2-6 Robustesa al rentat de microorganismes al decantador - capacitat de fer front a un xoc hidràulic puntual que provoqui rentat de microorganismes al decantador, expressat qualitativament.

C2-7 Compatibilitat entre unitats - capacitat que presenta una unitat de coexistir amb un altra, expressada qualitativament.

C2-8 Control del procés - capacitat que presenta el procés a autoajustar-se a diferents paràmetres triats prèviament, expressat qualitativament.

C2-9 Eficiència d'eliminació de  $\text{DBO}_5$  - expressat en %.

C2-10 Eficiència d'eliminació de DQO - expressat en %.

C2-11 Eficiència d'eliminació de SS - expressat en %.

C2-12 Eficiència d'eliminació de SSV - expressat en %.

C2-13 Sequedat del fang - expressat en %.

C2-14 Eficiència d'eliminació de patògens - expressat qualitativament.

C2-15 Qualitat del sobrenedant produït - expressat en  $\text{kg SS} \cdot \text{d}^{-1}$ .

C2-16 Eficiència d'eliminació de sorres i greixos - expressat qualitativament.

## **CRITERIS SOCIALS**

---

C3-1 Impacte visual - expressat qualitativament.

C3-2 Volum - expressat en  $\text{m}^3$ .

C3-3 Olors - expressat qualitativament.

C3-4 Soroll - expressat qualitativament.



## CRITERIS ECONÒMIC

---

C4-1 Cost de construcció - cost referent a la construcció d'una unitat juntament amb les seves estructures de suport i la interconnexió amb les altres unitats que formen part del diagrama de flux, expressat en  $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$  degut a que es considera que la inversió es fa efectiva durant el primer any.

C4-2 Cost d'operació—cost laboral necessari per portar a terme l'operació, expressat en  $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ .

C4-3 Cost de manteniment – cost laboral necessari per portar a terme el manteniment, expressat en  $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ .

C4-4 Cost material – cost del material necessari per portar a terme el manteniment i operació, expressat en  $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ .

C4-5 Cost energètic - cost de l'energia elèctrica necessària per portar a terme el manteniment i operació, expressat en  $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ .

C4-6 Cost dels productes químics - cost dels productes químics necessaris per portar a terme el manteniment i operació, expressat en  $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ .

C4-7 Cost d'inversió d'instrumentació i automatismes - cost degut a la instal·lació del llaç de control, expressat en  $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$  degut a que es considera que la inversió es fa efectiva durant el primer any.

C4-8 Cost de la gestió final del fang, expressat en  $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ .

Per no comptabilitzar dues vegades un mateix criteri dins la mateixa categoria, dins la categoria de criteris de tipus ambiental no s'han inclòs les emissions dels paràmetres continguts en l'aigua residual tractada o en el tractament de fang. Aquests paràmetres estan inclosos dins la categoria de criteris tècnics, fent referència a l'eficiència d'eliminació del procés.

El sistema de suport informàtic utilitzat per portar a terme el procés de disseny, DRAMA, obliga a associar els criteris utilitzats en cada decisió amb els objectius de disseny definits.

Goals

Add... Delete Values Formulae

Criteria	Minimitzar l'impacte ambiental	Minimitzar o maximitzar els aspectes tècnics	Minimitzar l'impacte social	Minimitzar el cost econòmic.	Weight
D1- Reactor biològic					
C1-4 Producció de fangs en excés	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
C2-1 Flexibilitat per tal d'eliminar nitrogen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.8
C2-4 Robustesa per tal d'inhibir el creixement de filamentoses	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.8
C2-5 Robustesa per tal d'acceptar xocs de càrrega	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.8
C2-6 Robustesa al rentat de microorganismes al decantador	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.8
C3-2 Espai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.6
C4 Cost total	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4

Options vs Criteria Goals vs Criteria

Parameters

For Help, press F1

NUM 19:06

Figura 4-3 Relació entre els criteris i els objectius inicials de disseny

A la Figura 4-3 s'observa la taula on s'associen els criteris triats per avaluar les diferents alternatives proposades amb els objectius inicials de disseny. Aquests criteris són els que s'han triat per avaluar les diferents alternatives de reactor biològic. Les files de la taula representen els criteris, mentre que les columnes representen els objectius inicials de disseny. Es marquen les caselles que fan coincidir un criteri amb l'objectiu amb què es relaciona.

En aquest cas el criteri C1-4, producció de fangs en excés està lligat a l'objectiu minimitzar l'impacte ambiental; els criteris C2-1, flexibilitat per eliminar nitrogen, C2-4, robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos, C2-5 robustesa per acceptar xocs de càrrega i C2-6 robustesa al rentat de microorganismes al decantador, estan lligats a l'objectiu minimitzar o maximitzar els aspectes tècnics; el criteri C3-2, volum, està lligat a l'objectiu minimitzar l'impacte social i, per últim, el criteri C4, cost econòmic total, està lligat a l'objectiu minimitzar el cost econòmic.

L'assignació de pesos als criteris s'ha realitzat en funció de la categoria a la qual pertanyen. D'aquesta manera, s'ha assignat un mateix pes a tots els criteris que pertanyen a la mateixa categoria (Taula 4-4).

Taula 4-4 Assignació de pesos a les 4 categories de criteris.

<b>Criteris</b>	<b>Pes</b>
AMBIENTALS	1
TÈCNICS	0,8
SOCIALS	0,6
ECONÒMICS	0,4

Aquesta assignació es va realitzar amb l'ajut de diverses reunions amb experts en el camp del tractament d'aigües residuals i també tenint en compte les consideracions següents: els criteris amb un pes més elevat són els de tipus ambiental perquè el propòsit inicial d'una EDAR és de tipus ambiental (tractar les aigües residuals); és, per tant, il·lògic aconseguir-ho sacrificant altres aspectes també ambientals, com poden ser el consum energètic o de matèries primeres.

A continuació s'han considerat els criteris de tipus tècnic perquè el funcionament tecnològic correcte es tradueix en un funcionament correcte del procés.

Tot seguit es consideren els criteris de tipus social i, finalment, els de tipus econòmic. Invertir inicialment per disminuir l'impacte social provocat per despreniment d'olors, sorolls, etc. comporta un cost econòmic més baix que no pas corregir aquests impactes posteriorment.

### **4.3 Procés de decisió: línia d'aigües**

El procés de decisió s'ha dividit en dues parts: les qüestions referents a la línia d'aigües i les qüestions referents a la línia de fangs. L'ordre de les qüestions en cadascuna d'aquestes parts respon a l'aplicació del procés de decisió jeràrquic presentat a la metodologia. A la Taula 4-5 es fa una llista de les qüestions que formen part de tot el procés de decisió desenvolupat a continuació i les alternatives avaluades per solucionar-les.

Taula 4-5 Llista de qüestions que formen part del procés de decisió

<b>Decisions</b>	<b>Qüestions</b>	<b>Alternatives</b>
<b><i>Línia d'aigües: secció el reactor</i></b>		
D1- Reactor biològic	Quina ha de ser la configuració del reactor?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mescla completa</li> <li>▪ Flux pistó</li> <li>▪ Carrussel d'oxidació</li> </ul>
D2- Aeració	Quin tipus d'aeració ha d'incloure?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Difusor</li> <li>▪ Turbina</li> </ul>
D3- Material del difusor	De quin tipus de material han de ser els difusors?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ceràmic</li> <li>▪ Membrana</li> </ul>
D4- Control d'oxigen	S'hi ha d'incloure control d'oxigen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sí</li> <li>▪ No</li> </ul>
D5- Consignes	S'hi ha d'incloure un punt de consigna d'oxigen, o més d'un?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un punt de consigna</li> <li>▪ Tres punts de consigna</li> </ul>
D6- Revisió de consignes	Revisar les consignes fixades?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sí</li> <li>▪ No</li> </ul>
D7- Selector	S'hi ha d'incloure un selector?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sí</li> <li>▪ No</li> </ul>
D8- Tipus de selector	Quin tipus de selector s'hi ha d'incloure?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aerobi</li> <li>▪ Anòxic</li> <li>▪ Anaerobi</li> </ul>
<b><i>Línia d'aigües: secció prèvia al reactor</i></b>		
D9- Decantador primari	S'hi ha d'incloure decantació primària?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sí</li> <li>▪ No</li> </ul>
D10- Geometria del decantador primari	Quina ha de ser la geometria del decantador primari?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rectangular</li> <li>▪ Circular</li> </ul>
D11- Homogeneïtzador	S'hi ha d'incloure un homogeneïtzador?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sí</li> <li>▪ No</li> </ul>
D12- Dessorrador	S'hi ha d'incloure un dessorrador?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sí</li> <li>▪ No</li> </ul>
D13- Tipus de dessorrador	Quin tipus de dessorrador s'hi ha	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ De tipus airejat</li> </ul>

	d' incloure?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ De flux horitzontal</li> </ul>
D14- Desbast de fins i de grollers	S'hi ha d'incloure el desbast de fins i de grollers?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sí</li> <li>▪ No</li> </ul>
<b><i>Línia d'aigües: secció posterior al reactor</i></b>		
D15- Geometria del decantador secundari	Quin tipus de geometria ha de tenir del decantador secundari?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Circular</li> <li>▪ Rectangular</li> </ul>
D16- Recirculació interna	S'hi ha d'incloure recirculació interna?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sí</li> <li>▪ No</li> </ul>
<b><i>Línia de fangs: secció del reactor</i></b>		
D17- Estabilització	Quin tipus d'estabilització s'hi ha d'incloure?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digestió anaeròbia</li> <li>▪ Digestió aeròbia</li> </ul>
<b><i>Línia de fangs: secció prèvia al reactor</i></b>		
D18- Espessiment de fangs primaris	Quin tipus d'espessiment s'ha d'aplicar als fangs primaris?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gravetat</li> <li>▪ Flotació</li> </ul>
D19- Espessiment de fangs secundaris	Quin tipus d'espessiment s'ha d'aplicar als fangs secundaris?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gravetat</li> <li>▪ Flotació</li> </ul>
<b><i>Línia de fangs: secció posterior al reactor</i></b>		
D20- Deshidratació	Quin tipus de deshidratació s'hi ha d'incloure?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Centrífuga</li> <li>▪ Filtre al buit</li> <li>▪ Filtre premsa</li> <li>▪ Filtre banda</li> </ul>
D21- Gestió final del fang	Quina ha de ser la gestió final del fang?	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abocador controlat</li> <li>▪ Assecatge tèrmic</li> </ul>

Cadascuna d'aquestes decisions presenta els punts següents: (1) identificació de la qüestió que s'ha de resoldre, (2) proposta d'alternatives, (3) tria de criteris, (4) avaluació d'alternatives (quantificació dels criteris, normalització i suma ponderada), i (5) selecció de l'alternativa.

#### 4.3.1 Línia d'aigües: secció del reactor

El procés de decisió per escollir les diferents unitats que configuraran l'EDAR resultat del cas d'estudi comença a la secció del reactor de la línia d'aigües. En aquesta secció es decideix el tipus de reactor biològic que s'ha d'incloure, el tipus d'aeració, el material dels difusors, si s'ha

d'incloure control d'oxigen o no s'ha d'incloure, les consignes d'oxigen que s'han de fixar, si cal revisar les consignes d'oxigen, si s'ha d'incloure selector o no s'ha d'incloure i el tipus de selector que s'ha d'incloure. Tot seguit s'explica en detall cadascuna d'aquestes decisions.

### **D1- Reactor biològic**

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: quina ha de ser la configuració del reactor?

El reactor és la part més important de la línia d'aigües, és on es produeix la transformació del producte d'entrada, en aquest cas l'aigua residual.

Els reactors es poden classificar en dos tipus: físico-químics i biològics. Els reactors físico-químics són aquells en els que l'aigua residual és tractada mitjançant processos físics amb l'addició de productes químics per precipitar els contaminants que conté l'aigua residual.

Per altra banda, els reactors biològics, anomenats bioreactors, són aquells en que l'aigua residual és tractada mitjançant processos biològics (Metcalf i Eddy, 2003). El fonament d'aquesta etapa consisteix a accelerar el procés biològic que es donaria a la natura, és a dir, la degradació, per part d'una població multiespecífica de microorganismes, de la matèria orgànica dissolta en l'aigua residual.

Els bioreactors poden mantenir la biomassa fixada o bé en suspensió. Els bioreactors de biomassa fixada contenen la biomassa subjecta a la superfície del reactor i estan exposats tant a l'aigua residual que s'ha de tractar com a l'atmosfera per tal de disposar de l'oxigen necessari per a la degradació de la matèria orgànica dissolta en l'aigua residual.

Per contra, el bioreactor de biomassa en suspensió conté els microorganismes i l'aigua residual que s'ha de tractar combinats, barrejats i airejats a l'interior durant un temps suficient perquè es produeixi la degradació de la matèria orgànica dissolta en l'aigua residual.

Aquests últims s'anomenen sistemes de fangs activats. Els sistemes de fangs activats consisteixen en un tanc d'aeració, un decantador secundari i una recirculació de fangs. La purga de fangs es pot realitzar des del tanc d'aeració o bé des de la recirculació.

## (2) Proposta d'alternatives

Es proposen tres configuracions alternatives de reactor: mescla completa, flux pistó i carrussel d'oxidació. Les tres alternatives proposades pertanyen als tipus de bioreactors que contenen la biomassa en suspensió.

### Mescla completa (MC)

El reactor mescla completa presenta unes característiques uniformes en tot el reactor. En aquesta configuració l'aigua residual, juntament amb la recirculació de fangs, s'introdueix en el reactor i es distribueix perfectament, i això fa que els sòlids en suspensió, la taxa de respiració i la  $DBO_5$  siguin uniformes en tot el reactor. El licor mescla es barreja completament mitjançant aeració mecànica o difusió d'aire. Aquests reactors operen amb un baix temps de retenció hidràulic, una elevada taxa de recirculació del fang i una elevada càrrega màssica. La geometria d'aquest tipus de reactor pot ser quadrada o rectangular (WEF, 1992).

### Flux pistó (FP)

El reactor tipus flux pistó és el de règim hidràulic convencional. En aquest tipus de reactor s'introdueix l'aigua residual i la recirculació per un extrem del tanc i circulen a través del tanc fins a l'extrem oposat sense dispersió axial. Durant aquest trajecte les partícules mantenen la seva identitat i el temps durant el qual es troben al tanc és igual al temps de retenció teòric. A l'inici del tanc hi ha una elevada càrrega màssica i, per tant, un elevat consum d'oxigen dissolt, mentre que al final del tanc hi ha una baixa càrrega màssica i, per tant, un baix consum d'oxigen dissolt. La geometria típica d'aquest tipus de reactor és rectangular (WEF, 1992).

### Carrussel d'oxidació (CO)

El reactor tipus carrussel d'oxidació presenta una geometria en forma de canal ovalat i l'aigua residual que s'ha de tractar, juntament amb la recirculació, s'introdueix en un extrem del canal, mentre que l'aigua tractada surt per l'extrem oposat. Els carrussels d'oxidació operen en forma d'aeració prolongada amb elevats temps d'aeració, concentracions elevades de sòlids en el reactor, elevades taxes de recirculació, baixes càrregues màssiques i elevats temps de residència del fang. Un dels objectius principals d'aquest procés és mantenir la biomassa en fase de respiració endògena (WEF, 1992).

### (3) Tria de criteris

Per avaluar les alternatives del reactor biològic proposades, s'ha triat la llista de criteris següent:

- C1-4 Producció de fangs en excés ( $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$ ).
- C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen
- C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos
- C2-5 Robustesa per acceptar xocs de càrrega
- C2-6 Robustesa al rentat de microorganismes al decantador
- C3-2 Volum ( $\text{m}^3$ )
- C4-1 Cost de construcció ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-2 Cost d'operació ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-3 Cost de manteniment ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-4 Cost material ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-5 Cost energètic ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats obtinguts dels criteris triats es refereixen a la construcció i operació de les alternatives proposades. Per obtenir resultats de la producció de fangs, el volum i el cost econòmic s'ha utilitzat el programa CapdetWorks. Els resultats obtinguts per a l'alternativa del reactor de mescla completa i el reactor de flux pistó són la mitjana de considerar l'aeració d'aquests dos reactors mitjançant aeració per difusió i turbina. Els resultats obtinguts per al carrusel d'oxidació són el resultat de considerar l'aeració d'aquest tipus de reactor amb aeració mitjançant rotors.

Per caracteritzar l'aigua residual d'entrada s'han utilitzat els paràmetres que van servir en el seu moment per dissenyar l'EDAR de Granollers (Taula 4-1). S'han utilitzat els paràmetres d'operació inclosos per defecte en el programa (vegeu secció 8.2 dels annexos). Els reactors s'han comparat prefixant els valors dels paràmetres de  $\text{DBO}_5$  de l'efluent.



Els resultats referents als criteris de robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos, robustesa per acceptar xoc de càrrega, i robustesa al rentat de microorganismes al decantador són de tipus qualitatiu, és a dir, s'han quantificat mitjançant valors compresos entre 1 i 0 segons l'impacte provocat del criteri sobre l'alternativa sigui positiu o negatiu respectivament.

A la Taula 4-6 es mostren els resultats obtinguts de cada criteri en funció de l'alternativa avaluada.

Taula 4-6 Quantificació de criteris respecte a les alternatives proposades per prendre la decisió D1-Reactor biològic

Criteris		Unitats	Reactor MC	Reactor FP	Reactor CO
C1-4	Producció de fangs en excés	kg · d <sup>-1</sup>	15.200	13.700	2.940
C2-1	Flexibilitat per eliminar nitrogen		0	0,8	1
C2-4	Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos		0	1	0
C2-5	Robustesa per acceptar xocs de càrrega		1	0	0
C2-6	Robustesa al rentat de microorganismes al decantador		0	1	1
C3-2	Volum	m <sup>3</sup>	4.770	8.940	23.259
C4-1	Cost de construcció	€ · any <sup>-1</sup>	2.515.000	3.325.000	2.740.000
C4-2	Cost d'operació	€ · any <sup>-1</sup>	91.650	92.150	64.700
C4-3	Cost de manteniment	€ · any <sup>-1</sup>	48.550	48.550	6.890
C4-4	Cost material	€ · any <sup>-1</sup>	25.865	34.265	18.900
C4-5	Cost energètic	€ · any <sup>-1</sup>	518.500	519.000	423.000

Pel que fa al criteri de producció de fangs en excés, el reactor de mescla completa és el que presenta una producció més elevada de fangs en excés; en canvi, el carrussel d'oxidació és el que presenta una producció menys elevada de fangs en excés. Això és degut al fet que el reactor de mescla completa treballa a una edat del fang baixa i amb una elevada càrrega màssica; en canvi, el reactor tipus carrussel d'oxidació treballa a una edat del fang elevada i amb una càrrega màssica baixa (WEF, 1992).

Pel que fa a la flexibilitat per eliminar nitrogen, el reactor flux pistó presenta la possibilitat d'eliminar nitrogen en un futur fent modificacions estructurals mínimes, mentre que el carrussel d'oxidació ho pot aconseguir sense fer cap modificació estructural (WEF, 1992).

El reactor flux pistó és el que presenta major robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos degut a la elevada càrrega màssica a l'inici del reactor. En canvi, el reactor de mescla completa és susceptible a la proliferació de microorganismes filamentosos en condicions de baixes concentracions a l'afluent i nivells d'oxigen variables. Per altra banda, el reactor carrussel d'oxidació també presenta poca robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos a causa de les altes edats del fang en què treballa normalment (WEF, 1992).

El reactor de mescla completa és el que té una major robustesa per acceptar xocs de càrrega degut a les característiques d'uniformitat a tot el reactor (WEF, 1992).

Els reactors flux pistó i mescla completa presenten més robustesa al rentat de microorganismes al decantador que el reactor de mescla completa degut a que aquests operen a temps de residència hidràulics més elevats (WEF, 1992).

El reactor tipus carrussel d'oxidació ocupa molt més volum que la resta de configuracions proposades. Això és degut, tal com s'ha esmentat anteriorment, al fet que aquest tipus de reactor és d'aeració prolongada amb elevats temps de retenció hidràulics (WEF, 1992).

Finalment, el reactor flux pistó presenta un cost econòmic més elevat que la resta de configuracions. El reactor carrussel d'oxidació és el que presenta costos econòmics més baixos excepte en el cas del cost de construcció que és més elevat que el del reactor mescla completa però menor que el del reactor flux pistó.

- Normalització

Els resultats obtinguts per als criteris s'ha normalitzat mitjançant funcions de valor lineals (veure secció 1.3.1). A la Taula 4-7 s'observen les equacions utilitzades per normalitzar els resultats obtinguts. Aquestes funcions s'han construït fixant el punt  $y=0$ , referent a la pitjor situació

esperada, i el punt  $y = 1$ , referent a la millor situació esperada. El cost econòmic total (C4) és la suma del cost de construcció, operació, manteniment, material i energètic.

Taula 4-7 Funcions de valor per als criteris C1-4, C3-2 i C4, quantificats a la decisió D1-Reactor biològic

	Críteris	$y = 0$	$y = 1$	Funció
C1-4	Producció de fangs en excés ( $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$ )	15.200	0	$y = -7 \cdot 10^{-5} x + 1$
C3-2	Volum ( $\text{m}^3$ )	23.259	0	$y = -4 \cdot 10^{-5} x + 1$
C4	Cost econòmic total ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )	4.018.965	0	$y = -2,5 \cdot 10^{-7} x + 1$

- Suma ponderada

Utilitzant els resultats dels criteris normalitzats i els pesos aplicats a aquests criteris (Taula 4-4) es fa una suma ponderada per obtenir un valor final per a cadascuna de les alternatives (Figura 4-4).

Críteris	Reactor tipus mescla completa	Reactor tipus flux pistó	Reactor carrusel d'oxidació	Weight
D1- Reactor biològic				
C1-4 Producció de fangs en excés	0	0.04	0.8	1
C2-1 Flexibilitat per tal d'eliminar nitrogen	0	0.8	1	0.8
C2-4 Robustesa per tal d'inhibir el creixement de filamentoses	0	1	0	0.8
C2-5 Robustesa per tal d'acceptar xocs de càrrega	1	0	0	0.8
C2-6 Robustesa al rentat de microorganismes al decantador	0	1	1	0.8
C3-2 Espai	0.8	0.64	0	0.6
C4 Cost total	0.2	0	0.18	0.4
Score	1.36	2.664	2.472	
Rank	3rd	1st	2nd	
Decision	Rejected	Selected	Rejected	

Figura 4-4 Suma ponderada a DRAMA per prendre la decisió D1-Reactor biològic

### (5) Selecció de l'alternativa

A la Figura 4-4 s'observa que la majoria de criteris de tipus ambiental i tècnic, els criteris que presenten el pes més elevat, obtenen els millors resultats pels reactors de flux pistó i carrussel d'oxidació. Finalment, l'alternativa recomanada és el flux pistó perquè el carrussel d'oxidació ocupa molt d'espai.

## **D2- Aeració**

### (1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: quin tipus d'aeració s'hi ha d'incloure?

Un cop decidida la configuració del reactor biològic que s'hi ha d'incloure, s'ha de decidir quin sistema d'aeració s'hi inclourà. L'objectiu dels sistemes d'aeració és, per una banda, transferir oxigen al sistema perquè els microorganismes puguin degradar la matèria orgànica dissolta en l'aigua residual i, per l'altra, mantenir aquests microorganismes en suspensió.

### (2) Proposta d'alternatives

Tal com s'ha esmentat en la metodologia, les qüestions que es van generant i les alternatives que es proposen per solucionar aquestes qüestions depenen de les alternatives escollides anteriorment. En aquest cas les alternatives proposades per aportar aire depenen del reactor escollit en la qüestió anterior, és a dir, el reactor de flux pistó. En conseqüència, les alternatives proposades són:

#### Aeració mitjançant difusors

En els sistemes d'aeració per difusor, l'aire s'introdueix a través de difusors instal·lats al fons del tanc. Aquests sistemes estan formats per difusors submergits en l'aigua residual, conduccions d'aire i bufadors. La transferència d'oxigen es fa a mesura que les bombolles d'aire es dirigeixen cap a la superfície (Metcalf i Eddy, 2003).

#### Aeració mecànica

Per altra banda, en els sistemes d'aeració mecànica, l'oxigen s'introdueix a l'aigua directament des de l'atmosfera. Aquests sistemes consisteixen en una o més turbines submergides en l'aigua residual o bé instal·lades superficialment (Metcalf i Eddy, 2003).

### (3) Tria de criteris

A continuació es fa una llista dels criteris triats per avaluar aquests dos sistemes d'aeració:

- C1-1 Consum energètic (kWh · any<sup>-1</sup>)
- C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen
- C2-7 Compatibilitat entre unitats
- C3-1 Impacte visual
- C3-3 Olor
- C4-1 Cost de construcció (€ · any<sup>-1</sup>)
- C4-2 Cost d'operació (€ · any<sup>-1</sup>)
- C4-3 Cost de manteniment (€ · any<sup>-1</sup>)
- C4-4 Cost material (€ · any<sup>-1</sup>)
- C4-5 Cost energètic (€ · any<sup>-1</sup>)

### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Tots els resultats de la quantificació dels criteris triats es refereixen a la construcció i operació de totes les unitats incloses a la secció del reactor fins arribar a aquesta decisió. Pel que fa al criteri C2-7, en aquest cas es refereix a la compatibilitat entre els dos sistemes d'aeració proposats i el reactor biològic escollit a la decisió anterior.

Per obtenir els resultats del consum energètic i els costos econòmics de la unitat s'ha utilitzat el programa CapdetWorks. Els resultats obtinguts de l'alternativa d'aeració per difusió són la mitjana de considerar l'aeració del reactor mitjançant difusors ceràmics i difusors de membrana. A la secció 8.2 dels annexos es detallen els paràmetres utilitzats per tal de configurar cadascuna de les alternatives proposades.

Els resultats de la flexibilitat per eliminar nitrogen, la compatibilitat entre unitats, l'impacte visual i les olors són de tipus qualitatiu i s'han obtingut amb l'ajut de diversos manuals de disseny (WEF, 1992) i reunions amb experts en tractament d'aigües residuals. A la Taula 4-8 es poden observar els resultats obtinguts.

Taula 4-8 Quantificació de criteris respecte les alternatives proposades per prendre la decisió D2-  
Aeració

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Turbines</b>	<b>Difusors</b>
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	5.030.000	7.070.000
C2-1	Flexibilitat per eliminar nitrogen		1	0
C2-7	Compatibilitat entre unitats		0	1
C3-1	Impacte visual		0	1
C3-3	Olors		0	1
C4-1	Cost de construcció	€ · any <sup>-1</sup>	3.700.000	2.950.000
C4-2	Cost d'operació	€ · any <sup>-1</sup>	81.300	103.000
C4-3	Cost de manteniment	€ · any <sup>-1</sup>	41.800	55.300
C4-4	Cost material	€ · any <sup>-1</sup>	7.930	60.600
C4-5	Cost energètic	€ · any <sup>-1</sup>	437.000	601.000

Els difusors tenen un consum energètic superior al de les turbines. Això és degut al factor  $\alpha$ , un factor de correcció referent a la transferència d'oxigen per aigua residual. Aquest factor presenta una influència important en la transferència d'oxigen als sistemes d'aeració per difusió. Els constituents de l'aigua residual, especialment els tensioactius, afecten molt més aquests sistemes que els mecànics i donen transferències d'oxigen menors (WPCF, 1988).

Les turbines presenten més flexibilitat per eliminar nitrogen que els difusors degut a que amb aquest sistema és més fàcil aconseguir la nitrificació i desnitrificació mitjançant aturades i engegades del sistema d'aeració.

Els difusors són més compatibles amb els reactor flux pistó seleccionat a la decisió anterior degut a la configuració de rectangular que presenta aquest tipus de reactor.

Finalment, el cost de construcció del reactor on s'hi instal·len turbines és superior al cost de construcció del reactor on s'hi instal·len difusors. Per altra banda, el reactor on s'hi instal·len difusors presenta un cost d'operació, manteniment, material i energètic superior al reactor on s'hi instal·len turbines.

- Normalització

A la Taula 4-9 es recullen les funcions utilitzades per normalitzar els resultats obtinguts en el pas anterior.

Taula 4-9 Funcions de valor per als criteris C1-1 i C4, quantificats a la decisió D2-Aeració

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Consum energètic (kWh · any <sup>-1</sup> )	7.070.000	0	$y = -1 \cdot 10^{-7}x + 1$
C4	Cost econòmic total (€ · any <sup>-1</sup> )	4.268.030	0	$y = -2 \cdot 10^{-7}x + 1$

- Suma ponderada

En la taula següent (Taula 4-10) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-10 Suma ponderada per prendre la decisió D2-Aeració

	<b>Criteris</b>	<b>Turbines</b>	<b>Difusors</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	0,28	0	1
C2-1	Flexibilitat per eliminar nitrogen	1	0	0,8
C2-7	Compatibilitat entre unitats	0	1	0,8
C3-1	Impacte visual	0	1	0,6
C3-3	Olors	0	1	0,6
C4	Cost econòmic total	0	0,12	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	

(5) Selecció de l'alternativa

L'únic avantatge de les turbines sobre els difusors és el menor consum energètic i la major flexibilitat per eliminar nitrogen. Tot i que aquests criteris tenen un pes bastant elevat, la compatibilitat entre unitats, l'impacte visual, les olors i el cost econòmic total fan que el procés de decisió recomani l'alternativa d'aeració mitjançant difusors.

### D3- Material dels difusors

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: de quin tipus de material han de ser els difusors?

Els materials utilitzats per fabricar els difusors es poden classificar en dos tipus: materials rígids i materials flexibles. Els materials rígids són els més antics; en canvi, els flexibles s'han desenvolupat més recentment.

## (2) Proposta d'alternatives

Les alternatives proposades han estat els dos tipus de difusors més utilitzats: els difusors de tipus ceràmic i els difusors de membrana.

### Difusor ceràmic

El difusor ceràmic esta format per una sèrie de partícules minerals rodones o irregulars unides per formar una xarxa de passadissos interconnectats mitjançant els quals es comprimeix el flux d'aire. Les característiques de la bombolla d'aire que es produeix en el difusor depenen de les interaccions entre la mida del porus, la tensió superficial i el flux d'aire (WEF, 1992).

### Difusor de membrana

El difusor de membrana és de tipus flexible. Aquest difusor, a diferència del difusor de tipus rígid, no presenta una xarxa de passadissos interconnectats, sinó que mitjançant mètodes mecànics es creen orificis individuals i petits que permeten el pas de l'aire (WEF, 1992).

## (3) Tria de criteris

Tot seguit es fa una llista del conjunt de criteris seleccionats per avaluar les dues alternatives proposades:

- C1-1 Consum energètic ( $\text{kWh} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C2-2 Flexibilitat d'operació
- C4-1 Cost de construcció ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-2 Cost d'operació ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-3 Cost de manteniment ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-4 Cost material ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-5 Cost energètic ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )



## (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats dels criteris consum energètic i cost d'operació, manteniment, material i energètic són deguts a l'operació de totes les unitats de la secció del reactor incloses fins arribar a aquesta decisió. Pel que fa al cost de construcció es refereix al cost econòmic d'una unitat de difusor.

Per obtenir els resultats referents al consum energètic, el cost d'operació, el cost de manteniment, el cost material i el cost energètic s'ha utilitzat el programa CapdetWorks. A la secció 8.2 dels annexos es detallen els paràmetres utilitzats per configurar les alternatives proposades.

El cost de construcció s'ha consultat directament amb una enginyeria. Pel que fa a la flexibilitat d'operació, s'ha obtingut de manuals de disseny i reunions amb experts. A Taula 4-11 es presenten els resultats obtinguts.

Taula 4-11 Quantificació de criteris respecte les alternatives proposades per prendre la decisió D3-  
Material del difusor

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Difusor ceràmic</b>	<b>Difusor de membrana</b>
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	8.250.000	4.350.000
C2-2	Flexibilitat d'operació en general		0	1
C4-1	Cost de construcció	€ · any <sup>-1</sup>	65	40
C4-2	Cost d'operació	€ · any <sup>-1</sup>	119.000	96.600
C4-3	Cost de manteniment	€ · any <sup>-1</sup>	66.900	51.400
C4-4	Cost material	€ · any <sup>-1</sup>	63.700	59.600
C4-5	Cost energètic	€ · any <sup>-1</sup>	827.000	530.000

El difusor ceràmic té un consum energètic superior al de membrana i aconsegueix el mateix nivell d'oxigen. Això és degut al fet que els constituents de l'aigua residual, i molt especialment els tensioactius afecten molt més el difusor ceràmic que el de membrana i dona com a resultat uns factors de transferència d'oxigen més baixos.

El difusor de membrana presenta més flexibilitat d'operació degut a la possibilitat d'aturar-se sense que això comporti problemes d'obtenció.

Pel que fa al cost econòmic, el difusor ceràmic té un cost de construcció, operació, manteniment, material i energètic superior al de membrana. Això és degut al fet que el difusor ceràmic té un cost unitari superior al de membrana i, a més, un manteniment més costós.

- Normalització

A la Taula 4-12 es presenten les funcions de valor utilitzades per normalitzar els valors obtinguts en el pas anterior.

Taula 4-12 Funcions de valor per als criteris C1-1 i C4 a la decisió D3-Material del difusor

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Consum energètic (kWh · any <sup>-1</sup> )	8.250.000	0	$y = -1 \cdot 10^{-7}x + 1$
C4	Cost econòmic (€ · any <sup>-1</sup> )	1.076.665	0	$y = -9 \cdot 10^{-7}x + 1$

- Suma ponderada

En la taula següent (Taula 4-13) es poden observar els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions de valor i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-13 Suma ponderada per prendre la decisió D3-Material dels difusors

	<b>Criteris</b>	<b>Difusor Ceràmic</b>	<b>Difusor de Membrana</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	0	0,47	1
C2-2	Flexibilitat d'operació en general	0	1	0.8
C4	Cost total de la unitat	0	0,31	0.4
	<b>RESULTAT</b>	0	1,39	

(5) Selecció de l'alternativa

S'han escollit el difusor de membrana degut a que presenten un menor consum energètic, una millor flexibilitat i un menor cost econòmic.

#### D4- Control d'oxigen

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: s'hi ha d'incloure el control d'oxigen?

L'oxigen dissolt és un paràmetre clau per a l'operació d'una EDAR, tant des del punt de vista econòmic com de procés. Des del punt de vista econòmic és important perquè l'aportació d'aire al reactor biològic representa el 60% del consum energètic d'una EDAR (Rodríguez *et al.*, 2002).

Per altra banda, la concentració d'oxigen present al reactor ha de ser sempre prou elevada per no limitar el creixement dels microorganismes heterotròfics i autòtrofs. En els sistemes de biomassa en suspensió, l'oxigen dissolt també és necessari per mantenir en suspensió el fang activat. L'aeració també ha de ser suficient perquè l'oxigen penetri dins el floc, però no excessiva per evitar problemes de defloculació (Olsson, 1998).

Per tant, la concentració idònia d'oxigen en el reactor biològic és el resultat del balanç de les necessitats econòmiques i biològiques del procés (Olsson, 1998). Per obtenir aquest balanç s'apliquen sistemes de control d'oxigen.

Els sistemes de control d'oxigen consisteixen a mantenir la concentració d'oxigen entre dos límits anomenats punts de consigna d'oxigen (un de superior i un altre d'inferior). Normalment les necessitats d'oxigen per mantenir una barreja adequada a la bassa d'aeració defineixen el límit inferior d'aportació d'aire. Com a conseqüència d'això, en condicions de càrrega baixa, l'aportació d'aire serà mínima per mantenir aquesta barreja. El límit superior d'aportació d'aire està supeditat a la capacitat que presenta el bufador.

(2) Proposta d'alternatives

Es consideren dues alternatives, la d'incloure control d'oxigen o la de no incloure'l.

(3) Tria de criteris

Tot seguit es fa una llista dels criteris triats per avaluar aquestes dues alternatives proposades:

- C1-1 Consum energètic ( $\text{kWh} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C2-8 Control del procés
- C4-7 Cost d'inversió d'instrumentació i automatismes ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

## (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

El consum energètic és degut a l'aeració del reactor biològic i el cost d'inversió d'instrumentació i automatismes es refereix a la instal·lació del control d'oxigen.

Els resultats referents al criteri de consum energètic s'han obtingut modelitzant les dues alternatives proposades mitjançant el programa GPS-X. Per modelitzar-les, s'ha utilitzat un perfil d'aigua residual d'entrada de 170 dies, representatius de la base de dades històriques de l'EDAR de Granollers (Taula 4-2).

La Taula 4-14, mostra la mitjana, la desviació estàndard, el mínim i, el màxim dels paràmetres del perfil d'aigua residual d'entrada dels 170 dies seleccionats de la base de dades per fer les simulacions.

Taula 4-14 Mitjana, desviació estàndard, mínim i màxim dels paràmetres del perfil d'entrada seleccionat per portar a terme les simulacions

	<b>Cabal d'entrada (m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg · l<sup>-1</sup>)</b>	<b>DQO (mg · l<sup>-1</sup>)</b>	<b>SS (mg · l<sup>-1</sup>)</b>
Mitjana	23.672,9	426,8	787,7	329,5
Desviació std.	7.095,2	167,1	240,3	103,8
Mínim	7.564	62,7	221,1	88
Màxim	62.035	1.867,2	2.859,1	1.071,6

Comparant els valors mitjans del Cabal d'entrada, la Demanda Biològica d'Oxigen (DBO<sub>5</sub>), la Demanda Química d'Oxigen (DQO) i els Sòlids en Suspensió (SS) de la taula anterior amb els valors mitjans d'aquests paràmetres a la Taula 4-2, s'observa que els 170 dies seleccionats són representatius del període comprès a la base de dades històriques de l'EDAR de Granollers.

Per raons de claredat, la Figura 4-5 només mostra el perfil d'entrada d'aigua residual referent a 10 dies dels 170 dies simulats.

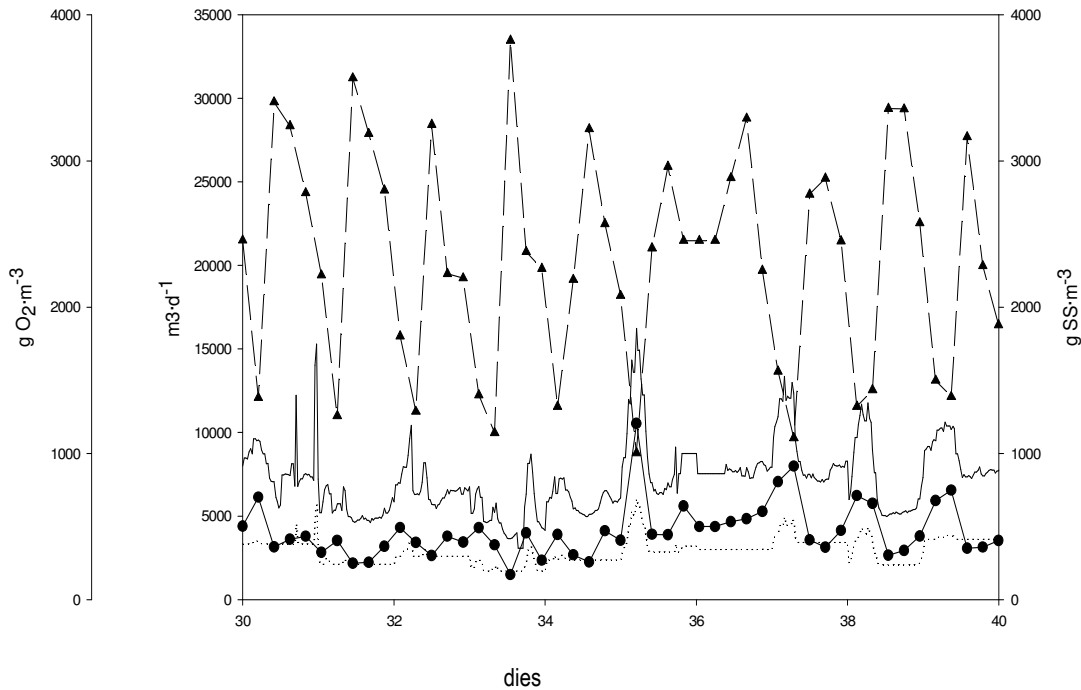


Figura 4-5 Paràmetres del perfil d'entrada de 10 dies dels 170 utilitzats per tal de realitzar la simulació. Cabal d'entrada ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ) --▲--; DQO ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) ——— ; DBO<sub>5</sub> ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) —●—; SS ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ).....

La Taula 4-15 mostra els paràmetres d'operació utilitzats per fer la simulació de cadascuna de les alternatives. Aquests paràmetres pertanyen a dades d'operació de l'EDAR de Granollers. Els paràmetres cinètics i de sedimentació s'han obtingut a partir de calibratges de l'EDAR de Granollers realitzades prèviament (Comas, 2000).

Les simulacions s'han realitzat configurant un reactor de flux pistó, tal i com s'ha escollit prèviament en el procés de disseny. El reactor de flux pistó s'ha configurat utilitzant tres reactors de mescla completa en sèrie degut a que en el programa GPS-X els reactors de flux pistó es modelitzen com a reactors de mescla completa en sèrie (vegeu secció 3.2.2). S'han utilitzat tres reactors tenint en compte que el reactor escollit presenta tres compartiments.

Taula 4-15 Paràmetres d'operació utilitzats per realitzar les simulacions

		Control d'oxigen	No control d'oxigen
Reactor biològic	Cabal d'aire ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )		150.000
	Consigna d'oxigen ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	2	
	SS ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	3.000	3.000
	SSV ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	2.200	2.200
Decantador Secundari	Cabal de purga ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	1.046	1.046
	Recirculació externa ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	5.900	5.900
	SS <sub>p</sub> ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	2.847	2.847
	SSV <sub>p</sub> ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	2.135	2.135
	SS <sub>recirc.</sub> ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	9.020	9.020
	SSV <sub>recirc.</sub> ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ )	6.780	6.780

Els models utilitzats per fer les simulacions del reactor biològic i del procés de sedimentació han estat el IAWPRC *Activated Sludge Model* núm. 1 (Henze *et al.*, 1987) i el *ten-layer one-dimensional settler model* (Tackács *et al.*, 1991).

Per simular l'alternativa que no presenta control d'oxigen es fixa una aportació d'aire de 150.000  $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  dividits equitativament entre els tres compartiments. L'aportació d'aire es calcula per mantenir una concentració mínima d'oxigen de 2  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$  a l'últim compartiment del reactor. En aquest cas, no es tenen en compte els requeriments d'oxigen del reactor en relació amb les propietats instantànies de l'afluent.

La Figura 4-6 mostra la concentració d'oxigen dissolt en cadascun dels tres compartiments (durant els deu dies escollits per il·lustrar les simulacions). En el primer compartiment les concentracions d'oxigen es mantenen al voltant dels 2  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . En el segon compartiment les concentracions d'oxigen augmenten i al tercer compartiment s'observen concentracions de fins a 6  $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . Això és degut a que en els reactors tipus flux pistó els requeriments d'oxigen són majors al principi del reactor que no pas al final.

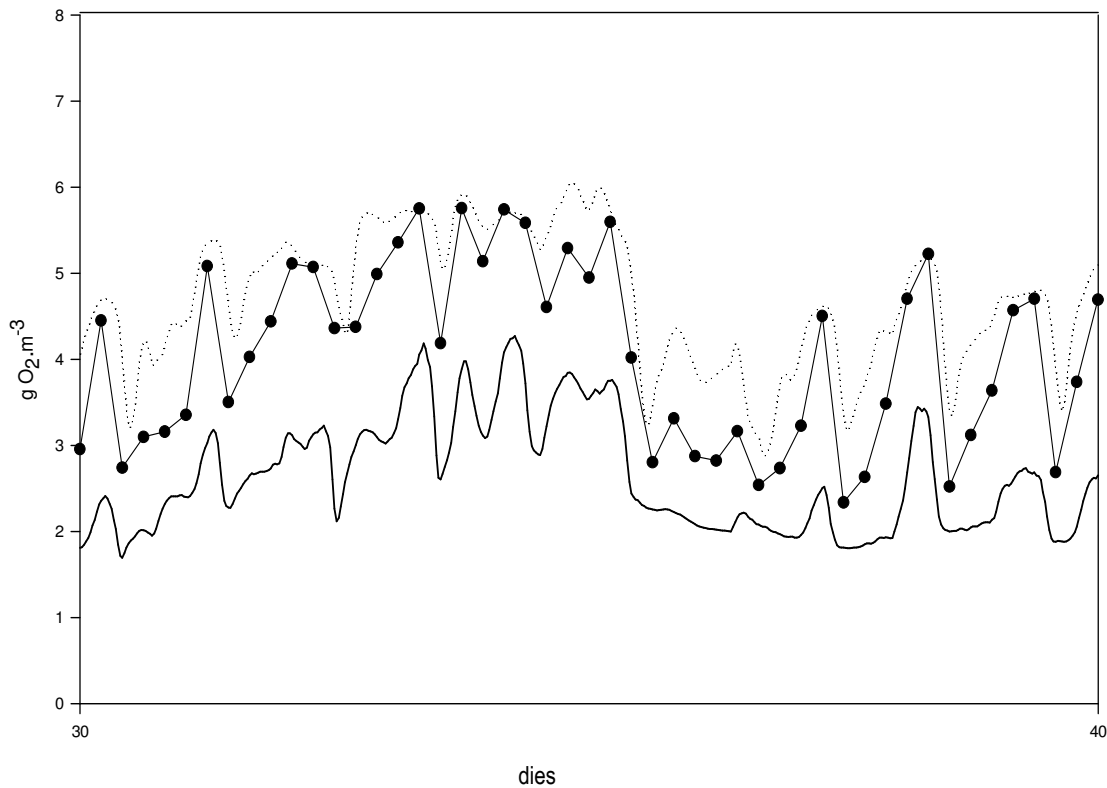


Figura 4-6 Alternativa sense control d'oxigen: oxigen dissolt al reactor. Oxigen dissolt del compartiment 1 ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) \_\_\_\_\_ ; oxigen dissolt del compartiment 2 ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) —●— , i; oxigen dissolt del compartiment 3 ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) .....

Per simular l'alternativa que presenta control d'oxigen s'ha utilitzat un tipus de control Proporcional Integrat (PI) amb l'objectiu de mantenir la concentració d'oxigen a  $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  al llarg de tot el reactor. En aquest cas el consum d'aire està relacionat amb els requeriments d'oxigen instantanis que presenta el reactor biològic. A cada compartiment s'hi ha d'instal·lar una sonda d'oxigen i la regulació d'aire es fa mitjançant vàlvules de control.

Per altra banda les parilles de difusors dels tres compartiments han d'estar aïllades entre si. L'aportació d'aire que requereix el primer compartiment del reactor per mantenir concentracions d'oxigen de  $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  és més gran que la que requereix el segon, i la que requereix aquest segon compartiment és més gran que la del tercer (Figura 4-7).

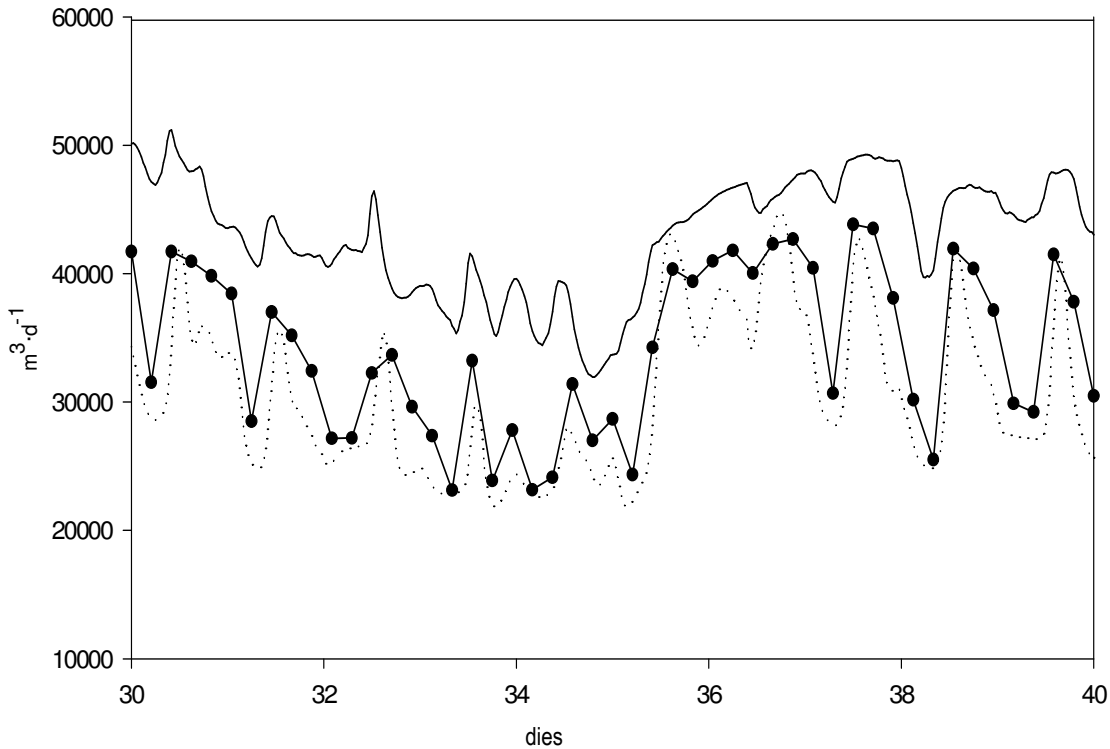


Figura 4-7 Alternativa amb control d'oxigen: cabal d'aire consumit. Cabal d'aire al compartiment 1 ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ) \_\_\_\_\_; cabal d'aire al compartiment 2 ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ) —●—, i; cabal d'aire al compartiment 3 ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ) .....

Pel que fa al consum energètic, l'alternativa que presenta control d'oxigen consumeix menys energia que l'alternativa sense control d'oxigen. Això és degut al fet que el control d'oxigen permet ajustar l'aportació d'aire en funció dels requeriments d'oxigen que presenta el procés en cada moment. Es poden observar estalvis energètics de fins a  $65.000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  ( $0,026 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

A la Taula 4-16 s'observen els resultats referents a cadascun dels criteris. Pel que fa al consum energètic, en l'alternativa que inclou control d'oxigen s'ha calculat l'aportació mitjana diària d'aire i s'ha convertit a consum energètic anual. Per a l'alternativa sense control d'oxigen s'ha convertit l'aportació diària d'aire fixada a consum energètic anual. La informació referent al control del procés s'ha obtingut de manuals de disseny i reunions amb experts. Finalment, el cost d'inversió s'ha obtingut consultant amb una enginyeria.



Taula 4-16 Quantificació dels criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D4-Control d'oxigen

Criteris		Unitats	Si	No
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	1.058.135	1.423.500
C2-8	Control del procés		1	0
C4-7	Cost d'inversió d'instrumentació i automatismes	€ · any <sup>-1</sup>	20.786	0

El consum energètic de l'alternativa on s'inclou control d'oxigen és inferior perquè el consum s'adapta a les necessitats d'oxigen en cada moment. El fet d'incloure control d'oxigen, a més de ser un estalvi energètic permet mantenir les concentracions d'oxigen als nivells desitjables i obtenir d'aquesta manera un major control del procés. Per contra, això es tradueix a una inversió addicional.

- Normalització

La Taula 4-17 recull les funcions de valor utilitzades en aquest cas.

Taula 4-17 Funcions de valor per als criteris C1-1 i C4-7 a la decisió D4-Control d'oxigen

Criteris		y = 0	y = 1	Funció
C1-1	Consum energètic (kWh · any <sup>-1</sup> )	1.423.500	0	$y = -7 \cdot 10^{-7}x + 1$
C4-7	Cost d'inversió (€ · any <sup>-1</sup> )	20.786	0	$y = -5 \cdot 10^{-5}x + 1$

- Suma ponderada

A la Taula 4-18 es poden observar els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-18 Suma ponderada per prendre la decisió D4-Control d'oxigen

Criteris		Sí	No	Pes
C1-1	Consum energètic	0,26	0	1
C2-8	Control del procés	1	0	0,8
C4-7	Cost d'inversió	0	1	0,4
RESULTAT		1	0,4	

(5) Selecció de l'alternativa

L'alternativa recomanada en aquest cas és incloure el control d'oxigen. Com a resultat d'aquesta inversió s'aconsegueix un impacte ambiental més baix i una eficiència del procés més elevada.

### D5- Consignes

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: s'hi ha d'incloure una o consigna d'oxigen, o més d'una?

Tal com s'ha esmentat en la decisió anterior, la consigna és el valor desitjat de la variable controlada. En aquest cas, la variable controlada és la concentració d'oxigen dissolt en el reactor.

(2) Proposta d'alternatives

L'aeració del reactor biològic es pot controlar mitjançant una o més consignes d'oxigen. En aquest cas, es proposa fixar una mateixa consigna de  $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  als tres compartiments del reactor o bé fixar-ne tres de diferents. En aquesta alternativa, al primer compartiment es fixa una consigna de  $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , al segon compartiment es fixa una consigna de  $1,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  i al tercer compartiment es fixa una consigna de  $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ .

(3) Criteris d'avaluació

Els criteris triats per avaluar aquestes alternatives són:

- C1-1 Consum energètic ( $\text{kWh} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C2-2 Flexibilitat d'operació
- C2-7 Compatibilitat entre unitats
- C2-8 Control del procés
- C4-7 Cost d'inversió d'instrumentació i automatismes ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

(4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats de consum energètic són deguts a l'aeració del reactor biològic. El resultat del criteri C2-7 es refereix a la compatibilitat que presenta el reactor biològic escollit a la primera decisió amb les dues alternatives proposades. Per últim el resultat del cost d'inversió és degut al cost addicional de configurar el control d'oxigen amb tres valors de consigna diferents.

El consum energètic, com a la decisió anterior, s'ha obtingut fent simulacions de les dues alternatives amb el programa GPS-X.

A la Figura 4-7 de la secció anterior s'observa l'aportació d'aire necessària en el reactor biològic quan es fa funcionar el control d'oxigen amb un mateix punt de consigna als tres compartiments.

Per altra banda, a la Figura 4-8 s'observa l'aportació d'aire necessària quan es fa funcionar el control d'oxigen amb un punt de consigna diferent a cada compartiment.

Tal com s'observa en aquests gràfics, l'alternativa que funciona amb un punt de consigna diferent a cada compartiment necessita una aportació d'aire menor que l'alternativa amb un mateix punt de consigna als tres compartiments. Degut a la configuració del reactor flux pistó, on les necessitats d'oxigen són inferiors a mida que avança l'aigua residual cap al final del reactor, l'aportació d'aire s'ajusta millor a les necessitats d'oxigen fixant valors de consigna més baixos progressivament.

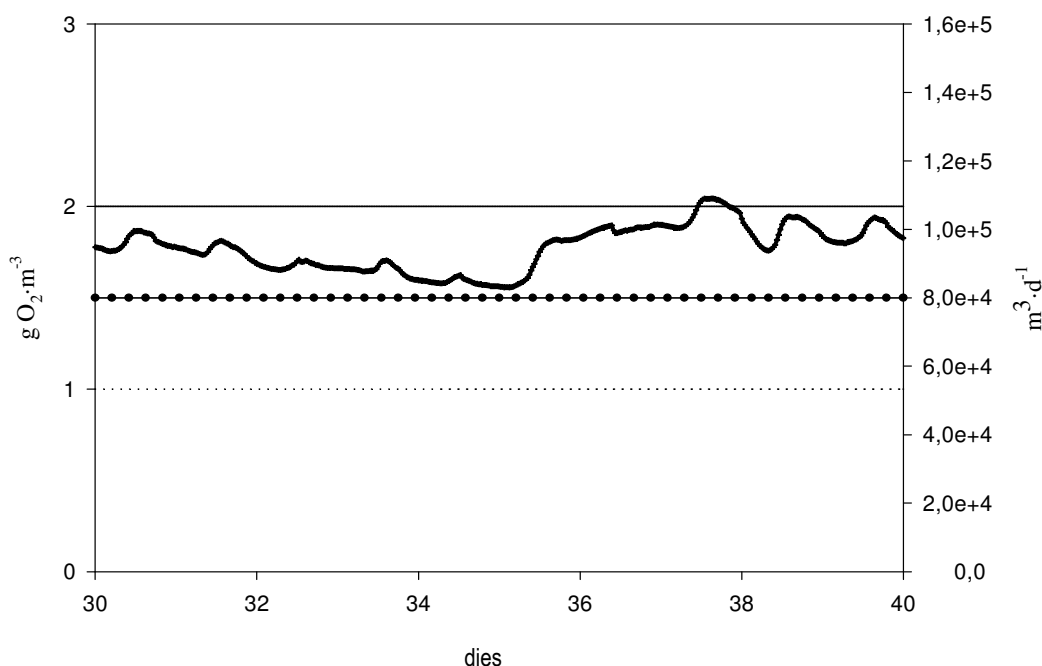


Figura 4-8 Alternativa amb control d'oxigen: cabal total d'aire consumit (m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>) —; consigna d'oxigen al primer compartiment —; consigna d'oxigen al segon compartiment —●—; consigna d'oxigen al tercer compartiment .....

A la Taula 4-19 s'observen els resultats obtinguts de quantificar els criteris triats. Pel que fa a l'alternativa que considera un sol punt de consigna, el resultat és el mateix que el de l'alternativa amb control d'oxigen de la secció anterior. En canvi, per a l'alternativa que considera tres valors de consigna diferents, s'ha calculat l'aportació d'aire diària mitjana respecte als 170 dies simulats i s'ha convertit a kWh · any<sup>-1</sup>.

La flexibilitat per eliminar nitrogen, la compatibilitat entre unitats i el control del procés s'han obtingut mitjançant reunions amb experts i manuals de disseny.

Finalment, el cost d'inversió, igual que en el cas anterior, també s'ha consultat amb una enginyeria de tractament d'aigües residuals. El cost d'inversió per a l'alternativa amb un sol punt de consigna als tres compartiments és el mateix que per a l'alternativa d'incloure control d'oxigen del cas anterior. El fet d'incloure tres valors de consigna diferents augmenta molt poc el cost d'inversió respecte l'alternativa amb el mateix punt de consigna als tres compartiments degut a que només s'hauria de modificar la programació del PLC.

Taula 4-19. Quantificació dels criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D5-  
Consignes

<b>Criteris</b>		<b>Unitats</b>	<b>Un sol punt de consigna</b>	<b>Tres punts de consigna</b>
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	1.058.135	901.550
C2-2	Flexibilitat d'operació		0,5	1
C2-7	Compatibilitat entre unitats		0,5	1
C2-8	Control del procés		0,5	1
C4-7	Cost d'inversió	€ · any <sup>-1</sup>	20.786	24.346

El fet d'incloure tres valors diferents de consigna al llarg del reactor permet ajustar millor les necessitats d'oxigen i conseqüentment obtenir consums d'energia més baixos, una major flexibilitat d'operació, i per últim, al ajustar millor l'aportació d'aire al comportament del reactor flux pistó s'aconsegueix un millor control del procés. A més el cost d'inversió només augmenta lleugerament.

- Normalització

Les funcions utilitzades per normalitzar els valors obtinguts en la secció anterior són les següents (Taula 4-20):

Taula 4-20 Funcions de valor dels criteris C1-1, C4-7 a la decisió D5-Consignes

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Consum energètic (kWh · any <sup>-1</sup> )	1.058.135	0	$y = -9 \cdot 10^{-7}x + 1$
C4-7	Cost d'inversió (€ · any <sup>-1</sup> )	24.346	0	$y = -4 \cdot 10^{-5}x + 1$

- Suma ponderada

A continuació es mostra l'aplicació de la suma ponderada tenint en compte els pesos aplicats a cadascun dels criteris (Taula 4-21).

Taula 4-21 Suma ponderada per prendre la decisió D5-Consignes

	<b>Criteris</b>	<b>Un sol punt de consigna</b>	<b>Tres punts de consigna</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	0	0,14	1
C2-2	Flexibilitat d'operació	0,5	1	0,8
C2-7	Compatibilitat entre unitats	0,5	1	0,8
C2-8	Control del procés	0,5	1	0,8
C4-7	Cost d'inversió	0,14	0	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>1,26</b>	<b>2,54</b>	

(5) Selecció de l'alternativa

El procés de disseny recomana incloure tres valors de consigna diferents al llarg del reactor flux pistó per obtenir un consum energètic menor, una major flexibilitat d'operació, una major compatibilitat amb el tipus de reactor seleccionat a la D1 i un major control del procés.

## D6- Revisió de consignes

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: Revisar les consignes fixades?

És possible que en un futur s'hagi de modificar el procés degut a canvis de legislació, canvi en la càrrega de l'aigua residual d'entrada, etc. En aquest cas s'haurien de revisar els valors de les consignes d'oxigen fixades.

### (2) Proposta d'alternatives

Per una banda, es proposa l'alternativa de revisar les consignes d'oxigen i, per l'altra la de no revisar-les.

### (3) Tria de criteris

Per avaluar les alternatives es trien els criteris següents:

- C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen
- C2-7 Compatibilitat entre unitats

### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

El resultat del criteri C2-7, es refereix a la necessitat de realitzar una revisió de consignes tenint en compte la configuració del reactor biològic seleccionat i el procés d'eliminació que porta a terme.

Els resultats dels criteris triats són valors compresos entre 1 i 0 segons que l'impacte provocat pel criteri sobre l'alternativa sigui positiu o negatiu, respectivament. Aquests valors s'han assignat directament tenint en compte la informació extreta de manuals de disseny i reunions d'experts.

- Normalització

En aquest cas no cal fer la normalització perquè la quantificació ja s'ha fet mitjançant valors entre 1 i 0.

- Suma ponderada

A continuació (Taula 4-22) es mostra l'aplicació de la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a aquests dos criteris.

Taula 4-22 Suma ponderada per prendre la decisió D6-Revisió de consignes

	<b>Criteris</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Pes</b>
C2-1	Flexibilitat per eliminar nitrogen	1	0	0,8
C2-7	Compatibilitat entre unitats	0	1	0,8
	<b>RESULTAT</b>	0,8	0,8	

**(5) Selecció de l'alternativa**

En aquest cas les alternatives han obtingut la mateixa puntuació. S'ha escollit no revisar les consignes escollides a la decisió anterior (D5) perquè aquestes ja permeten obtenir els objectius referents a la qualitat de l'aigua tractada proposats a l'inici del disseny.

**D7- Selector****(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: s'hi ha d'incloure un selector?**

Els selectors tenen com a objectiu promoure el creixement de microorganismes formadors de floc i evitar el creixement dels microorganismes filamentosos. Els selectors se situen al principi de la bassa d'aeració com un tanc separat, en el cas dels reactors de mescla completa, o bé formant una etapa del mateix tanc, en el cas dels reactors de tipus flux pistó. Els selectors se caracteritzen pel fet de presentar uns temps de retenció hidràulics curts i unes càrregues màssiques elevades (WEF, 1992).

**(2) Proposta d'alternatives**

Les alternatives proposades per resoldre aquesta qüestió són la d'incloure un selector o la de no incloure'l.

**(3) Tria de criteris**

- C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos
- C4 Cost econòmic total ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

**(4) Avaluació d'alternatives**

- Quantificació d'alternatives

Els resultats del cost econòmic són deguts al cost d'operació i construcció de les unitats que configuren l'EDAR fins arribar a aquesta decisió. Cal tenir en compte que també s'ha inclòs la

unitat de decantació secundària tot i no haver-se seleccionat encara. Això és degut a que aquesta unitat és necessària per avaluar l'operació del procés.

El cost econòmic s'ha obtingut amb el programa CapdetWorks. A la secció 8.2 dels annexos hi figuren els paràmetres de disseny que s'han utilitzat per configurar el selector. Els resultats obtinguts per a l'alternativa d'incloure el selector són la mitjana de configurar un selector aerobi, un selector anòxic i un selector anaerobi.

Per altra banda, la robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos s'ha obtingut mitjançant manuals de disseny i reunions amb experts en tractaments d'aigües residuals. La Taula 4-23 presenta els resultats obtinguts de la quantificació de criteris.

Taula 4-23 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D7-Selector

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
C2-4	Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos		1	0
C4	Cost econòmic total	€ · any <sup>-1</sup>	39.600.000	30.200.000

El selector augmenta la capacitat d'inhibir el creixement de microorganismes filamentosos però també augmenta el cost econòmic total del projecte degut a que la presència del selector ni fa disminuir el cost d'operació ni el cost de manteniment de les unitats posteriors del procés.

- Normalització

En aquest cas s'ha construït una sola funció de valor per al cost econòmic total (Taula 4-24).

Taula 4-24 Funcions de valor del criteri C4 a la decisió D7-Selector.

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C4	Cost econòmic total (€ · any <sup>-1</sup> )	39.600.000	0	$y = -3 \cdot 10^{-8} x + 1$

- Suma ponderada

A Taula 4-25 es presenten els valors resultants d'aplicar un pes a cada criteri i de fer una suma ponderada per a cada alternativa.



Taula 4-25 Suma ponderada per prendre la decisió D7-Selector

	<b>Criteris</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Pes</b>
C2-4	Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos	1	0	0,8
C4	Cost econòmic total	0	0,24	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>0,8</b>	<b>0,1</b>	

**(5) Selecció de l'alternativa**

Es recomana incloure-hi un selector perquè la inhibició del creixement de microorganismes filamentosos és un criteri de tipus tècnic i com a tal té un pes superior al del cost econòmic del projecte.

**D8- Tipus de selector**

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: quin tipus de selector s'hi ha d'incloure?

**(2) Proposta d'alternatives**

Les alternatives proposades han estat incloure un selector aerobi, un selector anòxic o un selector anaerobi.

*Selector aerobi*

El selector aerobi consisteix en un tanc airejat de mescla completa situat a l'inici d'un reactor biològic que té un baix temps de residència hidràulic, una elevada càrrega massica i, oxígens iguals o superiors a  $2 \text{ mg l}^{-1}$ . Aquest tipus de selector no requereix recirculació interna (WEF, 1992).

*Selector anòxic*

El selector anòxic consisteix en un tanc que no té cap tipus d'aeració, però sí de barreja. Aquest tipus de selector només es pot utilitzar al capdavant d'un reactor on s'hi produeixi la reacció de nitrificació i retorni els nitrats cap al selector. A més de la recirculació externa, necessita una recirculació interna amb presència de nitrats, que s'utilitzen d'acceptors finals d'electrons. Així doncs, aquests tipus de selectors es poden utilitzar per completar el procés de desnitrificació (WEF, 1992).

### Selector anaerobi

El selector anaerobi, igual que l'anòxic, no té aeració però té barreja. Pel que fa a la recirculació, només és necessària l'externa, ja que no s'han de fer recircular nitrats. Aquests tipus de selectors es poden utilitzar per eliminar fòsfor (WEF, 1992).

#### (3) Criteris d'avaluació

Els criteris triats per avaluar aquestes alternatives són:

- C1-1 Consum energètic ( $\text{kWh} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen
- C2-7 Compatibilitat entre unitats
- C4-1 Cost de construcció ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-2 Cost d'operació ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-3 Cost de manteniment ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-4 Cost material ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-5 Cost energètic ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

#### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats de consum energètic i cost de construcció, operació, manteniment, material i energètic són deguts a la construcció i operació de la unitat avaluada.

Per altra banda, els resultats del criteri C2-7 es refereix a la compatibilitat entre el tipus de selector proposat i la funció del reactor biològic escollit a la primera decisió del procés de disseny.

Els resultats dels criteris consum energètic i cost econòmic de la unitat s'han obtingut mitjançant el programa CapdetWorks. Els paràmetres utilitzats per configurar les alternatives proposades es troben a la secció 8.2 dels annexos.

La flexibilitat per eliminar nitrogen i la compatibilitat entre unitats s'ha obtingut de manuals de disseny i reunions amb experts. A la Taula 4-26 s'observen els resultats obtinguts de la quantificació de criteris.

Taula 4-26 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D8-Tipus de selector

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Aerobi</b>	<b>Anòxic</b>	<b>Anaerobi</b>
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	2.620.600	214.000	176.000
C2-1	Flexibilitat per eliminar nitrogen		0	1	0
C2-7	Compatibilitat entre unitats		1	0	1
C4-1	Cost de construcció	€ · any	1.870.000	891.000	163.000
C4-2	Cost d'operació	€ · any	66.500	28.000	25.400
C4-3	Cost de manteniment	€ · any	34.900	14.600	22.000
C4-4	Cost material	€ · any	37.000	4.380	86.800
C4-5	Cost energètic	€ · any	245.000	52.000	14.100

El selector aerobi té un consum energètic superior al dels altres dos tipus de selector degut a l'aeració. L'anòxic té un consum energètic més elevat que l'anaerobi a causa del consum energètic addicional de la recirculació interna per recircular els nitrats des de l'últim compartiment del reactor biològic fins al selector.

El reactor anòxic presenta més flexibilitat per eliminar nitrogen en un futur. Els selectors aerobi i anaerobi són compatibles amb el tipus de reactor escollit perquè en els objectius de disseny no s'ha considerat l'eliminació de nitrogen i en el cas del selector anòxic seria necessària la formació de nitrats.

El cost de construcció, operació, manteniment, material i energètic del selector aerobi és superior al de la resta de selectors a causa de la instal·lació i el manteniment de les turbines o difusors necessaris per a l'aeració del sistema.

- Normalització

Per solucionar aquesta decisió s'han construït funcions de valor per als criteris C1-1 i C4 (Taula 4-27).

Taula 4-27 Funcions de valor dels criteris C1-1, C4 a la decisió D8-Tipus de Selector.

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Consum energètic (kWh · any <sup>-1</sup> )	2.620.600	0	$y = -4 \cdot 10^{-7}x + 1$
C4	Cost econòmic total (€ · any <sup>-1</sup> )	2.253.400	0	$y = -4 \cdot 10^{-7}x + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris (Taula 4-28).

Taula 4-28 Suma ponderada per prendre la decisió D8-Tipus de selector.

	<b>Criteris</b>	<b>Aerobi</b>	<b>Anòxic</b>	<b>Anaerobi</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	0	0,9	0,93	1
C2-1	Flexibilitat per eliminar nitrogen	0	1	0	0,8
C2-7	Compatibilitat entre unitats	1	0	1	0,8
C4	Cost econòmic total	0	0,56	0,86	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>0,8</b>	<b>1,92</b>	<b>2</b>	

#### (5) Selecció de l'alternativa

El selector recomanat és l'anaerobi degut a que s'ajusta més al procés de tractament del reactor biològic escollit a la primera decisió del procés de disseny, a més de presentar un consum energètic i cost econòmic total inferior a les altres alternatives proposades.

#### 4.3.2 Línia d'aigües: secció prèvia al reactor

Un cop s'han seleccionat les unitats que configuren la secció del reactor, es seleccionen les unitats que configuren la secció prèvia a aquest. Dins aquesta secció es decideix si s'ha d'incloure decantador primari o no s'ha d'incloure, quina geometria ha de tenir el decantador primari, si s'ha d'incloure homogeneïtzador o no s'ha d'incloure, si s'ha d'incloure dessorrador o no s'ha d'incloure, quin tipus de dessorrador s'hi ha d'incloure i si s'ha d'incloure desbast de fins i grollers o no s'hi ha d'incloure.

### D9- Decantador primari

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: s'hi ha d'incloure decantació primària?

La decantació consisteix en la separació de les partícules en suspensió que conté l'aigua residual. Aquestes partícules decanten per gravetat, perquè tenen un pes superior al de l'aigua residual. En el cas de la decantació primària la sedimentació és de tipus floculant. Aquest tipus de sedimentació es dona quan les partícules interfereixen les unes amb les altres, la velocitat de sedimentació depèn d'altres factors, com ara el grau d'agregació, la mida i les característiques superficials de les partícules (Metcalf i Eddy, 2003).

(2) Proposta d'alternatives

Les alternatives que s'han de tenir en compte són: incloure-hi decantació primària o bé no incloure-la.

(3) Tria de criteris

Els criteris triats per avaluar aquestes alternatives són:

- C2-11 Eficiència d'eliminació de SS (%)
- C3-3 Olor
- C4 Cost econòmic total ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

(4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats dels criteris C2-11 i C3-3 són deguts a l'eliminació de SS i les olors generades per la unitat avaluada respectivament. Per altra banda, el cost econòmic total és el resultat de la construcció i operació de totes les unitats que formen part de l'EDAR dissenyada fins arribar a aquesta decisió. Cal tenir en compte que s'ha inclòs la unitat de decantació secundària tot i no haver-se seleccionat encara. Això és degut a que aquesta unitat és necessària per avaluar l'operació del procés.

L'eficiència d'eliminació i el cost econòmic del projecte s'han obtingut mitjançant el programa CapdetWorks. Els paràmetres utilitzats per configurar el decantador primari es poden observar a la secció 8.2 dels annexos. Per avaluar l'alternativa d'incloure decantació primària s'ha configurat

un decantador primari circular i un de rectangular i s'han utilitzat els valors mitjos dels dos resultats. Pel que fa a la informació referent a les olors, s'ha obtingut consultant manuals de disseny i fent reunions amb experts. A la Taula 4-29 s'observen els resultats obtinguts.

Taula 4-29 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D9-  
Decantador primari

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
C2-11	Eficiència d'eliminació de SS	%	65	0
C3-3	Olors		0	0,8
C4	Cost econòmic total	€ · any <sup>-1</sup>	28.100.000	38.400.000

El fet d'incloure la decantació primària representa una eliminació de sòlids en suspensió important i una reducció del cost econòmic del projecte degut a que el cost de construcció i manteniment de les unitats posteriors del procés disminueix. Per contra, moltes vegades és un problema a causa de les males olors que genera.

- Normalització

A la Taula 4-30 es poden observar les funcions de valor utilitzades per normalitzar d'1 a 0 els resultats obtinguts per als criteris d'eficiència d'eliminació i el cost econòmic del projecte.

Taula 4-30 Funcions de valor dels criteris C2-11 i C4 de la decisió D9-Decantador primari

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C2-11	Eficiència d'eliminació de SS	0	100	$y = 0,01x$
C4	Cost econòmic total	38.400.000	0	$y = -3 \cdot 10^{-8} \times + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-31) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-31 Suma ponderada per prendre la decisió D9-Decantador primari

	<b>Criteris</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Pes</b>
C2-11	Eficiència d'eliminació SS	0,65	0	0,8
C3-3	Olors	0	0,8	0,6
C4	Cost econòmic total	0,27	0	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>0,62</b>	<b>0,48</b>	

**(5) Selecció de l'alternativa**

Tot i el possible despreniment d'olors de la decantació primària, s'ha decidit incloure-la per eliminar els sòlids en suspensió continguts a l'aigua residual d'entrada abans de que entri al reactor biològic i d'aquesta manera disminuir el cost econòmic de les unitats posteriors de l'EDAR.

**D10- Geometria del decantador primari**

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: quina ha de ser la geometria del decantador primari?

Hi ha diferents tipus de decantadors. Lla diferència més important entre els diferents tipus existents i que condiciona moltes de les altres característiques és la seva geometria.

**(2) Proposta d'alternatives**

Les alternatives proposades per decidir la geometria del decantador primari a incloure són:

*Decantador rectangular*

El decantador rectangular presenta l'alimentació de l'aigua residual en un dels costats del decantador, mentre que l'aigua clarificada surt pel costat oposat.

Pel que fa a les mides típiques, van de 15 m a 90 m de llargada i de 3 m a 24 m d'amplada. Normalment la fondària no excedeix de 2 m. L'experiència demostra que els decantadors de tipus rectangular de mides considerables són més eficients que els decantadors de tipus circular de les mateixes dimensions, especialment si els diàmetres d'aquests últims excedeixen els 38 m (WEF, 1992).

Decantador circular

El decantador circular presenta l'alimentació de l'aigua residual al centre del decantador, mentre que l'aigua clarificada surt per la perifèria. Pel que fa a les mides, els diàmetres d'aquests tancs poden ser des de 3 m fins a 90 m. Normalment la fondària és de 2,4 m a 4 m (WEF, 1992).

## (3) Tria de criteris

Els criteris triats per avaluar les alternatives proposades són els següents:

- C3-2 Volum ( $m^3$ )
- C4-1 Cost de construcció ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-2 Cost d'operació ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-3 Cost de manteniment ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-4 Cost material ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-5 Cost energètic ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

## (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats dels criteris triats es refereixen a la unitat de decantació avaluada. Els resultats de quantificar els criteris s'han obtingut amb el programa CapdetWorks (Taula 4-32). A la secció 8.2 dels annexos s'observen els paràmetres utilitzats per configurar les unitats avaluades.

Taula 4-32 Quantificació dels criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D10-  
Geometria del decantador

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Circular</b>	<b>Rectangular</b>
C3-2	Volum	$m^3$	2.320	1.040
C4-1	Cost de construcció	$\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$	441.000	544.000
C4-2	Cost d'operació	$\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$	15.500	15.500
C4-3	Cost de manteniment	$\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$	6.950	6.950
C4-4	Cost material	$\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$	4.410	4.410
C4-5	Cost energètic	$\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$	754	754

El decantador circular necessita un volum superior del rectangular per obtenir el mateix rendiment. El cost econòmic del decantador rectangular és superior al del circular a causa del



cost de construcció. Això és degut al fet que la instal·lació per eliminar els flotants de la superfície del decantador és més complexa.

- Normalització

A la taula següent (Taula 4-33) es presenten les funcions de valor per als criteris C3-2 i C4.

Taula 4-33 Funcions de valor dels criteris C3-2 i C4 a la decisió D10-Geometria del decantador primari

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>FUNCIÓ</b>
C3-2	Volum (m <sup>3</sup> )	2.320	0	$y = -4,3 \cdot 10^4 x + 1$
C4	Cost econòmic de l'alternativa (€ · any <sup>-1</sup> )	571.614	0	$y = -2 \cdot 10^{-6} x + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-34) es poden observar els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-34 Suma ponderada per prendre la decisió D10-Geometria del decantador primari

	<b>Criteris</b>	<b>Circular</b>	<b>Rectangular</b>	<b>Pes</b>
C3-2	Volum	0	0,55	0,6
C4	Cost total de l'alternativa	0,18	0	0,4
	<b>RESULTAT</b>	0,07	0,33	

### (5) Selecció de l'alternativa

En aquest cas s'ha decidit incloure decantador rectangular perquè s'ha considerat que el cost econòmic és menys important que el volum que ocupa.

## D11- Homogeneïtzador

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: s'hi ha d'incloure un homogeneïtzador?

L'objectiu principal d'instal·lar un homogeneïtzador en una EDAR és suavitzar les puntes de cabal d'entrada d'aigua residual i, per tant, aconseguir que el cabal d'entrada sigui gairebé constant en les unitats de tractament posteriors. Al mateix temps també s'aconsegueix una càrrega contaminant d'entrada més uniforme (WEF, 1992).

## (2) Proposta d'alternatives

Les alternatives proposades per solucionar aquesta qüestió són la d'incloure homogeneïtzador o no incloure'l.

## (3) Tria de criteris

Els criteris triats per avaluar les alternatives proposades són els següents:

- C1-1 Consum energètic (kWh · any<sup>-1</sup>)
- C2-8 Control del procés
- C4 Cost econòmic total (€ · any<sup>-1</sup>)

## (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats obtinguts del consum energètic són deguts a l'aeració del reactor biològic i els resultats obtinguts del cost econòmic total són deguts al cost de construcció i operació de totes les unitats que conformen l'EDAR dissenyada fins arribar a aquesta decisió. Cal tenir en compte que també s'inclou el decantador secundari, no seleccionat encara però necessari per tal d'avaluar l'operació del procés.

El cost econòmic total i el cost energètic del reactor biològic s'han obtingut mitjançant el programa CapdetWorks. Els paràmetres utilitzats per configurar les alternatives es poden trobar a la secció 8.2 dels annexos. La Taula 4-35 mostra els resultats obtinguts de realitzar la quantificació de criteris.

Taula 4-35 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D11-Homogeneïtzador

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	544.000	601.000
C2-8	Control del procés		1	0
C4	Cost econòmic total	€ · any <sup>-1</sup>	34.800.000	28.300.000

El consum energètic degut a l'aeració del reactor biològic disminueix lleugerament amb la instal·lació d'un homogeneïtzador perquè les puntes de cabal i de càrrega se suavitzen i, per tant, el consum d'oxigen disminueix. El fet d'incloure-hi homogeneïtzador permet augmentar el

control del procés i per últim, tot i que el consum energètic disminueix, el cost econòmic total augmenta en incloure-hi l'homogeneïtzador.

- Normalització

S'han construït dues funcions de valor, una per al cost d'inversió del projecte i l'altra per al consum energètic del reactor (Taula 4-36).

Taula 4-36 Funcions de valor dels criteris C1-1 i C4 a la decisió D11-Homogeneïtzador.

	<b>Criteris</b>	<b>y=0</b>	<b>y=1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Consum energètic (kWh · any <sup>-1</sup> )	601.000	0	$y = -2 \cdot 10^{-6}x + 1$
C4	Cost econòmic total (€ · any <sup>-1</sup> )	34.800.000	0	$y = -3 \cdot 10^{-8}x + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-37) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-37 Suma ponderada per prendre la decisió D11-Homogeneïtzador

	<b>Criteris</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	0,09	0	1
C2-8	Control del procés	1	0	0,8
C4	Cost econòmic total	0	0,19	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>0,89</b>	<b>0,08</b>	

(5) Selecció de l'alternativa

Finalment es recomana incloure-hi un homogeneïtzador perquè amb els pesos aplicats es dona més importància al control del procés que al cost econòmic.

## D12- Dessorrador

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: s'hi ha d'incloure dessorrador?

Els dessorradors separen tot tipus de sòlids amb una velocitat de sedimentació elevada i superior al de la mateixa matèria orgànica. Els dessorradors tenen dos objectius principals: (1) evitar que productes abrasius segueixin la línia d'aigües cap endavant i produeixin un desgast

prematur de les unitats posteriors, i (2) evitar sedimentacions i dipòsits permanents de sòlids a les canonades i unitats posteriors (Metcalf i Eddy, 2003).

### (2) Proposta d'alternatives

S'hi ha d'incloure dessorrador o no s'hi ha d'incloure.

### (3) Tria de criteris

- C1-1 Consum energètic ( $\text{kWh} \cdot \text{m}^3$ )
- C2-16 Eficiència d'eliminació de sorres i greixos
- C4 Cost econòmic total ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats del consum energètic són deguts a l'aeració del reactor biològic, els resultats de l'eficiència d'eliminació de sorres i greixos són referents a l'eficiència aconseguida amb la unitat proposada i els resultats del cost econòmic total són deguts al cost de construcció i operació de totes les unitats que conformen l'EDAR dissenyada fins arribar a aquesta decisió. Cal tenir en compte que també s'inclou el decantador secundari, no seleccionat encara però necessari per d'avaluar l'operació del procés.

El consum energètic del reactor biològic i el cost econòmic total de l'EDAR s'han obtingut mitjançant el programa CapdetWorks (Taula 4-38). Els resultats obtinguts són la mitjana de configurar un dessorrador tipus airejat i un dessorrador de flux horitzontal. Els paràmetres de disseny que s'han utilitzat es troben a la secció 8.2 dels annexos.

Taula 4-38 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D12- Dessorrador.

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
C1-1	Consum energètic	$\text{kWh} \cdot \text{any}^{-1}$	544.000	544.000
C2-16	Eficiència d'eliminació de sorres i greixos		1	0
C4	Cost econòmic total	$\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$	36.200.000	34.800.000

El fet d'incloure un dessorrador a l'EDAR no disminueix el consum energètic del reactor però s'eliminen sorres i greixos. Pel que fa al cost econòmic total del projecte augmenta lleugerament degut al fet d'incloure una nova unitat al diagrama de flux. tot i això, el manteniment d'algunes unitats posteriors disminuirà degut a que s'evitarà el desgast prematur de les unitats posterior.

- Normalització

A continuació (Taula 4-39) es presenten les funcions de valor utilitzades per normalitzar els resultats obtinguts per al cost energètic i el cost econòmic total.

Taula 4-39 Funcions de valor dels criteris C1-1 i C4 a la decisió D12-Dessorrador

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Cost energètic (kWh · m <sup>3</sup> )	544.000	0	$y = -2 \cdot 10^{-6} x + 1$
C4	Cost econòmic total (€ · any <sup>-1</sup> )	36.200.000	0	$y = -2,7 \cdot 10^{-8} x + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-40) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-40 Suma ponderada per prendre la decisió D12-Dessorrador.

	<b>Criteris</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	0	0	1
C2-16	Eficiència d'eliminació de sorres i greixos	1	0	0,8
C4	Cost econòmic total	0	0,04	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>0,8</b>	<b>0,02</b>	

### (5) Selecció de l'alternativa

Es recomana incloure-hi un dessorrador encara que no s'aconsegueixin consums energètics inferiors al reactor biològic i el cost econòmic del projecte augmenti. Es creu més important l'eliminació de sorres i greixos a l'etapa de pretractament.

### D13- Tipus de dessorrador

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: quin tipus de dessorrador s'hi ha d'incloure?

## (2) Proposta d'alternatives

Les alternatives proposades per de decidir quin tipus de dessorrador s'hi ha d'incloure són les següents:

### Dessorrador tipus airejat

El mecanisme de funcionament del dessorrador de tipus airejat consisteix a introduir aire mitjançant airejadors submergibles. El disseny d'aquest tipus de dessorrador deriva de l'experiència obtinguda en reactors biològics airejats on hi havia dipòsits de sorres (Metcalf i Eddy, 2003).

### Dessorrador de flux horitzontal

En aquest tipus de dessorrador el flux travessa el dessorrador en sentit horitzontal. Per dimensionar aquest tipus de dessorrador, hi intervenen els factors següents: velocitat horitzontal, velocitat vertical i altura del sobreexidor (Metcalf i Eddy, 2003).

## (3) Tria de criteris

Els criteris triats per avaluar les alternatives proposades són els següents:

- C2-16 Eficiència d'eliminació de sorres i greixos
- C4-1 Cost de construcció ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-2 Cost d'operació ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-3 Cost de manteniment ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-4 Cost material ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-5 Cost energètic ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

## (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats dels criteris triats es refereixen a la unitat de dessorrador avaluada. Els resultats referents al cost econòmic s'han obtingut del programa CapdetWorks. Els paràmetres utilitzats per configurar cadascuna de les alternatives proposades han estat els que presenta el programa per defecte (vegeu secció 8.2 dels annexos). La Taula 4-41 mostra els resultats obtinguts de la quantificació de criteris.

Taula 4-41 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D13-Tipus de dessorrador

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Airejat</b>	<b>Flux horitzontal</b>
C2-16	Eficiència d'eliminació de sorres i greixos		1	0,5
C4-1	Cost de construcció	€ · any <sup>-1</sup>	574.000	574.000
C4-2	Cost d'operació	€ · any <sup>-1</sup>	26.300	26.300
C4-3	Cost de manteniment	€ · any <sup>-1</sup>	11.600	11.600
C4-4	Cost material	€ · any <sup>-1</sup>	0	0
C4-5	Cost energètic	€ · any <sup>-1</sup>	3.070	3.070

El dessorrador tipus airejat és més eficient en l'eliminació de sorres i greixos que el dessorrador de flux horitzontal mentre que tots dos presenten el mateix cost econòmic.

- Normalització

A la taula següent (Taula 4-42) es pot observar la funció de valor del cost econòmic.

Taula 4-42 Funció de valor del criteri C4 a la decisió D13-Tipus de dessorrador

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C4	Cost econòmic (€ · any <sup>-1</sup> )	614.970	0	$y = -2 \cdot 10^{-6}x + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-43) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions de valor construïdes a l'etapa anterior i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-43 Suma ponderada per prendre la decisió D13-Tipus de dessorrador

	<b>Criteris</b>	<b>Airejat</b>	<b>Flux horitzontal</b>	<b>Pes</b>
C2-16	Eficiència d'eliminació de sorres i greixos	1	0,5	0,8
C4	Cost econòmic de l'alternativa	0	0	0,4
	<b>RESULTAT</b>	0,8	0,4	

**(5) Selecció de l'alternativa**

Es tria l'alternativa del dessorrador tipus airejat perquè amb el mateix cost econòmic aconseguix una eficiència superior d'eliminació de sorres.

**D14- Desbast de fins i grollers**

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: s'hi ha d'incloure el desbast de fins i de grollers?

El desbast de fins i grollers normalment es realitza mitjançant reixes. Les reixes representen el tractament més antic aplicat a l'aigua residual. L'objectiu de les reixes és eliminar els sòlids més voluminosos presents a l'aigua residual per protegir les unitats de tractament posteriors existents (Metcalf i Eddy, 2003).

**(2) Proposta d'alternatives**

Les alternatives proposades són incloure el desbast de fins i grollers o no incloure'l.

**(3) Tria de criteris**

Els criteris triats per avaluar les alternatives proposades són els següents:

- C1-1 Consum energètic ( $\text{kWh} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4 Cost econòmic total ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

**(4) Avaluació d'alternatives**

- Quantificació de criteris

Els resultats referents al consum energètic són deguts a l'aeració del reactor biològic i els resultats del cost econòmic total són deguts al cost de construcció i operació de totes les unitats



que conformen l'EDAR dissenyada fins arribar a aquesta decisió. Cal tenir en compte que també s'inclou el decantador secundari, no seleccionat encara però necessari per avaluar l'operació del procés.

Els resultats referents al consum energètic del reactor biològic i al cost econòmic s'han obtingut mitjançant el programa CapdetWorks (Taula 4-44). A la secció 8.2 dels annexos s'hi poden observar els paràmetres utilitzats per configurar les alternatives proposades.

Taula 4-44 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D14-Desbast de fins i grollers

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	384.000	544.000
C4	Cost econòmic total	€ · any <sup>-1</sup>	39.500.000	34.800.000

El fet d'incloure-hi desbast de fins i grollers disminueix el consum energètic en el reactor biològic però, en canvi, augmenta el cost econòmic del conjunt d'unitats que conformen l'EDAR fins arribar a aquesta decisió.

- Normalització

A continuació (Taula 4-45) s'observen les funcions de valor del cost energètic i el cost total de l'EDAR.

Taula 4-45. Funcions de valor dels criteris C1-1 i C4 a la decisió D14-Desbast de fins i grollers

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Cost energètic (kWh · m <sup>3</sup> )	544.000	0	$y = -2 \cdot 10^{-6} \times + 1$
C4	Cost econòmic total (€ · any <sup>-1</sup> )	39.500.000	0	$y = -3 \cdot 10^{-8} \times + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-46) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-46 Suma ponderada per prendre la decisió D14-Desbast de fins i grollers

Criteris		Sí	No	Pes
C1-1	Consum energètic	0,29	0	1
C4	Cost econòmic total	0	0,12	0,4
RESULTAT		0,29	0,05	

#### (5) Selecció de l'alternativa

L'alternativa recomanada és incloure desbast de fins i grollers perquè s'aconsegueix un estalvi energètic al reactor biològic mentre que el cost econòmic total és pràcticament el mateix.

### 4.3.3 Línia d'aigües: secció posterior al reactor

Un cop s'han configurat la secció del reactor i la prèvia a aquest, es seleccionen les unitats que configuren la secció posterior al reactor. A la secció posterior al reactor es decideix la geometria del decantador secundari i si s'ha d'incloure recirculació interna o no s'ha d'incloure.

#### D15- Geometria del decantador secundari

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: quina geometria ha de tenir el decantador secundari?

La decantació secundària és imprescindible perquè un sistema de fangs activat en suspensió funcioni correctament. L'objectiu d'aquest procés és separar els sòlids en suspensió (MLSS) de l'aigua residual tractada. Al mateix temps que aquests sòlids en suspensió se separen de l'aigua tractada, també es concentren per retornar-los al tanc d'aeració o bé purgar-los del sistema. L'eficiència de la decantació secundària és important per assolir els nivells dels paràmetres de sortida proposats (Metcalf i Eddy, 2003).

(2) Proposta d'alternatives

Les alternatives proposades són incloure decantació secundària amb geometria circular o decantació secundària amb geometria rectangular.

(3) Tria de criteris

Els criteris triats per avaluar les alternatives són els següents:

- C3-2 Volum (m<sup>3</sup>)

- C4-1 Cost de construcció (€)
- C4-2 Cost d'operació (€ · any<sup>-1</sup>)
- C4-3 Cost de manteniment (€ · any<sup>-1</sup>)
- C4-4 Cost material (€ · any<sup>-1</sup>)
- C4-5 Cost energètic (€ · any<sup>-1</sup>)

#### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats obtinguts dels criteris triats es refereixen a les unitats avaluades. El volum i el cost de construcció, operació, manteniment, material i energètic s'ha obtingut mitjançant el programa CapdetWorks. A la Taula 4-47 es mostren els resultats obtinguts de quantificar els criteris triats.

Taula 4-47 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D15-  
Geometria del decantador secundari

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Circular</b>	<b>Rectangular</b>
C3-2	Volum	m <sup>3</sup>	4.950	2.020
C4-1	Cost de construcció	€ · any <sup>-1</sup>	682.000	961.000
C4-2	Cost d'operació	€ · any <sup>-1</sup>	23.300	23.000
C4-3	Cost de manteniment	€ · any <sup>-1</sup>	10.900	10.900
C4-4	Cost material	€ · any <sup>-1</sup>	6.820	9.610
C4-5	Cost energètic	€ · any <sup>-1</sup>	845	845

El decantador de configuració circular ocupa més volum que el rectangular. En canvi, el reactor de configuració rectangular presenta un cost de construcció i material més elevat que el decantador de configuració circular.

- Normalització

A la Taula 4-48 es presenten les funcions de valor del cost econòmic total i el volum.

Taula 4-48 Funcions de valor dels criteris C3-2 i C4 a la decisió D15-Geometria del decantador secundari

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C3-2	Volum (m <sup>3</sup> )	4950	0	$y = -2 \cdot 10^{-4}x + 1$
C4	Cost econòmic (€ · any <sup>-1</sup> )	1.005.355	0	$y = -1 \cdot 10^{-6}x + 1$

- Suma ponderada

A la taula Taula 4-49 s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-49 Suma ponderada per prendre la decisió D15-Geometria del decantador secundari

	<b>Criteris</b>	<b>Circular</b>	<b>Rectangular</b>	<b>Pes</b>
C3-2	Volum	0	0,6	0,6
C4	Cost econòmic total	0,28	0	0,4
	<b>RESULTAT</b>	0,12	0,36	

## (5) Selecció de l'alternativa

L'alternativa recomanada és incloure un decantador de configuració rectangular. Degut als pesos aplicats es considera més important el volum que el cost econòmic total.

**D16- Recirculació interna**

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: s'hi ha d'incloure recirculació interna?

La recirculació externa necessària per retornar el fang activat decantat en el decantador secundari al reactor biològic ja és inclosa per defecte. En canvi, es qüestiona la possibilitat d'incloure recirculació interna per retornar el fang activat de l'últim compartiment del reactor biològic al primer compartiment o al selector inclòs a la decisió D7.

## (2) Proposta d'alternatives

Les alternatives proposades són incloure recirculació interna o no incloure'n'hi.

## (3) Tria de criteris

Els criteris triats per avaluar les alternatives són:

- C1-1 Consum energètic
- C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen
- C2-7 Compatibilitat entre unitats
- C4 Cost econòmic total

#### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats dels criteris consum energètic i cost econòmic es refereixen al conjunt d'unitats que formen part de l'EDAR dissenyada fins arribar a aquesta decisió. Els resultats del criteri C2-7 es refereixen a la compatibilitat d'incloure recirculació interna i el procés d'eliminació que porta a terme el reactor escollit prèviament.

Tots els resultats dels criteris són de tipus qualitatiu i assignen d'1 a 0 amb l'ajut de manuals de disseny i reunions amb experts (vegeu Taula 4-50).

- Normalització

En aquest cas no cal normalitzar els criteris.

- Suma ponderada

A continuació (Taula 4-50) es presenta l'aplicació de la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-50 Suma ponderada per prendre la decisió D16-Recirculació interna

Criteris		Si	No	Pes
C1-1	Consum energètic	0	1	1
C2-1	Flexibilitat per eliminar nitrogen	1	0	0,8
C2-7	Compatibilitat entre unitats	0	1	0,8
C4	Cost econòmic total	0	1	0,4
RESULTAT		0,8	2,2	

(5) Selecció de l'alternativa

S'ha escollit l'alternativa de no incloure-hi recirculació interna perquè no hi ha la necessitat de retornar el fang activat a l'inici del reactor biològic o al selector. El reactor seleccionat no està configurat per eliminar nitrogen ni fòsfor.

#### 4.3.4 Línia de fangs: secció del reactor

Fins aquí s'ha configurat tota la línia d'aigües de l'EDAR. A continuació es porta a terme la configuració de la línia de fangs. La selecció de les unitats que formaran part de la línia de fangs també comença per la secció del reactor. Dins la secció del reactor es decideix el tipus d'estabilització que s'hi ha d'incloure.

#### D17- Estabilització

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: quin tipus d'estabilització s'hi ha d'incloure?

Tot i que hi ha EDARs que no presenten sistemes d'estabilització de fangs, tenint en compte les característiques descrites a la informació de partida del cas d'estudi i la legislació vigent en matèria de tractament de fangs (vegeu els objectius), s'ha decidit incloure-hi un sistema d'estabilització de fang sense avaluar la decisió d'incloure-l'hi o no.

El fang s'estabilitza amb el propòsit de descompondre la matèria orgànica i transformar-la en un producte final prou estable per poder-lo manipular, assecar i transportar posteriorment al seu destí final.

Mitjançant el procés d'estabilització també s'aconsegueix disminuir el volum del fang gràcies al despreniment dels components volàtils presents en els sòlids orgànics, reduir els patògens i evitar problemes d'olors (Metcalf i Eddy, 2003).

(2) Proposta d'alternatives

Els processos més utilitzats per estabilitzar el fang són la digestió anaeròbia i la digestió aeròbia.

#### Digestió anaeròbia

La digestió anaeròbia es porta a terme sense presència d'oxigen. El fang s'escalfa mitjançant intercanviadors de calor i a mesura que es va digerint, va alliberant gas. Quan el gas puja cap a la superfície del digestor, s'emporta partícules de fang, greixos i olis que formen, finalment, una

capa d'espumes. Com a resultat de la digestió, el fang es torna més mineralitzat i s'espesseix per gravetat. Al mateix temps, això genera la formació d'una capa de sobrenedant per sobre del llot digerit.

Els microorganismes causants de la descomposició de la matèria orgànica en la digestió aneròbia es divideixen en dos grups. El primer grup hidrolitza i fermenta compostos orgànics complexos en àcids simples. Aquest grup de microorganismes està format per bacteris facultatius i anaerobis, anomenats bacteris formadors d'àcids. El segon grup transforma els àcids orgànics obtinguts pel primer grup en gas metà i anhídrid carbònic. Els bacteris responsables d'aquesta transformació són anaerobis estrictes i se'ls anomena bacteris formadors de metanogènics.

L'estabilització real del residu es produeix quan es transformen els àcids orgànics en metà i anhídrid carbònic. El gas metà és insoluble i, per tant, el fet de separar-se de la solució representa l'estabilització real del residu (Metcalf i Eddy, 2003).

### Digestió aeròbia

La digestió aeròbia descompon la matèria orgànica mitjançant l'aportació d'aire fins a aconseguir un producte estable. La digestió aeròbia és similar al procés de fangs activats. Un cop s'ha esgotat l'aportació de substrat disponible (aliment), els microorganismes comencen a consumir el seu propi protoplasma per obtenir l'energia necessària per mantenir les seves cèl·lules. Aquest procés s'anomena respiració endògena. El teixit cel·lular s'oxida aeròbiament en anhídrid carbònic, aigua i amoníac. L'amoníac resultant d'aquesta oxidació es torna a oxidar en nitrat en continuar la digestió. Només es pot oxidar un 75-80% del teixit cel·lular, ja que el 20-25% restant està constituït per compostos orgànics i component inerts que no són biodegradables (Metcalf i Eddy, 2003).

### (3) Tria de criteris

- C1-1 Consum energètic (kWh · any<sup>-1</sup>)
- C2-12 Eficiència d'eliminació de SSV (%)
- C2-13 Sequedat del fang (%)
- C2-14 Eficiència d'eliminació de patògens

- C3-2 Volum ( $m^3$ )
- C3-3 Olor
- C4-1 Cost de construcció ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-2 Cost d'operació ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-3 Cost de manteniment ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-4 Cost material ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-5 Cost energètic ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

#### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats dels criteris triats es refereixen a les alternatives avaluades en aquesta decisió. El consum energètic, l'eficiència d'eliminació de sòlids volàtils, la sequedat del fang, el volum i el cost econòmic s'han obtingut mitjançant el programa CapdetWorks. Els paràmetres utilitzats per configurar les alternatives proposades es poden observar a la secció 8.2 dels annexos. La quantificació dels criteris despreniment d'olors i eliminació de patògens s'ha obtingut mitjançant reunions amb experts i consultant manuals de disseny. La taula Taula 4-51 presenta els resultats obtinguts de quantificar aquests criteris.



Taula 4-51 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D17-Estabilització

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Digestió Anaeròbia</b>	<b>Digestió aeròbia</b>
C1-1	Consum energètic	kWh·any <sup>-1</sup>	276.000	980.000
C2-12	Eficiència d'eliminació de SSV	%	15	0,58
C2-13	Sequedat del fang	%	5	2,5
C2-14	Eliminació de patògens		1	0,5
C3-2	Volum	m <sup>3</sup>	16.600	8.880
C3-3	Olors		0	0,5
C4-1	Cost de construcció	€·any <sup>-1</sup>	5.130.000	2.220.000
C4-2	Cost d'operació	€·any <sup>-1</sup>	54.500	84.600
C4-3	Cost de manteniment	€·any <sup>-1</sup>	30,400	46,100
C4-4	Cost material	€·any <sup>-1</sup>	20,800	42,700
C4-5	Cost energètic	€·any <sup>-1</sup>	25,800	78,400

La digestió aeròbia té un consum energètic superior al de l'anaeròbia a causa de l'aportació d'aire. La digestió anaeròbia presenta una major eficiència d'eliminació de sòlids volàtils i sequedat del fang (WEF, 1992).

Pel que fa al volum, la digestió anaeròbia ocupa un volum més elevat que la digestió aeròbia degut a que la digestió anaeròbia necessita un temps de residència hidràulic més elevat per portar a terme el procés d'estabilització que la digestió aeròbia. La digestió anaeròbia també desprèn més olor que l'aeròbia (WEF, 1992).

Finalment, el cost de construcció de l'alternativa digestió anaeròbia és més elevat que el de l'alternativa digestió aeròbia. En canvi, el cost d'operació, de manteniment, material i energètic de l'alternativa digestió aeròbia és més elevat que el de l'alternativa digestió anaeròbia.

- Normalització

A la Taula 4-52 es poden observar les funcions de valor utilitzades per normalitzar d'1 a 0 els resultats obtinguts per als criteris de consum energètic, eficiència d'eliminació de sòlids volàtils, sequedat del fang, volum i cost econòmic total de cadascuna de les unitats proposades.

Taula 4-52. Funcions de valor dels criteris C1-1, C2-12, C2-13, C3-2 i C4 a la decisió D17-Estabilització

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Consum energètic (kWh · m <sup>-3</sup> )	980.000	0	$y = -1 \cdot 10^{-6}x + 1$
C2-12	Eficiència d'eliminació de SSV	0	100	$y = 0,01x$
C2-13	Sequedat del fang (%)	0	5	$y = 0,2x$
C3-2	Volum (m <sup>3</sup> )	16.600	0	$y = -6 \cdot 10^{-5}x + 1$
C4	Cost econòmic total (€ · any <sup>-1</sup> )	5.261.500	0	$y = -2 \cdot 10^{-7}x + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-53) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions de valor i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-53 Suma ponderada per prendre la decisió D17-Estabilització.

	<b>Criteris</b>	<b>Anaeròbia</b>	<b>Aeròbia</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	0,72	0	1
C2-12	Eficiència d'eliminació de SSV.	0,15	0	0,8
C2-13	Sequedat del fang	1	0,5	0,8
C2-14	Eliminació de patògens	1	0,5	0,8
C3-2	Volum	0	0,46	0,6
C3-3	Olors	0	0,5	0,6
C4	Cost total de la unitat	0	0,55	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>2,44</b>	<b>1,6</b>	

(5) Selecció de l'alternativa

L'alternativa que s'ha triat és digerir els fangs mitjançant digestió anaeròbia perquè els criteris amb resultats favorables a aquesta alternativa són els que tenen major pes en la decisió.

### 4.3.5 Línia de fangs: secció prèvia al reactor

Un cop s'ha decidit la configuració de la secció del reactor es seleccionen les unitats que formen part de la secció prèvia al reactor. A la secció prèvia al reactor es decideix quin tipus d'espessiment aplicar als fangs primaris i quin tipus d'espessiment aplicar als fangs secundaris.

L'espessiment del fang es pot aplicar conjuntament als fangs primaris i secundaris o bé per separat. Com que els fangs primaris i secundaris tenen característiques diferents, s'ha decidit avaluar per separat l'espessiment dels fangs primaris i secundaris. El fang primari generalment decanta més ràpidament que el fang secundari i és per aquesta raó que és relativament més fàcil d'espessir (Metcalf i Eddy, 2003).

#### D18- Espessiment de fangs primaris

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: quin tipus d'espessiment s'ha d'aplicar als fangs primaris?

L'espessiment del fang és un procés que s'utilitza per incrementar el percentatge total de sòlids mitjançant l'eliminació d'una part de la fracció líquida. Concentrant el fang s'aconsegueix reduir la càrrega volumètrica i augmentar l'eficiència de les unitats posteriors.

(2) Proposta d'alternatives

Les alternatives escollides per espessir els fangs primaris són l'espessiment per gravetat o per flotació.

#### Espessidors per gravetat

Els espessidors per gravetat s'alimenten centralment i de manera continuada. Per remoure el fang s'utilitzen mecanismes col·lectors de fang convencionals com els dels decantadors. La fracció líquida se separa del fang mitjançant uns canals i d'aquesta manera el fang es va compactant. Una vegada el fang s'ha compactat, s'extreu del fons de l'espessidor (Metcalf i Eddy, 2003).

### Espessidors per flotació

L'espessiment per flotació es porta a terme mitjançant la dissolució d'aire amb aigua a pressió. Un cop es despressuritza la solució, s'allibera l'aire dissolt en forma de bombolles fines que arrossegueu el fang fins a la part superior des d'on s'extreu (Metcalf i Eddy, 2003).

#### (3) Tria de criteris

Els criteris triats per avaluar les dues alternatives proposades són els següents:

- C1-1 Consum energètic ( $\text{kWh} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C1-2 Consum de productes químics ( $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$ )
- C2-13 Sequedat del fang (%)
- C3-2 Volum ( $\text{m}^3$ )
- C4-1 Cost de construcció ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-2 Cost d'operació ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-3 Cost de manteniment ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-4 Cost material ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-5 Cost energètic ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-6 Cost dels productes químics ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

#### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Els resultats dels criteris triats es refereixen a les unitats d'espessiment avaluades. El consum energètic, el consum de productes químics, la sequedat del fang, el volum i el cost de construcció, operació, manteniment, material, energètic i de productes químics s'han obtingut mitjançant el programa CapdetWorks.

A la secció 8.2 es poden observar els paràmetres utilitzats per configurar les alternatives proposades. A continuació es mostren els resultats obtinguts per a tots els criteris seleccionats (Taula 4-54).

Taula 4-54 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D18-Espessiment de fangs primaris.

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Gravetat</b>	<b>Flotació</b>
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	5.790	138.000
C1-2	Consum de productes químics	kg · d <sup>-1</sup>	0	1,05
C2-13	Sequedat del fang	%	5	4
C3-2	Volum	m <sup>3</sup>	191	217
C4-1	Cost de construcció	€ · any <sup>-1</sup>	80.900	409.000
C4-2	Cost d'operació	€ · any <sup>-1</sup>	5.320	33.800
C4-3	Cost de manteniment	€ · any <sup>-1</sup>	3.810	3.730
C4-4	Cost material	€ · any <sup>-1</sup>	809	4.160
C4-5	Cost energètic	€ · any <sup>-1</sup>	463	11.100
C4-6	Cost dels productes químics	€ · any <sup>-1</sup>	0	1.090

Tots els criteris obtenen més bons resultats amb l'alternativa d'espessir els fangs primaris per gravetat.

- Normalització

A la Taula 4-55 es poden observar les funcions de valor utilitzades per normalitzar d'1 a 0 els resultats obtinguts per als criteris de consum energètic, consum de productes químics, volum, sequedat i cost total de cadascuna de les unitats proposades.

Taula 4-55 Funcions de valor dels criteris C1-1, C1-2, C2-13, C3-2 i C4 a la decisió D18-Espessiment de fangs primaris

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Consum energètic (kWh · m <sup>-3</sup> )	138.000	0	$y = -7 \cdot 10^{-6} x + 1$
C1-2	Consum de productes químics (kg · d <sup>-1</sup> )	1,05	0	$y = -0,9524x + 1$
C2-13	Sequedat del fang (%)	0	5	$y = 0,2x$
C3-2	Volum (m <sup>3</sup> )	217	0	$Y = -4,6 \cdot 10^{-3} x + 1$
C4	Cost econòmic total (€ · any <sup>-1</sup> )	462.880	0	$y = -2 \cdot 10^{-6} x + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-56) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-56 Suma ponderada per prendre la decisió D18-Espessiment de fangs primaris

	<b>Criteris</b>	<b>Gravetat</b>	<b>Flotació</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	0,96	0	1
C1-2	Consum de productes químics	1	0	1
C2-13	Sequedat del fang	1	0,8	0,8
C3-2	Volum	0,12	0	0,6
C4	Cost de la unitat	0,8	0	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>3,15</b>	<b>0,64</b>	

(5) Selecció de l'alternativa

L'alternativa que s'ha triat per espessir els fangs primaris és l'espessiment per gravetat perquè és la que obté els millors resultats per a tots els criteris triats.

### **D19- Espessiment de fangs secundaris**

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: quin tipus d'espessiment s'ha d'aplicar als fangs secundaris?

Els fangs secundaris o fangs biològics són el resultat de la conversió de residus solubles en l'aigua residual. Generalment, aquests fangs són més difícils d'espessir.

(2) Proposta d'alternatives

Per espessir els fangs secundaris es proposen les mateixes alternatives que per espessir els fangs primaris: espessidor per gravetat i espessidor per flotació (vegeu la qüestió anterior).

(3) Tria de criteris

Per avaluar les unitats proposades per espessir els fangs secundaris, s'han seleccionat els mateixos criteris que per avaluar les unitats proposades per espessir els fangs primaris (vegeu la secció anterior).

## (4) Avaluació d'alternatives

Tots els resultats dels criteris triats es refereixen a la unitat avaluada en aquesta decisió. Tots els resultats (Taula 4-57) s'han obtingut mitjançant el programa CapdetWorks. Els paràmetres utilitzats per configurar cadascuna de les alternatives proposades es poden observar a la secció 8.2 dels annexos.

Taula 4-57 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D19-  
Espessiment de fangs secundaris

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Gravetat</b>	<b>Flotació</b>
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	9.630	681.000
C1-2	Consum de productes químics	kg · d <sup>-1</sup>	0	5,67
C2-13	Sequedat del fang	%	5	8
C3-2	Volum	m <sup>3</sup>	878	875
C4-1	Cost de construcció	€ · any <sup>-1</sup>	262.000	1.500.000
C4-2	Cost d'operació	€ · any <sup>-1</sup>	12.800	68.000
C4-3	Cost de manteniment	€ · any <sup>-1</sup>	2.620	10.700
C4-4	Cost material	€ · any <sup>-1</sup>	770	15.100
C4-5	Cost energètic	€ · any <sup>-1</sup>	24.700	54.500
C4-6	Cost dels productes químics	€ · any <sup>-1</sup>	0	5.940

El consum energètic i de productes químics d'espessir els fangs secundaris per gravetat és inferior al consum d'espessir-los per flotació degut a que no és necessària l'addició de reactiu com tampoc d'aeració.

La sequedat obtinguda d'espessir els fangs secundaris amb l'alternativa espessiment per flotació és superior a la d'espessir els fangs per gravetat.

El volum ocupat per una alternativa i l'altre és pràcticament el mateix degut a que el temps de residència hidràulic necessari varia molt poc. Finalment, l'espessiment per flotació dona com a resultat un cost econòmic més elevat que l'espessiment per gravetat.

- Normalització

A la Taula 4-58 es poden observar les funcions de valor utilitzades per normalitzar d'1 a 0 els resultats obtinguts per als criteris de consum energètic, consum de productes químics, volum, sequedat i cost total de cadascuna de les unitats proposades.

Taula 4-58 Funcions de valor dels criteris C1-1, C1-2, C2-13, C3-2 i C4 a la decisió D19-Espessiment de fangs secundaris

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Consum energètic (kWh · m <sup>-3</sup> )	681.000	0	$y = -1 \cdot 10^{-6} x + 1$
C1-2	Consum de productes químics (kg · d <sup>-1</sup> )	5,67	0	$y = -0,1764 x + 1$
C2-13	Sequedat del fang (%)	0	8	$y = 0,125 x$
C3-2	Volum (m <sup>3</sup> )	878	0	$y = -1,1 \cdot 10^{-3} x + 1$
C4	Cost econòmic total (€ · any <sup>-1</sup> )	1.654.240	0	$y = -6 \cdot 10^{-7} x + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-59) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-59. Suma ponderada per prendre la decisió D19-Espessiment de fangs secundaris.

	<b>Criteris</b>	<b>Gravetat</b>	<b>Flotació</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	0,98	0	1
C1-2	Consum de productes químics	1	0	1
C2-13	Sequedat del fang	0,62	1	0,8
C3-2	Volum	0	0	0,6
C4	Cost total de la unitat	0,8	0	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>2,79</b>	<b>0,8</b>	

### (5) Selecció de l'alternativa

Tot i que l'alternativa recomanada pel procés de disseny és incloure espessidor per gravetat, es decideix incloure espessiment per flotació perquè es creu convenient escollir l'alternativa que aconseguixi una sequedat més elevada del fang encara que sigui a costa d'altres aspectes. Els



manuals de disseny d'estacions depuradores d'aigües residuals recomanen espessir els fangs secundaris amb espessidors per flotació (WEF, 1992).

#### **4.3.6 Línia de fangs: secció posterior al reactor**

Tot seguit es seleccionen les unitats que formen part de la secció posterior al reactor. A la secció posterior al reactor es decideix quin tipus de deshidratació s'hi ha d'incloure i quina és la gestió final del fang.

#### **D20- Deshidratació**

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: quin tipus de deshidratació s'hi ha d'incloure?

La deshidratació és una operació unitària física (mecànica) que s'utilitza per reduir el contingut d'humitat del fang amb l'objectiu d'assolir un fang més fàcil de manipular i disminuir el cost d'abocament final (WEF, 1992).

(2) Proposta d'alternatives

Les unitats més utilitzades per deshidratar els fangs són: centrífuga, filtre al buit, filtre premsa i filtre banda.

#### Centrífuga

La centrífuga consisteix en una cuba giratòria accionada per un motor elèctric. El fang s'introdueix dins la cuba a un cabal constant i se separa el llot dens que conté els sòlids i el corrent diluït que conté sòlids de poca densitat. El llot es descarrega de la cuba a la tolva o contenidor mitjançant un cargol transportador (WEF, 1992).

#### Filtre al buit

El filtre al buit està format per filtres cilíndrics de tambor. Els filtres poden ser de tela de fibres sintètiques o naturals, molles d'espiral o, tela de malla metàl·lica. El tambor està suspès per sobre i se submergeix dins un recipient de fang. A mesura que el tambor va girant lentament, una part de la seva circumferència se sotmet a un buit intern que atrau el fang cap al mitjà filtrant mentre l'aigua passa a través del filtre. La manera com estan situades les canonades dins el filtre permeten mantenir la succió fins al punt de separació del llot. Per separar el llot s'injecta aire comprimit a través del mitjà filtrant per desprendre el fang i separar-lo amb un rascador. El mitjà filtrant es pot rentar en el sector situat entre el rascador i la succió (WEF, 1992).

### Filtre premsa

El filtre premsa consisteix en una sèrie de plaques rectangulars, ranurades pels costats. Cada placa conté una tela filtrant. Les plaques es col·loquen unes enfront de les altres en posició vertical sobre un bastidor que pot ser d'altura fixa o variable. Per tal que puguin resistir la pressió aplicada durant el procés de filtració, les plaques es mantenen adherides hermèticament les unes amb les altres mitjançant premses hidràuliques o cargols accionats mecànicament.

Durant el funcionament es bombeja fang al volum existent entre les plaques i se'ls aplica una pressió de 4,2-12,6 kg · cm<sup>-2</sup> durant 1 o 3 hores. D'aquesta manera el líquid és forçat a passar a través de la tela filtrant i els orificis de sortida de les plaques. Tot seguit se separen les plaques i s'extreu el fang (WEF, 1992).

### Filtre banda

El filtre banda es basa en el principi de pressió de filtració mecànica i consisteix en dues cintes de tela transportadores que convergeixen en forma de falca. Aquestes cintes s'accionen amb rodets que es presionen mútuament. L'aigua s'extreu del fang mitjançant pressió i filtració (WEF, 1992).

### (3) Tria de criteris

Els criteris triats per avaluar les alternatives proposades són els següents:

- C1-1 Consum energètic (kWh · any<sup>-1</sup>)
- C1-3 Emissions d'àcid sulfhídric
- C1-2 Consum de productes químics (kg · d<sup>-1</sup>)
- C2-3 Capacitat del procés (kg · d<sup>-1</sup>)
- C2-13 Sequedat del fang (%)
- C2-15 Qualitat del sobrenedant produït (kg SS · d<sup>-1</sup>)
- C3-2 Volum (m<sup>3</sup>)
- C3-3 Olor
- C3-4 Soroll
- C4-1 Cost de construcció (€ · any<sup>-1</sup>)
- C4-2 Cost d'operació (€ · any<sup>-1</sup>)

- C4-3 Cost de manteniment ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-4 Cost material ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-5 Cost energètic ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-6 Cost dels productes químics ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-8 Cost de la gestió final del fang ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

#### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació de criteris

Tots els resultats dels criteris triats es refereixen a la unitat avaluada en aquesta decisió. El consum energètic, el consum de productes químics, la capacitat del procés, la sequedat del fang, la qualitat del sobrenadant i el cost de construcció, operació, manteniment, material, energètic, de productes químics i el cost de la gestió final del fang s'han obtingut amb el programa CapdetWorks. A la secció 8.2 dels annexos es presenten els paràmetres utilitzats per configurar les alternatives proposades.

Per obtenir les emissions d'àcid sulfhídric, el volum, les olors i el soroll s'han consultat manuals de disseny d'estacions depuradores d'aigües residuals i realitzat diferents reunions amb experts en el camp.

La Taula 4-60 mostra els resultats obtinguts dels diferents criteris seleccionats a cadascuna de les alternatives de deshidratació proposades.

Taula 4-60 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D20-Deshidratació

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Centrífuga</b>	<b>Filtre al buit</b>	<b>Filtre premsa</b>	<b>Filtre banda</b>
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	221.000	229.950	859	46.537
C1-2	Consum de productes químics	kg · d <sup>-1</sup>	150	245	3	200
C1-3	Emissió d'àcid sulfhídric		0	1	0,5	1
C2-3	Capacitat del procés	Kg d <sup>-1</sup>	7.930	7.080	78,5	8.500
C2-13	Sequedat del fang	%	26	28	45	28
C2-15	Qualitat del sobrenadant	kg SS · d <sup>-1</sup>	927	748,8	150	560
C3-2	Volum	m <sup>3</sup>	1	0,5	0	0,5
C3-3	Olors		1	0	0	0
C3-4	Soroll		0	1	1	1
C4-1	Cost de construcció		1.690x10 <sup>3</sup>	1.440x10 <sup>3</sup>	2.340x10 <sup>3</sup>	1.440x10 <sup>3</sup>
C4-2	Cost d'operació	€ · any <sup>-1</sup>	205.000	101.000	104.000	101.000
C4-3	Cost de manteniment	€ · any <sup>-1</sup>	12.000	13.200	10.000	13.200
C4-4	Cost material	€ · any <sup>-1</sup>	54.500	65.500	30.000	65.500
C4-5	Cost energètic	€ · any <sup>-1</sup>	17.600	16.600	10.250	16.600
C4-6	Cost de productes químics	€ · any <sup>-1</sup>	77.500	192.000	45.650	192.000
C4-8	Cost de la gestió final del fang	€ · any <sup>-1</sup>	450.300	118.630	150.650	245.900

La unitat de deshidratació de filtre al buit és la que presenta un consum energètic i de productes químics major, en canvi el filtre premsa és el que presenta un consum energètic i de productes químics menor.

Pel que fa a les emissions d'àcid sulfhídric, les unitats de deshidratació de filtre al buit i filtre banda són les que presenten menys emissions.

Les unitats de deshidratació que treballen en continu són les que presenten una capacitat del procés major, en aquest cas la unitat centrífuga, filtre al buit i filtre banda.

Les sequedats més elevades s'obtenen amb la unitat de deshidratació de filtre premsa, en canvi les sequedats menys elevades s'obtenen amb la centrífuga.

Pel que fa a la qualitat del sobrenadant, al expressar-se en quantitat de sòlids en suspensió continguts al sobrenadant diàriament, la unitat amb una qualitat més bona és la que presenta menys capacitat de producció, és a dir, la unitat filtre premsa.

La centrífuga és la unitat de deshidratació que ocupa menys volum, seguida del filtre al buit i filtre banda. En canvi, el filtre premsa ocupa un volum molt elevat. La centrífuga també és la unitat que produeix més soroll.

El filtre premsa és la unitat que presenta un cost de construcció més elevat seguit de la centrífuga que també presenta el cost d'operació més elevat. Les unitats de filtre al buit i filtre banda són les que presenten el cost de manteniment i material més elevats com també de productes químics. Per últim, la centrífuga és la unitat que presenta el consum energètic i de gestió final del fang més elevat.

- Normalització

A la Taula 4-61es poden observar les funcions de valor utilitzades per normalitzar d'1 a 0 els resultats obtinguts per als criteris volum, sequedat i cost total de cadascuna de les unitats proposades.

Taula 4-61 Funcions de valor dels criteris C1-1, C1-2, C2-3, C2,13, C2-15, C4 a la decisió D20-Deshidratació

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Consum energètic (kWh · m <sup>3</sup> )	229.950	0	$y = -4 \cdot 10^{-6}x + 1$
C1-2	Consum de productes químics (kg · d <sup>-1</sup> )	245	0	$y = -0,0041x + 1$
C2-3	Capacitat del procés (kg · d <sup>-1</sup> )	0	8.500	$y = 0,0001x - 0,0001$
C2-13	Sequedat del fang (%)	0	45	$y = 0,0222x$
C2-15	Qualitat sobrenadant (kg SS · d <sup>-1</sup> )	927	0	$y = -0,0011x + 1$
C4	Cost econòmic total (€ · any <sup>-1</sup> )	2.690.550	0	$y = -4 \cdot 10^{-7}x + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-62) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-62 Suma ponderada per prendre la decisió D20-Deshidratació

	<b>Criteris</b>	<b>Centrifuga</b>	<b>Filtre al buit</b>	<b>Filtre premsa</b>	<b>Filtre banda</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	0,04	0	1	0,8	1
C1-2	Consum de productes químics	0,39	0	0,99	0,18	1
C1-3	Emissió d'àcid sulfhídric	0	1	0,5	1	1
C2-3	Capacitat del procés	0,79	0,7	0	1	0,8
C2-13	Sequedat	0,57	0,62	1	0,62	0,8
C2-15	Qualitat del sobrenadant	0	0,17	0,83	0,38	0,8
C3-4	Soroll	0	1	1	1	0,6
C3-3	Olors	1	0	0	0	0,6
C3-2	Volum	1	0,5	0	0,5	0,6
C4	Cost total	0,07	0,28	0	0,23	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>2,75</b>	<b>3,2</b>	<b>4,55</b>	<b>4,57</b>	

(5) Selecció de l'alternativa

Tot i que la unitat de filtre banda i filtre premsa han obtingut puntuacions molt similars, es decideix seleccionar el filtre banda degut a que és un procés en continu i com a tal presenta una capacitat del procés més elevada que el filtre premsa.

### **D21- Gestió final del fang**

(1) Identificació de la qüestió que s'ha de resoldre: on s'ha de transportar el fang deshidratat?

El possible ús o destí final del fang de depuradora és l'aplicació al sòl, l'assecatge tèrmic, el compostatge i abocador, etc.

(2) Proposta d'alternatives

Les alternatives que s'han considerat han estat dues:

#### Abocador controlat

El fang deshidratat es pot abocar a un abocador controlat sempre que compleixi els paràmetres establerts per la llei. En els abocadors controlats els residus es compacten in situ amb un tractor i es cobreixen amb una capa de 0,3 metres de sorra neta. Cobrint cada dia els residus nous que s'hi dipositen es redueixen les molèsties causades per olors, insectes, etc. (Metcalf i Eddy, 2003).

#### Assecatge tèrmic

L'assecatge tèrmic consta d'un tambor horitzontal a dins del qual gira lentament un eix buit amb uns discos concèntrics perpendiculars per on circula oli tèrmic. El fang avança per l'interior de l'assecador ajudat per uns deflectors que tenen l'objectiu de fer-lo avançar i evitar que s'adhereixi a les parets. Per evitar aquesta adherència cal una mescla de producte humit i sec per superar la sequedat crítica de la fase plàstica (55%).

El volum del fang a l'interior del tambor és elevat; només queda un terç del volum útil de l'assecador lliure de fang. La sequedat final que s'obté després de tot el procés és del 90% i el volum es redueix, aproximadament, a una tercera part.

El vapor d'aigua i la fracció polsosa arrossegada, procedents del tambor, se separen posteriorment en un cicló. La part sòlida es retorna al circuit de fangs, mentre que la gasosa se sotmet a una condensació abans de la combustió a la caldera. L'aigua resultant d'aquesta condensació es condueix a la capçalera de l'EDAR per tractar-la.

La raó per la que només s'han considerat aquestes dues alternatives de les anomenades anteriorment és perquè s'han descartat directament el compostatge i l'aplicació al sòl. Per destinar el fang a compostatge o aplicació al sòl és necessari que aquest compleixi uns límits determinats pel que fa sobretot a metalls pesants. Al tractar-se d'una EDAR que tracta majoritàriament aigües residuals industrials s'ha considerat que la probabilitat que compleixi aquests límits no és gaire elevada.

### (3) Tria de criteris

Per avaluar les alternatives proposades s'han triat els següents criteris:

- C1-1 Consum energètic ( $\text{kWh} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C2-3 Capacitat del procés ( $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$ )
- C3-2 Volum ( $\text{m}^3$ )
- C3-3 Olors
- C4-1 Cost de construcció ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-2 Cost d'operació ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-3 Cost de manteniment ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-4 Cost material ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )
- C4-5 Cost energètic ( $\text{€} \cdot \text{any}^{-1}$ )

### (4) Avaluació d'alternatives

- Quantificació d'alternatives

Els resultats dels criteris triats es refereixen a la unitat avaluada en aquesta decisió. El consum energètic, la capacitat del procés, el volum i el cost econòmic s'han obtingut configurant aquestes alternatives amb el programa CapdetWorks, utilitzant els paràmetres de procés que conté el programa per defecte (vegeu secció 8.2 dels annexos). A la Taula 4-63 es mostren els resultats obtinguts per als diferents criteris seleccionats.



Taula 4-63 Quantificació de criteris enfront les alternatives proposades per prendre la decisió D21-Gestió del fang

	<b>Criteris</b>	<b>Unitats</b>	<b>Abocador</b>	<b>Assecatge tèrmic</b>
C1-1	Consum energètic	kWh · any <sup>-1</sup>	0	1.790.000
C2-3	Capacitat del procés	kg · d <sup>-1</sup>	70,8	12.300
C3-2	Volum	m <sup>3</sup>	701	285
C3-3	Olors		0	1
C4-1	Cost de construcció	€ · any <sup>-1</sup>	384.000	7.050.000
C4-2	Cost d'operació	€ · any <sup>-1</sup>	28.100	93.800
C4-3	Cost de manteniment	€ · any <sup>-1</sup>	0	38.000
C4-4	Cost material	€ · any <sup>-1</sup>	38.200	31.700
C4-5	Cost energètic	€ · any <sup>-1</sup>	0	2.630.000

L'abocador, respecte a l'assecatge tèrmic, provoca problemes d'olors, té una baixa capacitat, ocupa un volum elevat i té un cost material elevat. Per altra banda, no té consum energètic, té un baix cost de construcció, d'operació i de manteniment. L'assecatge tèrmic té un elevat consum energètic, un elevat cost de construcció, d'operació, de manteniment i energètic. Per altra banda, té una elevada capacitat, ocupa menys volum que l'abocador i no provoca problemes d'olors.

- Normalització

A la Taula 4-64 es poden observar les funcions de valor utilitzades per normalitzar entre 1 i 0 els resultats obtinguts per als criteris avaluats.

Taula 4-64 Funcions de valor dels criteris C1-1, C2-3, C3-2, C4 a la decisió D21-Gestió del fang

	<b>Criteris</b>	<b>y = 0</b>	<b>y = 1</b>	<b>Funció</b>
C1-1	Consum energètic (kWh · m <sup>-3</sup> )	1.790.000	0	$y = -6 \cdot 10^{-7} x + 1$
C2-3	Capacitat del procés (kg · d <sup>-1</sup> )	0	12.300	$y = 8 \cdot 10^{-5} x$
C3-2	Volum (m <sup>3</sup> )	701	0	$y = -0.0014 x + 1$
C4	Cost econòmic (€ · any <sup>-1</sup> )	9.843.500	0	$y = -1 \cdot 10^{-7} x + 1$

- Suma ponderada

A la taula següent (Taula 4-65) s'observen els resultats obtinguts d'aplicar aquestes funcions i de fer la suma ponderada tenint en compte els pesos assignats a cadascun dels criteris.

Taula 4-65 Suma ponderada per prendre la decisió D21-Gestió del fang

	<b>Criteris</b>	<b>Abocador</b>	<b>Assecatge tèrmic</b>	<b>Pes</b>
C1-1	Consum energètic	1	0	1
C2-3	Capacitat del procés	0	1	0,8
C3-2	Volum	0	0,59	0,6
C3-3	Olors	0	1	0,6
C4	Cost total	0,95	0	0,4
	<b>RESULTAT</b>	<b>1,38</b>	<b>1,75</b>	

(5) Selecció de l'alternativa

L'alternativa escollida és l'assecatge tèrmic perquè l'abocador té menor capacitat, ocupa més volum i provoca més problemes d'olors.

En aquest capítol s'ha desenvolupat un cas d'estudi per aplicar la metodologia proposada al disseny d'una EDAR amb els mateixos requeriments que l'EDAR que hi ha actualment a Granollers. El resultat d'aquesta aplicació ha estat un diagrama de flux similar al que hi ha actualment a l'EDAR de Granollers però amb algunes variacions.



## 5 ANÀLISI COMPARATIVA I DISCUSSIÓ DE RESULTATS

En aquest capítol es fa una anàlisi comparativa de l'EDAR resultat d'aplicar la metodologia proposada amb l'EDAR de Granollers seguida d'una discussió de resultats on es reflecteixen els avantatges associats a la metodologia proposada. Primerament es descriu la configuració que presenta actualment l'EDAR de Granollers, tot seguit es descriu la configuració de l'EDAR resultat d'aplicar la metodologia proposada i després es fa una anàlisi comparativa de totes dues EDARs, justificant les diferències observades. Finalment, es discuteixen els resultats i s'esmenten els avantatges associats a l'aplicació de la metodologia proposada.

### 5.1 L'EDAR de Granollers

L'EDAR de Granollers, construïda l'any 1992, es va projectar inicialment per eliminar matèria orgànica i sòlids en suspensió mitjançant un tractament fisicoquímic (Comas, 2000). L'abril de l'any 1998 es va ampliar per substituir el tractament fisicoquímic per un tractament de tipus biològic. Finalment, el reactor biològic es va convertir en l'actual configuració de tipus Ludzack-Ettinger. L'aigua residual d'entrada prové de la xarxa de clavegueram, que recull conjuntament les aigües pluvials, les aigües urbanes i l'aigua industrial assimilable a urbana.

El procés de tractament de l'EDAR de Granollers es pot dividir en dues línies principals: la línia d'aigües i la línia de fangs. La línia d'aigües inclou les etapes següents: pretractament, tractament primari i tractament secundari. La configuració del tractament secundari es basa en el Ludzack-Ettinger convencional o en el Ludzack-Ettinger modificat, segons si l'EDAR elimina nitrogen o no. Per altra banda, la línia de fangs segueix les etapes següents: espessiment, digestió anaeròbia, deshidratació i transport a l'assecatge tèrmic.

#### Línia d'aigües

El pretractament inclou el desbast de grollers mitjançant reixes manuals i l'eliminació de sorres i greixos mitjançant dessorrador-desgreixador.

El tractament primari consisteix en dos decantadors primaris circulars per eliminar els sòlids en suspensió per sedimentació. Anteriorment, aquests decantadors s'utilitzaven com a tractament

fisicoquímic. Actualment, aquest pretractament s'ha abandonat, excepte en casos en què l'aigua residual d'entrada sobrepassa la capacitat del tractament secundari.

Algunes vegades un dels decantadors primaris s'utilitza com a homogeneïtzador per evitar xocs hidràulics o de càrrega o com a unitat de prefermentació per obtenir components orgànics fàcilment biodegradables per a la desnitrificació. El fang primari es purga d'acord amb la temporització definida a l'SCADA. Normalment es bombeja a intervals freqüents de curta durada. El fang primari es deshidrata mitjançant dos espessidors abans de barrejar-se amb el fang secundari que prové de la unitat d'espessiment per flotació.

L'aigua residual s'envia del tractament primari cap al tractament secundari o biològic. L'aigua residual que s'ha de derivar es fixa mitjançant un punt de consigna i en dies de pluja es deriva cap al riu tot el cabal que sobrepassi el límit establert. A l'aigua que es deriva cap al riu només se li aplica pretractament i tractament primari.

El cabal d'aigua que entra al tractament biològic es distribueix uniformement en dues línies paral·leles i simètriques. El tractament biològic consisteix en un reactor biològic i un decantador secundari. Cadascun dels reactors consisteix en un petit selector anòxic de 400 m<sup>3</sup>, localitzat al principi del tanc d'aeració, seguit d'un reactor tipus flux pistó (3.664 m<sup>3</sup>) amb quatre compartiments i una configuració de Ludzack-Ettinger. Quan s'ha de nitrificar i desnitrificar, també es mantenen condicions anòxiques en el primer compartiment del reactor flux pistó.

Hi ha un sistema de control d'oxigen de tipus proporcional integral (PI) per regular l'aportació d'aire segons les necessitats d'oxigen en cada moment. Cadascun dels compartiments del flux pistó té una sonda d'oxigen i una aportació d'aire regulada per una vàlvula. D'aquesta manera es poden assignar punts de consigna diferents a cada compartiment.

A la sortida del reactor biològic, el fang activat es recull en un tanc de desaeració (10 m<sup>3</sup>) des del qual es purga el fang activat en excés. El fang en excés s'extreu des d'aquesta unitat perquè té una baixa concentració de sòlids. D'aquesta manera l'espessidor per flotació obté una major sequedat del fang. Del tanc de desaeració, el licor mescla s'envia als decantadors secundaris, que tenen una superfície de 707 m<sup>2</sup> cadascun.

Els fangs en excés s'extreuen mitjançant dues bombes automàtiques i una de regulació manual (cada bomba té una capacitat màxima de  $65 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ). El bombeig de fang automàtic funciona amb una freqüència i una duració prefixades en el PLC. El cabal d'extracció està limitat per la càrrega de sòlids admesos per la unitat de flotació ( $7 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ).

El fang activat sedimentat en els decantadors secundaris es fa recircular cap al tanc d'aeració mitjançant tres bombes. Normalment en funcionen dues per bombejar un cabal similar al cabal mitjà d'aigua residual d'entrada. En casos de proliferació de microorganismes s'afegeix clor al punt de recirculació.

Una part de l'aigua tractada és reutilitzada pels serveis de l'EDAR i ha de ser tractada mitjançant raigs ultraviolats. També hi ha la possibilitat d'afegir-hi clor.

#### Línia de fangs

El fang primari s'espesseix mitjançant un espessidor per gravetat, i el fang secundari mitjançant un espessidor per flotació. Un cop el fang s'ha espessit, es barreja, i s'envia a una unitat de digestió anaeròbia. L'EDAR de Granollers té dos digestors anaerobis de 23 m de diàmetre i  $5.000 \text{ m}^3$  de volum útil. El llot digerit es deshidrata mitjançant tres centrífugues i, finalment, es transporta a l'assecatge tèrmic. Els retorns de totes aquestes unitats s'envien a la capçalera de procés.

## **5.2 L'EDAR resultat de la metodologia proposada.**

Les unitats que conformen el diagrama de flux de l'EDAR explicada a continuació són el resultat d'aplicar la metodologia proposada al cas d'estudi presentat (vegeu el capítol anterior). Cal remarcar que per establir el diagrama de flux complet d'aquesta EDAR s'ha portat a terme tot el procés de disseny conceptual i que se'n presenta el registre complet. També cal remarcar que s'ha aplicat un mètode d'anàlisi de decisions multicriteri que ha permès que totes les decisions del procés de disseny fossin conduïdes pels mateixos objectius, i per tant, avaluada pel mateix conjunt de criteris.

A la figura Figura 5-1 s'observen les unitats seleccionades per tal de configurar el diagrama de flux de l'EDAR resultat de la metodologia proposada en aquest estudi.

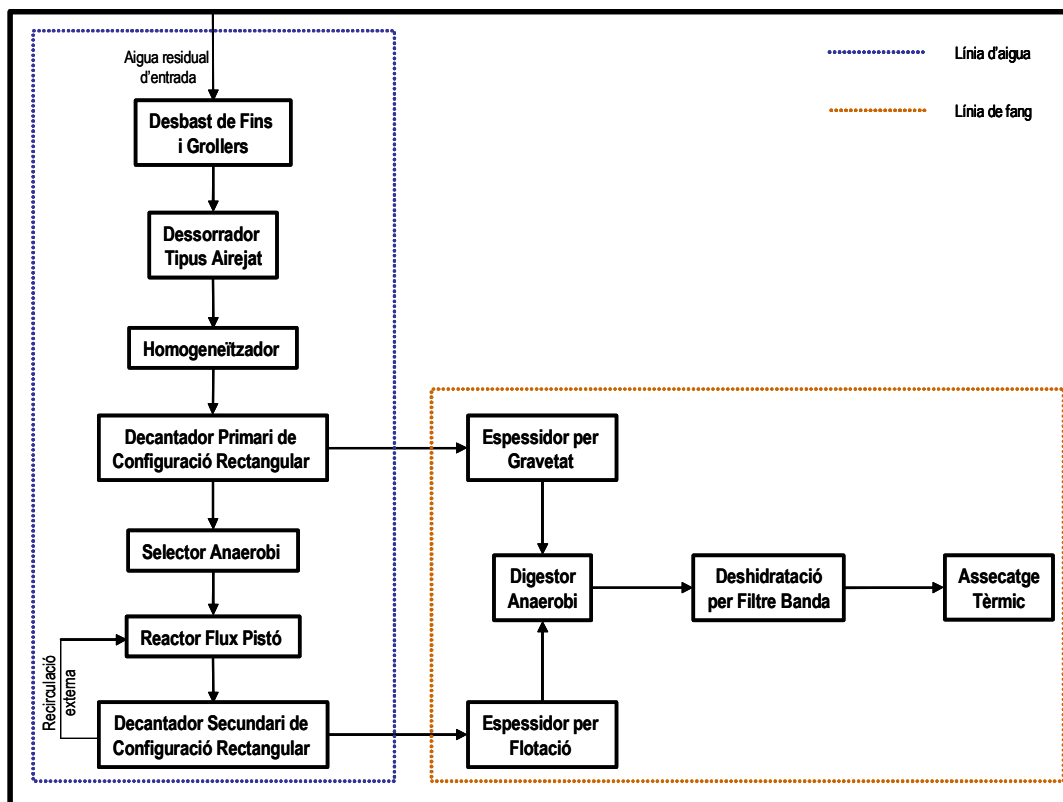


Figura 5-1 Diagrama de flux de l'EDAR resultat de la metodologia proposada

El procés de tractament d'aquesta EDAR es divideix en dues línies principals: la línia d'aigües i la línia de fangs. La línia d'aigües presenta les etapes següents: pretractament, tractament primari i tractament secundari. La configuració del tractament secundari es basa en un selector i un reactor tipus flux pistó. Per altra banda, la línia de fangs segueix les etapes d'espessiment, digestió anaeròbia i deshidratació.

### Línia d'aigües

L'etapa de pretractament consisteix primer de tot en el desbast de fins i grollers per separar els sòlids més voluminosos de l'aigua residual d'entrada. El desbast de fins i grollers es realitza mitjançant reixes. Tot seguit s'ha inclòs el dessorrador tipus airejat per separar, mitjançant decantació, les sorres contingudes a l'aigua residual d'entrada.

El tractament primari consisteix en el procés de decantació primària mitjançant el decantador de configuració rectangular i l'homogeneïtzador. La decantació primària té l'objectiu de decantar els sòlids en suspensió continguts a l'aigua residual d'entrada i l'homogeneïtzador de suavitzar les puntes de cabal i càrrega per millorar el funcionament del reactor biològic.

El tractament secundari consisteix en el selector anaerobi, reactor flux pistó i la decantació secundària. El selector té l'objectiu de promoure el creixement de microorganismes formadors de floc i evitar el creixement de microorganismes filamentosos.

El reactor flux pistó seleccionat, està format per quatre compartiments, tots ells airejats. L'aeració al reactor es porta a terme mitjançant difusors de membrana. Hi ha un sistema de control d'oxigen per adequar l'aportació d'aire a les necessitats d'oxigen en cada moment. Les parrilles de difusors situades a cada compartiment es troben aïllades unes amb les altres. Cada compartiment del reactor flux pistó té una sonda d'oxigen i una aportació d'aire regulada per una vàlvula. D'aquesta manera s'assignen valors de consigna diferents a cada compartiment. Els valors de consigna fixats han estat de  $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  al primer compartiment, de  $1,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  al segon compartiment i de  $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  al tercer compartiment.

Finalment, el decantador secundari és de configuració rectangular. El fang activat sedimentat en el decantador es recircula cap al primer compartiment del flux pistó.

### Línia de fangs

El tractament de fangs consisteix en espessir el fang, digerir-lo i finalment deshidratar-lo. L'espessiment de fangs té l'objectiu d'incrementar el percentatge total de sòlids mitjançant l'eliminació d'una part de la fracció líquida. Degut a que el fang primari i secundari presenten característiques diferents, s'ha decidit espessir-los per separat.

L'espessiment de fangs primaris es porta a terme mitjançant espessiment per gravetat i l'espessiment de fangs secundaris mitjançant espessiment per flotació. Un cop el fang s'ha espessit, s'estabilitza mitjançant digestió anaeròbia. El fang es digereix amb el propòsit de descompondre la matèria orgànica i transformar-la en un producte prou estable per poder-lo manipular, assecar i transportar amb facilitat al seu destí final.



Per últim la deshidratació es porta a terme mitjançant el filtre banda. La deshidratació té l'objectiu de reduir el contingut d'humitat del fang per assolir un fang més fàcil de manipular i disminuir el cost d'abocament final. Finalment, el fang es transporta a l'assecatge tèrmic.

### 5.3 Anàlisi comparativa.

Tot i que l'EDAR dissenyada en aquest estudi té la mateixa informació de partida que l'EDAR existent actualment a Granollers, la configuració d'ambdues ha diferit en la selecció d'algunes de les unitats. A la Taula 5-1 s'especifiquen les decisions que presenten una solució diferent.

Taula 5-1 Unitats que difereixen entre l'EDAR resultat d'aplicar la metodologia proposada i l'EDAR de Granollers

Unitat	Decisió	EDAR de Granollers	EDAR dissenyada sistemàticament
Reactor biològic	D1	Ludzack-Ettinger	Flux pistó
Tipus de selector	D8	Anòxic	Anaerobi
Geometria del decantador primari	D9	Circular	Rectangular
Homogeneïtzador	D11	No	Sí
Geometria del decantador secundari	D15	Circular	Rectangular
Recirculació interna	D16	Sí	No
Deshidratació	D20	Centrífuga	Filtre banda

La diferència més important entre una EDAR i l'altra és el procediment aplicat per portar a terme el procés de disseny conceptual. En cap moment es planteja la possibilitat que les unitats escollides per constituir el diagrama de flux de l'EDAR d'estudi siguin més bona solució que les existents actualment a l'EDAR de Granollers. Tal com s'ha anat esmentant al llarg del document, això depèn bàsicament dels objectius inicials de disseny, dels criteris triats i dels pesos que s'assignen a aquests criteris. A banda d'això, també és molt important la manera de quantificar els criteris, d'assignar els pesos a aquests criteris i de fer les normalitzacions.

Pel que fa als objectius inicials, l'EDAR d'estudi s'ha dissenyat per eliminar matèria orgànica i sòlids en suspensió, mentre que l'EDAR de Granollers, a més, també elimina nitrogen. Com que

aquests objectius condicionen la selecció de criteris que s'han de tenir en compte a l'hora d'avaluar les alternatives, també condicionen l'elecció de l'alternativa final.

Les unitats incloses resultat del cas d'estudi que difereixen de l'EDAR de Granollers degut a la no coincidència dels objectius inicials de disseny són la configuració del reactor, el tipus de selector i el fet de no incloure recirculació interna.

La configuració del reactor que s'ha escollit a l'EDAR d'estudi és de flux pistó, mentre que a l'EDAR de Granollers és l'anomenada configuració Ludzack-Ettinger, en la qual hi ha un primer compartiment anòxic seguit dels compartiments aerobis i amb recirculació interna per recircular els nitrats a la zona anòxica i convertir-los en nitrogen gas. Pel que fa al selector, a l'EDAR d'estudi es proposa incloure-hi un selector anaerobi, mentre que a l'EDAR de Granollers el selector és anòxic.

Mentre que a l'EDAR d'estudi es té constància dels criteris utilitzats per avaluar les alternatives i de la importància que s'ha assignat a cada criteri, no es té constància enregistrada dels factors que van condicionar el disseny de l'EDAR de Granollers en el seu moment, ni tampoc de la importància que es va assignar a cada factor.

Les unitats incloses en el cas d'estudi que poden diferir de l'EDAR de Granollers pels criteris i la importància d'aquests són la configuració dels decantadors primaris i secundaris, la presència d'homogeneïtzador i la deshidratació de fangs mitjançant filtre banda.

En el cas dels decantadors, els de configuració circular tenen un cost econòmic menor que els rectangulars, però en contrapartida ocupen més espai. Com que en el cas d'estudi s'ha decidit donar més importància als criteris de tipus social que als econòmics, s'ha decidit incloure-hi decantadors rectangulars.

Pel que fa a l'homogeneïtzador, tot i que actualment a l'EDAR de Granollers un dels dos decantadors primaris funciona com a homogeneïtzador, en el seu moment es va decidir no incloure-l'hi. El fet d'incloure un homogeneïtzador suposa una elevada inversió econòmica inicial, però per altra banda suposa un important estalvi energètic d'operació, sobretot referent a

l'aeració del reactor biològic. A l'EDAR d'estudi s'ha decidit incloure un homogeneïtzador perquè en el procés de decisió s'ha donat més importància al consum energètic que a la inversió inicial.

Finalment, a l'EDAR de Granollers es deshidrata el fang mitjançant centrifuga, mentre que a l'EDAR d'estudi s'ha proposat incloure-hi filtre banda. Això es justifica perquè, tot i que la centrifuga ocupa menys espai, consumeix menys productes químics i no desprèn olors, també consumeix més energia elèctrica, desprèn emissions d'àcid sulfhídric, té menys capacitat, obté menys sequedat del fang, una qualitat del sobrenedant més dolenta, provoca més soroll i representa un cost econòmic més elevat que el filtre banda.

Finalment, tal com s'ha esmentat anteriorment, probablement també hi ha diferències per les eines utilitzades a l'hora de quantificar els criteris, com per exemple en la predicció del comportament de l'EDAR i les estimacions econòmiques. És difícil detectar les unitats afectades per aquestes diferències perquè, mentre que es té tot un registre de les eines que s'han utilitzat per dissenyar l'EDAR d'estudi, no es té cap registre de les eines i correlacions utilitzades per dissenyar l'EDAR de Granollers.

#### **5.4 Discussió de resultats**

La combinació del procés de decisió jeràrquic i l'anàlisi de decisions multicriteri, així com la integració dels programes GPS-X, CapdetWorks i DRAMA, permet configurar una metodologia de disseny que es caracteritza per portar a terme la fase de disseny conceptual seguint tota una sistemàtica.

L'estructura del procés de disseny proposat fa que totes les decisions preses siguin consistentes amb els objectius definits, els criteris triats i els pesos assignats a aquests criteris. Aquesta consistència s'aconsegueix fixant una estructura determinada a seguir, tant en l'ordre de les decisions que s'han de prendre, és a dir, de les diferents unitats que configuraran el diagrama de flux complet de l'EDAR, com en els diferents passos que s'han de seguir per avaluar les alternatives.

Pel que fa a l'ordre de les decisions preses, ha estat molt útil l'aplicació del procés de decisió jeràrquic, de manera que les decisions més importants condicionen les menys importants. La

decisió més important que s'ha pres ha estat la D1 (vegeu la secció 4.3.1), en què es qüestiona la configuració del reactor biològic, la unitat que porta a terme la funció principal del procés. D'aquesta manera les unitats incloses posteriorment contribuiran a millorar la funció d'aquesta unitat. El procés de disseny es representa mitjançant arbres de decisió que ajuden a visualitzar clarament el procés de decisió jeràrquic aplicat.

Per altra banda, l'aplicació d'un mètode d'anàlisi de decisions multicriteri permet marcar també una estructura determinada per avaluar les diferents alternatives (vegeu el pas d'avaluació d'alternatives de la secció 3.1.3). Aquesta estructura ajuda a fer que totes les decisions preses estiguin d'acord amb els criteris i els pesos triats i, per tant, amb els objectius inicials de disseny.

La configuració final de l'EDAR està influenciada per aspectes ambientals, tècnics, socials i econòmics. El fet de tenir en compte diferents tipus de criteris en les etapes inicials de disseny és molt més eficaç que no pas tenir-los en compte durant les etapes més avançades. Això ha estat possible, sobretot, gràcies a l'aplicació de l'anàlisi de decisions multicriteri i a la possibilitat que la metodologia de disseny ofereix a l'equip que porta a terme el disseny de mantenir un control de les decisions bàsiques del procés.

Es crea una relació molt estreta entre els criteris utilitzats per avaluar les alternatives i els objectius inicials de disseny. Per crear aquesta relació a l'inici del disseny es defineixen els objectius de disseny i els criteris per avaluar-ne el compliment. Aquests criteris es classifiquen segons l'objectiu amb el qual es relacionen (vegeu la secció 4.2). Durant el procés de disseny es pot accedir en tot moment als objectius inicials de disseny per refinar-los o modificar-los. En cadascuna de les decisions que conformen el procés de decisió global (vegeu la Figura 4-3), es pot visualitzar la relació dels criteris utilitzats i els objectius inicials de disseny.

La integració dels resultats de les simulacions portades a terme mitjançant el programa GPS-X i de les estimacions econòmiques aportades pel programa CapdetWorks a l'avaluació d'alternatives permet quantificar alguns dels criteris que s'han tingut en compte i ajustar els paràmetres cinètics i d'operació.

El programa de simulacions GPS-X permet fer modelitzacions matemàtiques preliminars per predir el comportament dinàmic de les diferents alternatives en algunes decisions (vegeu D4 i D5 de la secció 4.3.1). El programa CapdetWorks ha permès fer estimacions econòmiques preliminars de manera ràpida i eficaç (vegeu en el capítol 4 el pas de quantificació de criteris en totes les decisions del cas d'estudi). Les dades obtingudes mitjançant els diferents programes, es poden introduir automàticament en el procés de decisió.

La metodologia d'anàlisi de decisions multicriteri SMART aplicada per avaluar les diferents alternatives permet combinar els resultats dels diferents criteris respecte a una alternativa i la importància de cada criteri per obtenir un sol valor per alternativa. Això facilita la selecció de l'alternativa més favorable respecte a un conjunt de criteris determinat (vegeu en el capítol 4 el pas de suma ponderada en totes les decisions del cas d'estudi). Aquesta avaluació i el rànquing d'alternatives es fa automàticament.

El procés de disseny és interactiu; en són exemples la possibilitat de tornar enrere en el procés de disseny per modificar-lo quan es cregui convenient o bé de decidir si escollir una alternativa tot i que no sigui la que obté la millor puntuació (vegeu la decisió referent a la selecció de la unitat d'espessiment de fangs secundaris D19 de la secció). Aquest avantatge és degut al control del procés de disseny per part de l'equip que el porta a terme.

Es crea un registre automàtic del procés de disseny portat a terme que permet millorar la comunicació i la coordinació entre els membres de l'equip de disseny, fer futurs redissenys en cas que es produeixin canvis d'objectius o criteris (canvis de legislació, de tecnologia, per exemple nous tipus de reactors o de tractament disponibles en el mercat, o simplement, de capacitat de l'EDAR, per exemple creixement de la població o instal·lació de noves empreses al polígon industrial), i finalment, també permet dissenyar una nova EDAR amb característiques semblants a la del procés registrat.

La possibilitat d'enregistrar el disseny permet avaluar possibles inconsistències del procés de disseny, per exemple les decisions en què no s'han tingut en compte alguns dels objectius proposats inicialment, les alternatives que s'han escollit tot i no ser les recomanades pel procés de disseny, decisions en què els criteris triats no estan relacionats amb cap dels objectius inicials

de disseny o objectius inicials de disseny que no estan relacionats amb cap dels criteris utilitzats per prendre les diferents decisions que configuren el procés de disseny conceptual. A la Figura 5-2 es presenta un exemple d'aquesta opció.

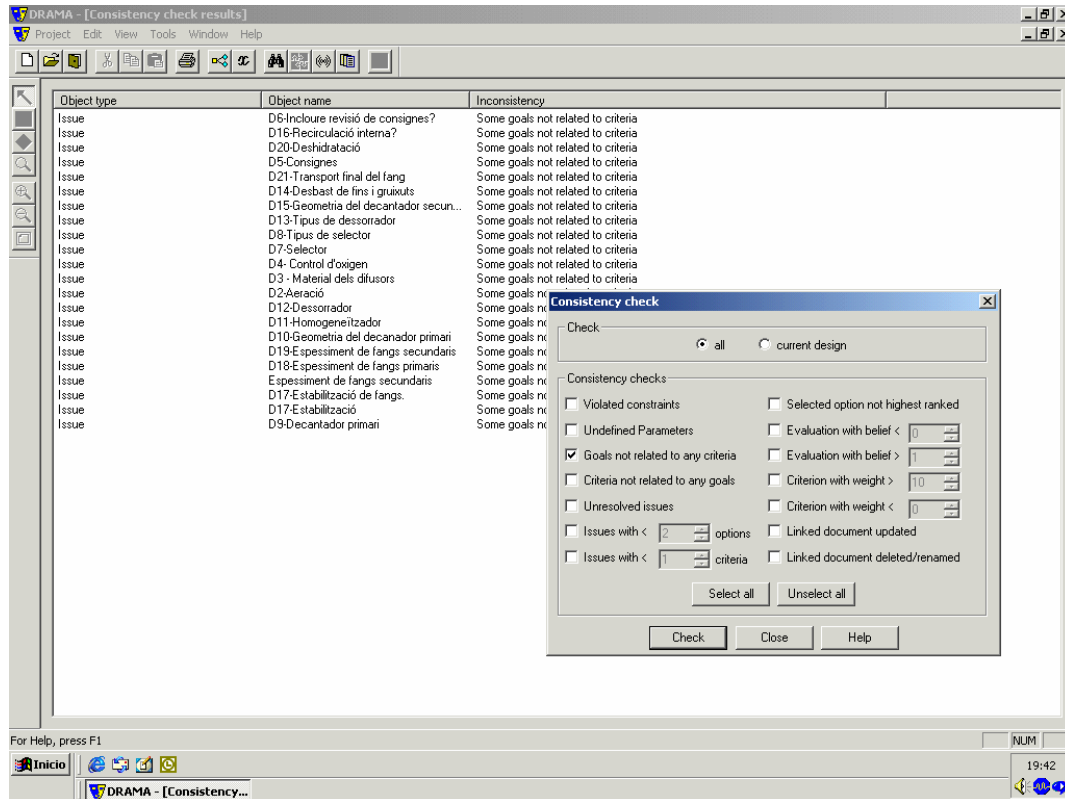


Figura 5-2 Inconsistències referents a la relació entre objectius inicials de disseny i criteris

A la finestra de la Figura 5-2 situada a la dreta de la pantalla principal es pot observar la pantalla utilitzada per buscar les inconsistències. En aquest cas s'ha decidit buscar decisions en què els criteris utilitzats per prendre-les no es relacionin amb un o més dels objectius inicials de disseny.

A la finestra principal s'observen els resultats obtinguts organitzats per columnes. La columna situada a l'esquerra presenta el tipus d'objecte trobat, en aquest cas tots els objectes són decisions. La següent columna presenta el nom de l'objecte, és a dir de les decisions trobades i, a l'última columna, la inconsistència buscada, és a dir, objectius de disseny no relacionats amb els criteris utilitzats per avaluar cadascuna de les decisions.

Gràcies al fet de presentar tot un registre del procés de disseny, i a l'automatisme incorporat en aquest procés, la metodologia permet buscar paraules clau relacionades amb algun aspecte determinat del disseny. Aquesta opció permet identificar els objectius, els criteris, les qüestions, les alternatives, les fórmules i els lligams que presenten la paraula clau que es busca.

Un exemple d'aquesta aplicació al procés de disseny que s'ha portat a terme per configurar l'EDAR del cas d'estudi (vegeu el capítol 4) pot ser buscar automàticament tots els criteris que contenen la paraula clau nitrogen. A la Figura 5-3 s'observen els resultats obtinguts per a aquest exemple.

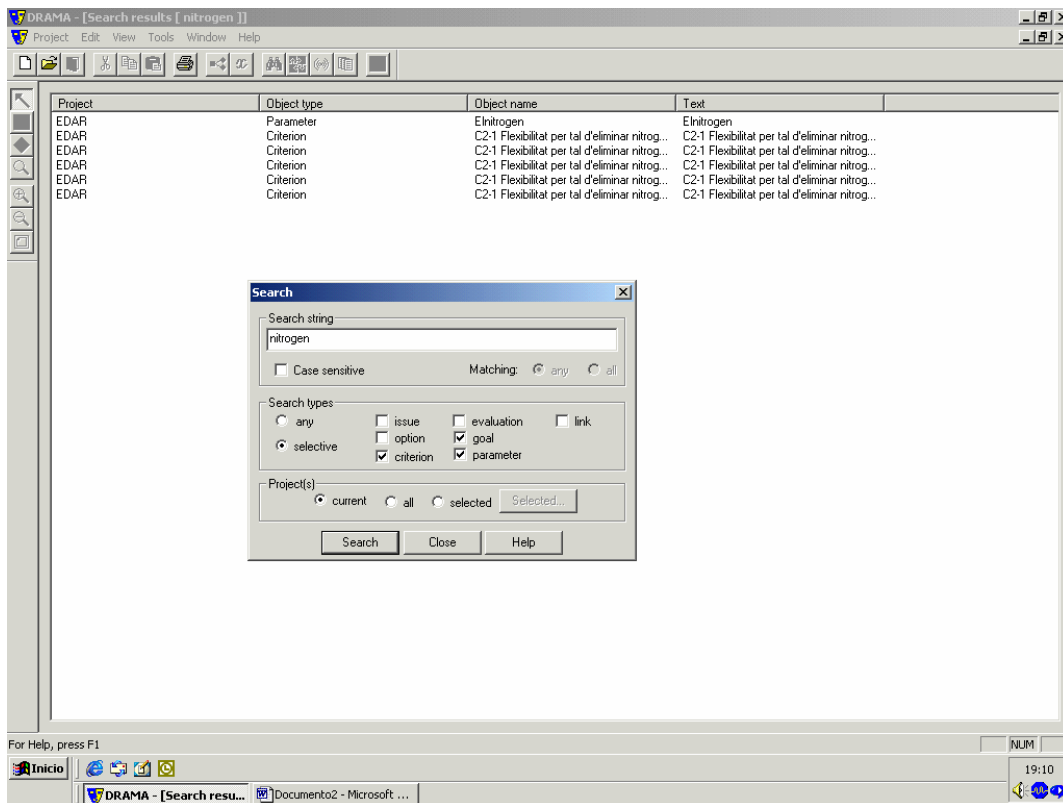


Figura 5-3 Resultats d'aplicar l'opció de buscar nitrogen a DRAMA

Mitjançant aquesta opció s'han obtingut tots els criteris, objectius i paràmetres on apareix la paraula clau nitrogen. Tal com s'observa a la pantalla principal de la Figura 5-3, es poden observar els resultats obtinguts organitzats per columnes i d'esquerra a dreta el projecte, l'objecte (és a dir, si és un objectiu, una qüestió, un criteri, una alternativa, un paràmetre, una

formula o un lligam), el nom de l'objecte i el text de l'objecte. Al centre de la figura s'observa la finestra on es porta a terme l'opció, en aquest cas buscar els criteris que continguin la paraula clau nitrogen.

Els resultats de la columna projecte han estat EDAR, és a dir, el procés de disseny utilitzat per configurar l'EDAR resultat del cas d'estudi. Pel que fa al tipus d'objecte, el resultat ha estat el paràmetre Elnitrogen i el criteri C2-1, Flexibilitat per eliminar nitrogen que intervé en cinc decisions diferents.

La metodologia proposada també permet fer anàlisis d'impacte mitjançant la modificació dels paràmetres introduïts. Aquesta opció és molt útil en els casos de redisseny per adaptar el procés dissenyat a nous requeriments.

Un exemple d'anàlisi d'impacte és el que es presenta a continuació on es vol observar quin és l'impacte realitzat sobre el procés de disseny si es canvia el valor del paràmetre Elnitrogen de 0 a 1. Canviant el valor d'aquest paràmetre s'indica que el procés passa de no haver d'eliminar nitrogen a eliminar-ne. A la Figura 5-4 s'observa com apareixen totes aquelles decisions que canvien a conseqüència d'aquest canvi de valor.



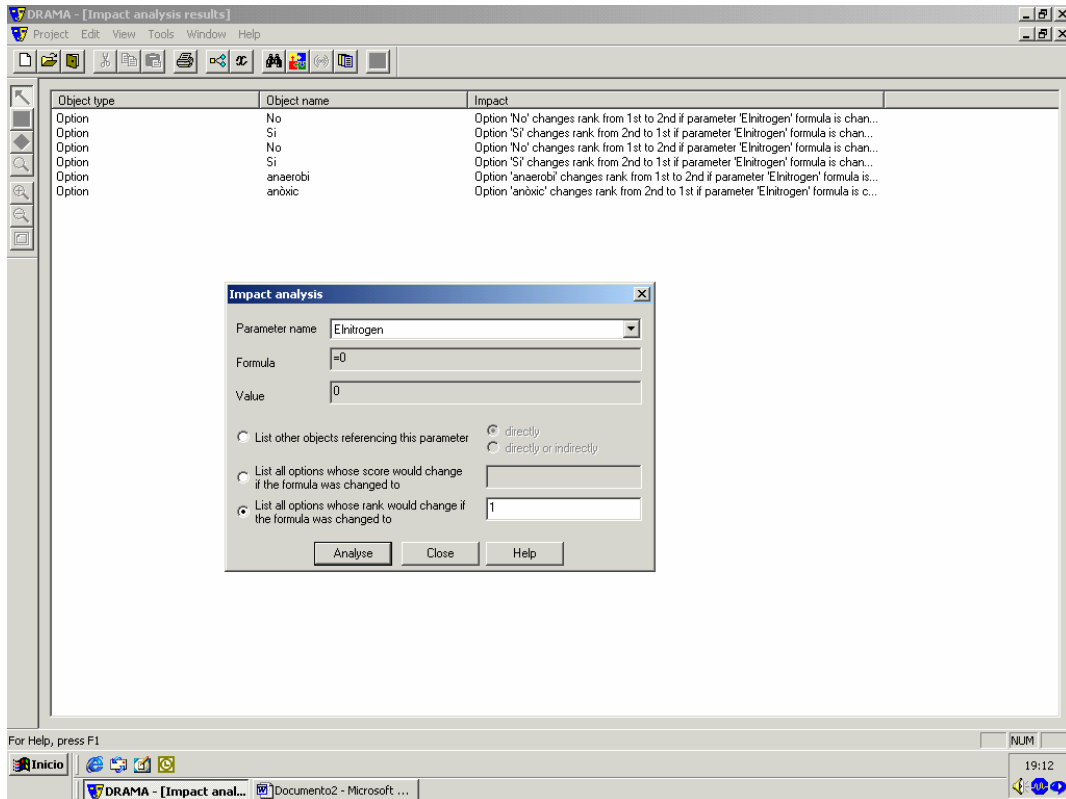


Figura 5-4 Resultats d'aplicar l'anàlisi d'impacte al procés de disseny

A la Figura 5-4 s'observa una finestra interior on es fa l'anàlisi d'impacte canviant el valor del paràmetre Elnitrogen per poder observar: (1) la llista d'objectes relacionats, directament o indirectament, amb el paràmetre seleccionat; (2) la llista de totes les alternatives que canviarien de puntuació, i; (3) la llista de totes aquelles alternatives que canviarien de posició.

Els resultats obtinguts han estat els que afecten a la decisió D16-Recirculació interna, on l'alternativa "No" canviaria de la primera posició a la segona i l'alternativa "Si" canviaria de la segona posició a la primera per tal de ser l'alternativa recomanada. Una altra decisió afectada és la D8-Tipus de selector, on l'alternativa "Anaerobi" canviaria de la primera posició a la segona i l'alternativa "Anòxic" canviaria de la segona posició a la primera per ser l'alternativa recomanada.

En principi aquest canvi no afecta a la decisió D1-Reactor biològic perquè no caldria canviar la configuració del reactor biològic. S'intentaria aprofitar la configuració actual canviant les condicions d'operació del primer compartiment del flux pistó d'aeròbies a anòxiques per obtenir,

juntament amb la inclusió de recirculació interna, una configuració tipus Ludzack-Ettinger. Si els volums no fossin suficients s'haurien d'ampliar. Aquest últim canvi esmentat és possible gràcies a la interactivitat, esmentada anteriorment, que porta la metodologia proposada.

El fet d'enregistrar tot el procés de disseny permet crear documents on es presenti tot el registre del procés de disseny portat a terme i on es reflecteixin els objectius inicials de disseny, les qüestions plantejades, els criteris que s'han tingut en compte, els paràmetres utilitzats, les alternatives seleccionades, etc (vegeu la secció 8.2 dels annexos).

Un altra possibilitat que aporta la metodologia de disseny és la d'associar documents externs i anotacions a algun dels components del procés de disseny.

Finalment, cal destacar la utilització del programa DRAMA com a eina que integra tots els aspectes que s'han esmentat anteriorment. DRAMA permet explotar adequadament la naturalesa jeràrquica del procés de disseny, permet aplicar l'anàlisi de decisions multicriteri i presenta la possibilitat d'automatitzar el procés de disseny, integrant diferents eines de disseny, en aquest cas els programes GPS-X i CapdetWorks. A més, facilita un dels aspectes més interessants de la metodologia proposada: la possibilitat d'enregistrar tot el procés de disseny, amb totes les opcions que això comporta.

Els resultats preliminar presentats demostren que la metodologia de disseny conceptual proposada a la present Tesi proporciona una eina útil per a seleccionar, d'una manera ordenada i consistent, totes les unitats que conformen el diagrama de flux d'una EDAR. Aquesta metodologia no aporta per si sola la solució idònia al problema de disseny plantejat, sinó que aporta un marc de treball que facilita el seguiment de tots els passos de disseny proposats.

No obstant, es tracta d'una proposta inicial encara poc contrastada i validada, pel que confiem en que treballs posterior de recerca evolucionin la metodologia proposada. Els propis resultats de la present Tesi permeten detectar alguns dels aspectes principals en els que cal treballar, i que es detallen a continuació:

A la classificació de la llista inicial de criteris proposats a la Tesi es detecta que el consum energètic presenta una doble comptabilitat, degut a que apareix classificat com a criteri ambiental i també com a criteri econòmic. En canvi, s'evita la doble comptabilitat en els aspectes de la qualitat de l'efluent, comptabilitzant-los com a criteris de tipus tècnic en termes d'eficiència d'eliminació i no com a criteris ambientals. Aquesta solució no es creu prou satisfactòria i s'entén que es podria millorar en treballs futurs.

Pel que fa als criteris utilitzats per avaluar les alternatives, s'hauria de desenvolupar una metodologia que servís de guia per triar a cadascuna de les decisions la totalitat dels criteris que puguin afectar a la selecció de l'alternativa per resoldre la decisió plantejada. També es milloraria la metodologia utilitzant criteris normalitzats per tal de poder interpretar millor els resultats obtinguts i facilitar la seva conversió a valors compresos entre 0 i 1 que representen la pitjor i millor situació esperada.

Per portar a terme l'avaluació d'alternatives s'han volgut tenir en compte criteris de tipus social com són els sorolls o les olors. Se'n és conscient que aquest aspecte ha estat tractat de manera molt superficial i que la inclusió d'aquests tipus de criteris s'hauria de fer mitjançant tècniques de participació ciutadana.

L'assignació de pesos als criteris s'ha realitzat mitjançant el mètode d'assignació directa segons a la categoria a la que pertanyen, és a dir, cada criteri classificat com a ambiental presenta un pes d'1, com a tècnic un pes de 0,8, com a social un pes de 0,6 i com a econòmic un pes de 0,4. S'ha detectat que aquesta assignació de pesos suposa un problema degut a que l'avaluació d'alternatives a més de dependre del pes que presenta cada criteri també depèn del nombre de criteris utilitzats de cada categoria.

Per últim, la quantificació dels criteris referents a l'operació del procés s'ha realitzat majoritàriament amb Capdetworks. Aquesta quantificació es pot millorar en treballs futurs incorporant simulacions dinàmiques amb un model mecanístic tipus ASM1 (o qualsevol de la llibreria de GPS-X), fet que permetria avaluar d'una manera més real diferents escenaris d'operació. També caldria desenvolupar metodologies per tal de quantificar els criteris que s'han avaluat de manera qualitativa basada en l'experiència.

## 6 CONCLUSIONS

Aquesta Tesi ha contribuït al camp del disseny conceptual d'estacions depuradores d'aigües residuals mitjançant el desenvolupament d'una metodologia per donar suport a aquesta etapa de disseny preliminar.

S'ha proposat una metodologia sistemàtica de disseny conceptual d'estacions depuradores d'aigües residuals que combini el procés de decisió jeràrquic i l'anàlisi de decisions multicriteri. S'han utilitzat diferents programes, GPS-X i CapdetWorks, per avaluar diferents alternatives mitjançant simulacions i estimacions econòmiques. S'ha utilitzat DRAMA per integrar tots aquests elements i donar suport al desenvolupament del procés de disseny. S'han descrit els diferents passos que conformen la metodologia i els material de suport informàtic utilitzats.

S'ha aplicat aquesta metodologia per dissenyar una EDAR amb els mateixos requeriments que l'EDAR que hi ha actualment a Granollers. Primerament s'ha definit la informació de partida, on s'ha caracteritzat l'aigua residual d'entrada, s'ha descrit una possible localització de l'EDAR i s'han fixat els objectius inicials de disseny i els criteris que s'han tingut en compte, així com la seva importància relativa al llarg del procés de disseny. Tot seguit s'ha desenvolupat el procés de decisió jeràrquic proposat. En cada decisió s'ha plantejat una qüestió, s'han proposat alternatives, s'han triat diferents criteris de la llista definida inicialment i s'han avaluat les alternatives classificades seguint els passos següents: quantificació de criteris, normalització, suma ponderada i selecció de l'alternativa. Per portar a terme la normalització s'han definit funcions de valor concretes per a cada decisió i per a cada criteri. Aquestes funcions de valor depenen dels valors quantificats en l'etapa anterior.

Finalment, s'ha fet una anàlisi comparativa de l'EDAR resultat d'aplicar la metodologia proposada amb l'EDAR que hi ha actualment a Granollers. Aquesta anàlisi comparativa ha permès avaluar els avantatges associats a l'aplicació d'aquesta metodologia i s'ha conclòs que aquesta metodologia:

- Proporciona una sistemàtica clara i de fàcil aplicació pel procés de disseny.

- Aporta consistència al procés de disseny mitjançant l'aplicació del procés de decisió jeràrquic i l'anàlisi de decisions multicriteri.
- Permet incloure aspectes ambientals, tècnics, socials i econòmics.
- Relaciona aquests aspectes amb els objectius inicials de disseny.
- Integra simulacions i estimacions econòmiques efectuades mitjançant GPS-X i CapdetWorks.
- Facilita la selecció d'alternatives respecte a un conjunt de criteris determinat mitjançant el mètode d'anàlisi multicriteri SMART.
- Aporta un procés de disseny interactiu.
- Permet crear un registre de tot el procés de disseny que millora la comunicació i la coordinació entre els membres que porten a terme el disseny i la realització de futurs dissenys o redissenys. Al mateix temps, aquest registre permet:
  1. Avaluar inconsistències presents en el procés de disseny.
  2. Buscar determinades paraules clau.
  3. Portar a terme diferents anàlisis d'impacte.
  4. Crear documents que reflecteixin tot el procés de disseny portat a terme.
- Permet associar documents externs.
- La utilització de DRAMA permet integrar tots aquests aspectes d'una manera automàtica. DRAMA permet explotar adequadament la naturalesa jeràrquica del procés de disseny i aplicar l'anàlisi de decisions multicriteri, presenta la possibilitat d'automatitzar la presa de decisions al llarg del procés de disseny i també d'enregistrar totes les decisions i la seva justificació, amb totes les possibilitats i el suport que aquesta característica comporta.

## 7 BIBLIOGRAFIA

Adams, E. W., R. F. Fagot, "A model of riskless choice", *Behavioral Science*, 4, 1-10 (1959).

Azar, C., J. Holmerg i G. Berndes, "Socio-ecological indicators for sustainability", *Ecological Economics*, 18, 89-112 (1996).

Bañares-Alcántara, R. i J. M. P. King, "Design support system for process engineering III. Design rationale as requirement for effective support". *Computers and Chemical Engineering*, 21(3), 263-276 (1995).

Beck, M.B. i W. Shilling (eds), "Uncertainty, risk and transient pollution events", *Water Science Technology*, 33 (2) (1996).

Beinat, E., Multiattribute value function for environmental management. Tingeren Institute Research Series, Amsterdam, Holanda (1995).

Beinat, E., An interactive procedure to assess value functions for environmental quality. Research report, R-92/16, Institute for Environmental Studies, Free University, Amsterdam, Holanda (1992).

Belton, V., "A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function", *European Journal of Operational Research*, 26, 7-21 (1986).

Boland, D. i E Hindmarsh, "Heat exchanger network improvements", *Chemical Engineering Progress* 80, 47 (1984).

Brown, C.A., "The central Arizona water control study: a success story for multiobjective planning and public involvement", *Water Resources Bulletin*, 20(3), 331-338 (1984).

Buede, D.M. i D. T. Maxwell, "Rang disagreement: a comparison of multicriteria methodologies". *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 4, núm. 1, 1-21 (1995).

CLTM Dutch Committee for Long-Term Environmental Policy, *The environment: Towards a Sustainable Future*, Kluwer, Dordrecht, Holanda (1994).

Colprim J., "Estudi del comportament de sistemes biològics de depuració d'aigües residuals mitjançant models mecànics, optimitzant la informació de les dades obtingudes en línia" (Tesi doctoral), Universitat de Girona (1998).

Comas, J., "Development, Implementation and Evaluation of an Activated Sludge Supervisory System for the Granollers WWTP" (Tesi doctoral), Universitat de Girona (2000).

Daichendt, M. i I. E. Grossman, "Integration of hierarchical decomposition and mathematical programming for the synthesis of process flowsheets". *Computational. Chemical Engineering*, 22(1-2),147-175 (1996).

Dalemo, M., "The modelling of an anaerobic digestion plant and a sewage plant in the ORWARE simulation model". Report 213, The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering, Uppsala, Suècia (1996).

Dold, P. L., "Incorporation of biological excess phosphorous removal in a general activated sludge model". Proc. 13<sup>th</sup> International Symposium on Wastewater Treatment, Montreal, Canada (1990).

Douglas, J. M., "Synthesis of multistep reaction processes", dins J. J. Sirola, I. E. Grossmann i G. Stephanopoulos (eds.), *Foundation of Computer-Aided Processes Design*, Cache-Elsevier, Amsterdam, Holanda (1990).

Douglas, J., *Conceptual design of chemical processes*, McGraw-Hill (1988).

Douglas, J. M., "A hierarchical decision procedure for process synthesis", *AIChE Journal*, 31, 353 (1985).

Douglas J. M. i D. C. Woodcock, "Cost diagrams and the quick screening of process alternatives", *Industrial Engineering Chemical Process Des. Dev.* 24, 970 (1985).

Edwards, W., How to use multiattribute utility measurement for social decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-7, 326-40 (1977).

Fishburn, P. C., "Independence in utility theory with whole product sets", *Operation Research*, 13, 28-45 (1965).

Flores, X., N. Vidal, A. Bonmatí, J. B. Copp i I. Rodríguez-Roda, "Combining hierarchical decision process with multi-criteria analysis for conceptual design of WWTP", 9<sup>th</sup> IWA Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment, Praga, República Txeca (2003).

Freitas I. S. F., C. A. V. Costa i R. A. R. Boaventrua, "Conceptual design of industrial wastewater treatment processes: primary treatment". *Computational Chemical Engineering*, 24, 1725-1730 (2000).

Gale, P., "Developments in microbial risk assessment models for drinking water-a short review", *Journal of Applied Bacteriology*, 81 (4), 403-410 (1996).

Gilbert A. J. i J. F. Feenstra, "A sustainable indicator for the Dutch environmental policy theme". *Ecological Economics*, 9:253-266 (1994).

Glinos K. i M.F. Malone, "Design of sidestreams distillations columns", *Industrial Engineering Chemical Process Des. Dev.* 24, 822 (1985).

Graaf J.H.J.M. van der, H. A. Meester-Broertjes, W. A. Bruggeman i E. J. Vles, "Sustainable technological development for urban-water cycles". *Water Science Technology*, 35 (10), 213-220 (1997).

Grossmann, I. E., "MINLP optimization strategies and algorithms for process synthesis", dins J. J. Siirola, I. E. Grossman i G. Stephanopoulos, *Foundations of Computer-Aided Process Design*, Cache-Elsevier, Amsterdam, Holanda (1990a).



Grossmann, I. E., "Mixed-integer nonlinear programming techniques for the synthesis of engineering systems". *Research in Engineering Design*, 1, 205 (1990b).

Grossmann, I. E., "Mixed-integer programming approach for the synthesis of integrated process flowsheets", *Computational Chemical Engineering* 9, 463 (1985).

Guinée, J.B., Haes de H.A.U. i G. Huppes, "Quantitative life cycle assessment of products, 1 Goal definition and inventory", *Journal of Cleaner Production*, 1 (1), 3-13 (1993a).

Guinée, J. B., R. Heijungs, Haes, de H.A.U. i G. Huppes, "Quantitative life cycle assessment of products, 2 Classification, valuation and improvement analysis", *Journal of Cleaner Production*, 1 (2), 81-91 (1993b).

Gutiérrez G. i P. Vega, "Integrated Design of Biological Processes and their control system including closed loop properties for disturbances rejection", 15è Congrés Mundial sobre Control Automàtic, Barcelona, Espanya (2002a).

Gutiérrez G. I P. Vega, "Process Synthesis applied to activated sludge processes: a framework with MINLP optimisation models". 15è Congrés Mundial sobre Control Automàtic, Barcelona, Espanya (2002b).

Hastings, N. A. J. i J.B. Peacock, *Statistical distributions*, Wiley, Nova York, EUA (1975).

Henze, M., C. P. L. Jr. Grady, W., G. Gujer, R. Marais i T. Matsuo, *Activated Sludge Model No. 1*, IAWPRC Scientific and Technical Reports, 1, IAWPRC, Londres, Regne Unit (1987).

Hollick, M., "The role of quantitative decision-making methods in environmental impact assessment", *Journal of Environmental Management*, 12, 65-78 (1981).

Holmér, J., "Socio-ecological Principles and indicators for sustainability", (Tesi doctoral), Institute of Physical Resource Theory, Chalmers University of Technology, Göteborg, Suècia (1995).

Hwang, C.L., K. Yoon. Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications: a state of the art, Springer, Berlín, Alemanya (1981).

Hwang, C.L. i A.S.M. Masud, Multiple objective Decision Making. Methods and applications: a state of the art, Springer, Berlin, Alemanya (1979).

Hydromantis, CapdetWorks, Hydromantis, Inc., Ontario, Canadà (2001).

Hydromantis, *GPS-X Technical Reference*, Hydromantis, Inc., Ontario, Canadà (1995).

ISO/DIS 14031. Environmental Management-Environmental Performance Evaluation, Guidelines, American National Standards Institute, Nova York, EUA (1998).

IWSA, Performance Indicators for transmission and Distribution Systems, Workshop postprint, Lisboa, Portugal, 5-7 de maig (1997).

Janssen, R., Multiobjective decision support for environmental management, Kluwer, Dordrecht, Holanda (1992).

Kärrman, E., "Environmental system analysis of wastewater management", (Tesi doctoral), Department of Water Environment Transport, Chalmers University of Technology, Göteborg, Suècia (2000).

Keelin, T.W., "A parametric representation of additive value functions", *Management Science*, 27(10), 1200-1208 (1981).

Keeney, R.L., Value-Focused Thinking, Harvard University Press, Cambridge, Regne Unit (1992).

Keeney, R.L., H. Raiffa, Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs, Wiley, Nova York, EUA (1976).

Keeney, R. L., "Quasi-separable utility functions". *Naval Research Logistics Quarterly*, 15, 551-65 (1968).

Kirkwood, R. L., M. H. Locke i J. M. Douglas, "A prototype expert system for synthesizing chemical process flowsheets", *Computers and Chemical Engineering*, 12, 329 (1988).

Kirkwood, C. W., R. Sarin, "Preference conditions for multiattribute value functions", *Operation Research*, 28(1), 225-232 (1980).

Krantz, D. H., "Conjoint measurement: the Luce-Tukey axiomatization and some extensions", *Journal of Mathematical Psychology*, 1, 248-77 (1964).

Kranvanja, Z. i I. E. Grossmann, "New developments and capabilities in PROSYN –an automated topology and parameter synthesizer". *Computers and Chemical Engineering*, 18, 1097 (1994).

Kranvanja, Z. i I. E. Grossmann "PROSYN i MINLP process synthesis". *Computers and Chemical Engineering*, 14, 1363 (1990).

Linnhoff B. i D. R. Vredeveld, "Pinch technology has come of age", *Chemical Engineering Progress* 80, 33 (1984).

Lootsma, F. A., "Scale sensitive in the multiplicative AHP, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*", 2, 87-110 (1993).

Luce, R. D. i J. W. Tuckey, "Simultaneous conjoint measurement: a new type of fundamental measurement", *Journal of Mathematical Psychology*, 1, 1-27 (1964).

Mahalec, V. i R. L. Motard, "Procedures of the initial design of chemical processing systems", *Computational Chemical Engineering*, 1, 149 (1977a).

Mahalec, V. i R. L. Motard, "Evolutionary search for an optimal limiting process flowsheet", *Computational Chemical Engineering*, 1, 149 (1977b).

Malmqvist, P. A. "Sustainable urban water management", *Vatten*, 55 (1), 7-17 (1999).

Mascler, B.A. i S. Regli, "Use of microbial risk assessment in setting US drinking water standards". *International Journal Fd. Microbiology*, 18 (4), 245-256 (1993).

Metcalf i Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill, Nova York, EUA, 4a ed. (2003).

Morris, P. i R. Therivel, *Methods of Environmental Impact Assessment*, UCL Press Limited, Londres, Regne Unit (1996).

Neuman, V., J. O., Morgenstern. *Theory of Games and Economic Behaviour*, Wiley, Nova York (1953), 3a ed. (1970).

Nishida N., G. Stephanopoulos i A. W. Westerberg, "A review of process synthesis", *AIChE Journal* 27, 321 (1981).

Olsson, G., H. Aspegren i M. K. Nielsen, "Operation and Control of Wastewater Treatment. A Scandinavian Perspective over 20 years", *Water. Science Technology* 37 (12), 1-13 (1998).

Opschoor, H. i D. Pearce (eds.), *Persistent Pollutants: Economics and Policy*, Kluwer, Dordrecht, Holanda (1991).

Pérez W., P. Colmenares, P. Vega i M. Francisco. "Use of Linear Inequalities Systems for Integrated Design", European Control Conference 2003.

Pérez W., P. Colmenares, P. Vega i M. Francisco, "Ecuaciones lineales matriciales para el diseño integrado de procesos". XXII Jornadas de Automática, Tenerife, Espanya, Setembre 2002a.

Pollack, R. A., "Additive von Neumann and Morgenstern utility functions", *Econometrica*, 35, 485-94 (1967).

Powers G. J., "Heuristic synthesis and process development", *Chemical Engineering Progress*, 68-88 (1972).

Qasim, S. R., Wastewater treatment plants. Planning, Design, and Operation, Technomic Publishing Company, Lancaster, Pennsilvània, EUA, 2a ed (1999).

Rietveldt, P., "The use of qualitative information in macro economic policy analysis", dins M. Despontin, P. Nijakamp i J. Spronk (eds.), *Macro Economic Planning With Conflicting Goals*, Springer, Berlín, Alemanya, 263-280 (1984).

Ríos Unsua, D. Sensitivity analysis in multiobjective decision making, Springer-Verlag, Berlín, Alemanya 193 (1990).

Rittel, H. W. i M. M. Weber, Dilemmas in a general theory of planning, *Policy Sciences* (1973).

Rodríguez, E, J. L. Martínez, V. Llorente, "Instrumentación, control y modelización/simulación en plantas depuradoras de aguas residuales", *Tecnología del agua*, 221 (2002).

Rodríguez-Roda, I., M. Poch i R. Bañares-Alcántara, "Application of a support system to the design of wastewater treatment plants", *Artificial. Intelligence Engineering* 14, 45-61 (2000a).

Rodríguez-Roda I., M. Poch i R. Bañares-Alcántara, "Conceptual design of wastewater treatment plants using a design support system", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 75, 73-81 (2000b).

Roeleveld P. J., A. Klapwijk, P. G. Egges, W. H. Rulkens i W. Starckenburg, "Sustainability of Municipal Wastewater Treatment", *Water Science and Technology*, 25(10), 221-228 (1997).

Ryding, S. O., Environmental Management Handbook, Lewis Publishers,, Boca Raton, Florida, EUA (1992).

Saaty, T.L., "How to make a decision: the analytic hierarchy process", *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26 (1990).

Saaty, T. L., *The analytical hierarchy process*, McGraw-Hill, Nova York, EUA (1980).

Siegel, S., *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, McGraw-Hill, Tokio, Japó (1956).

Siirola J. J. i D. F. Ruud, "Computer-aided synthesis of chemical process designs", *Industrial Engineering Chemical Fundamentals*, 10, 353 (1971).

Siirola J. J., G. J. Powers i D. F. Ruud, "Synthesis of system designs III. Towards a process concept generator", *AIChE Journal* 17, 667 (1971).

Smith, R., *Chemical process design*, McGraw-Hill (1995).

Smith R. i B. Linnhoff, "The design of separators in the context of overall processes". *Chemical Engineering Research Des.* 66, 195 (1988).

Smith, P. G. R. i J.B. Theberge, "Evaluating natural areas using multiple criteria: theory and practice, *Environmental Management*", 11(4), 447-460 (1987).

Steffens, M. A., E. S. Fraga i I. D. L. Bogle, "Multicriteria process synthesis for generating sustainable and economic bioprocesses". *Computers and Chemical Engineering*, 23, 1455-1467 (1999).

Stilwell W.G., D.A. Seaver i W. Edwards, "A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making", *Organizational Behaviour and Human Performance*, 28, 62-77 (1981).

Takács, I., G. G. Patry i D. Nolasco, "A dynamic model of the clarification-thickening process". *Water Research*, 25 (10), 1263-1271 (1991).

Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment Processes (IAWQ), "Activated sludge Model No. 2". International Association on Water Quality (IAWQ), Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment Processes (1995).

Tietenberg, T., Environmental Economics and Policy, Harper Collins, Nova York, EUA, 3a ed (2001).

Vidal N., M. Poch, E. Martí i I. Rodríguez-Roda. "Evaluation of the environmental implications include structural changes in a wastewater treatment plant". *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 77, 1206-1211 (2002a).

Vidal N., R. Bañares-Alcántara, I. Rodríguez-Roda i M. Poch, "Design of wastewater treatment plants using a conceptual design methodology", *Industrial Engineering Chemical Research*, 41, 4993-5005 (2002b).

Weber W. I K. Borcherdig, "Behavioural influences on weight judgements in multi-attribute decision making", *European Journal of Operational Research*, EOR01371 (1992).

Weber, M., D. Einsenführ i Von Winterfeldt. "The effects of splitting attributes on weights in multiattribute utility measurement", *Management Science*, 34 (4), 431-445 (1988).

WEF, Manual or Practice núm8. ASCE Manual and Report on Engineering Practice núm. 76 Design of Municipal Wastewater Treatment Plants (1992).

Westerberg, A. W., Optimization in computer-aided design, Foundations of Computer-Aided Design (R.S. Mah i W.D. Seider, eds) vol. 1, pàg. 1949. *Engineering Foundation* (1981).

Winterfeldt, V. i W. Edwards, Decision analysis and behavioural research, Cambridge University Press (1986).

WPCF, Manual of Practice nº 13, "Aeration" (1988).

## 8 ANNEXOS

### 8.1 Arxiu DRAMA: EDAR resultat d'estudi

Project path: X:\RESULTATS\arxius drama\EDAR resultat d'estudi.prj

#### QÜESTIONS

##### PROCÉS DE DISSENY CONCEPTUAL

###### ..Línia d'aigües

###### ....Secció de reacció

###### .....D1-Reactor biològic

###### .....D2-Aeració

###### .....D3-Material dels difusors

###### .....D4-Control d'oxigen

###### .....D5-Consignes

###### .....D6-Revisió de consignes?

###### .....D7-Selector

###### .....D8-Tipus de selector

###### ....Secció de separació

###### .....Abans del reactor

###### .....D9-Decantació primària

###### .....D10-Geometria del decantador primari

###### .....S'hi ha d'incloure un tractament preliminar?

###### .....D11-Homogeneïtzador

###### .....D12-Dessorrador

###### .....D13-Tipus de dessorrador

###### .....D14-Desbast de fins i de grollers

###### .....D15-Geometria del decantador secundari

###### .....D16-Recirculació interna?

###### ..Línia de fangs

###### ....Secció de reacció

###### .....D17-Estabilització



- ....[Secció de separació](#)
- .....[Abans del reactor](#)
- .....[D18-Espessiment de fangs primaris](#)
- .....[D-19 Espessiment de fangs secundaris](#)
- .....[Després del reactor](#)
- .....[D20-Deshidratació](#)
- ....[D21-Gestió final del fang](#)

## PARÀMETRES

[El nitrogen](#)

[IsSelectedanòxic](#)

[IsSelectedanaerobi](#)

[IsSelectedaerobi](#)

## PROCÉS DE DISSENY CONCEPTUAL

El procés de disseny conceptual que es portarà a terme a continuació és el resultat de combinar el procés de decisió jeràrquic i l'anàlisi de decisions multicriteri. El procés de decisió s'ha dividit en dues parts diferenciades: la línia d'aigües i la línia de fangs. A la línia d'aigües el procés comença amb la selecció del reactor biològic, unitat on es produirà la depuració de l'aigua residual d'entrada. Tot seguit es decidiran els sistemes de separació, tant abans com després de reactor. Pel que fa a la línia de fangs, la primera unitat que seleccionada serà el tipus d'estabilització del fang en excés. Tot seguit es decidiran els sistemes de separació, tant abans com després de l'estabilització.

## OBJECTIUS

### OBJ1: Minimitzar l'impacte ambiental

Notes:	L'impacte produït pel funcionament de l'EDAR en relació amb el consum energètic i les matèries primeres, les emissions d'aigua residual tractada, les emissions a l'atmosfera i la producció de fangs.
--------	--

### OBJ2: Minimitzar o maximitzar els aspectes tècnics

Notes:	Tenint en compte la seva flexibilitat, la robustesa, la
--------	---

	<p>compatibilitat entre unitats, el control del procés i el control d'eficiència de l'eliminació per complir els paràmetres d'aigua tractada establerts per la Directiva europea 91/271/CEE:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— <math>DBO_5 &lt; 25 \text{ mg l}^{-1}</math></li> <li>— <math>DQO &lt; 125 \text{ mg l}^{-1}</math></li> <li>— <math>SS &lt; 35 \text{ mg l}^{-1}</math></li> </ul> <p>i d'eficiència de tractament dels fangs generats per complir els paràmetres següents:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Deshidratar i estabilitzar el fang</li> <li>— Sequedat del fang <math>\geq 25\%</math></li> <li>— <math>SSV \leq 55\%</math></li> </ul>
--	---

**OBJ3: Minimitzar l'impacte social**

Notes:	L'impacte produït pel funcionament de l'EDAR referent a l'ocupació del sòl, l'impacte visual, les olors i els sorolls.
--------	--

**OBJ4: Minimitzar el cost econòmic**

Notes:	El cost de construcció, operació, manteniment, material i de productes químics.
--------	---

**D1-Reactor biològic**

El reactor és la part més important de la línia d'aigües, és on es produeix la transformació del producte d'entrada, en aquest cas l'aigua residual. Els reactors es poden classificar en dos tipus: fisicoquímics i biològics. Els reactors fisicoquímics són aquells en els quals l'aigua residual és tractada mitjançant processos físics amb l'addició de productes químics per precipitar els contaminants que conté l'aigua residual. Per altra banda, els reactors biològics, anomenats bioreactors, són aquells en què l'aigua residual és tractada mitjançant processos biològics (Metcalf i Eddy, 2003). El fonament d'aquesta etapa no és altre que accelerar el procés biològic que es donaria a la natura, és a dir, la degradació, per part d'una població multiespecífica de microorganismes, de la matèria orgànica dissolta en l'aigua residual. Els bioreactors poden mantenir la biomassa fixada o bé estar en suspensió. Els bioreactors de biomassa fixada

contenen la biomassa subjecta a la superfície del reactor i estan exposats tant a l'aigua residual que s'ha de tractar com a l'atmosfera per tal de disposar de l'oxigen necessari per degradar la matèria orgànica dissolta en l'aigua residual. Per contra, els bioreactors de biomassa en suspensió contenen els microorganismes i l'aigua residual que s'ha de tractar combinats, barrejats i airejats a l'interior durant un temps suficient perquè es produeixi la degradació de la matèria orgànica dissolta en l'aigua residual. Aquests últims s'anomenen sistemes de fangs activats. Els sistemes de fangs activats consisteixen en un tanc d'aeració, un decantador secundari i una recirculació de fangs. La purga de fangs es pot fer des del tanc d'aeració o bé des de la recirculació.

### Alternatives

[Reactor tipus mescla completa](#)

[Reactor tipus flux de pistó](#)

[Reactor carrussel d'oxidació](#)

### Criteris

[C1-4 Producció de fangs en excés](#)

[C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen](#)

[C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos](#)

[C2-5 Robustesa per acceptar xocs de càrrega](#)

[C2-6 Robustesa al rentat de microorganismes al decantador](#)

[C3-2 Volum](#)

[C4 Cost econòmic total](#)

### Alternatives

[Reactor tipus mescla completa](#)

Decisió:	Descartada
Notes:	El reactor de mescla completa presenta unes característiques uniformes a tot el reactor. En aquesta configuració l'aigua residual, juntament amb la recirculació de fangs, s'introdueix i es distribueix en el reactor i fa que els sòlids en suspensió, la taxa de respiració i la DBO <sub>5</sub> siguin

	<p>uniformes en tot el reactor. El licor mescla es barreja completament mitjançant aeració mecànica o difusió d'aire. Aquests reactors operen amb un baix temps de retenció hidràulic, una elevada taxa de recirculació del fang i una elevada càrrega màssica. La geometria d'aquest tipus de reactor pot ser quadrada o rectangular (WEF, 1992).</p>
--	--

### Reactor tipus flux de pistó

Decisió:	Seleccionada
Notes:	<p>El reactor de flux de pistó és el règim hidràulic convencional. En aquest tipus de reactor l'aigua residual i la recirculació s'introdueixen per un extrem del tanc i circulen a través del tanc fins a l'extrem oposat sense dispersió axial. Durant aquest trajecte les partícules mantenen la seva identitat i el temps en què es troben al tanc és igual al temps de retenció teòric. A l'inici del tanc hi ha una elevada càrrega màssica i, per tant, un elevat consum d'oxigen dissolt, mentre que al final del tanc hi ha una baixa càrrega màssica i, per tant, un baix consum d'oxigen dissolt.</p> <p>La geometria típica d'aquest tipus de reactor és rectangular (WEF, 1992).</p>
Decisions relacionades:	<p><a href="#">D2-Aeració</a></p> <p><a href="#">D4-Control d'oxigen</a></p> <p><a href="#">D7-Selector</a></p>

### Reactor carrussel d'oxidació

Decisió	Descartada
Notes:	<p>El reactor carrussel d'oxidació presenta una geometria en forma de canal ovalat i l'aigua residual que s'ha de tractar, juntament amb la recirculació, s'introdueix en un extrem del canal, mentre que l'aigua tractada surt per l'extrem oposat.</p>

	<p>Els reactors tipus carrussells d'oxidació operen en forma d'aeració prolongada amb elevats temps d'aeració, concentracions elevades de sòlids al reactor, elevades taxes de recirculació, baixes càrregues orgàniques i elevats temps de residència del fang. Un dels objectius principals d'aquest procés és mantenir la biomassa en fase de respiració endògena (WEF, 1992).</p>
--	---

### **Criteris**

#### **C1-4 Producció de fangs en excés**

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

#### **C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen**

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

#### **C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos**

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

#### **C2-5 Robustesa per acceptar xocs de càrrega**

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

## C2-6 Robustesa al rentat de microorganismes al decantador

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

## C3-2 Volum

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

## C4 Cost econòmic total

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives**

## C1-4 Producció de fangs en excés amb un reactor de tanc agitat

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C1-4 Producció de fangs en excés amb un reactor de flux de pistó

Fórmula de quantificació:	0,04
Valor de quantificació:	0,04

## C1-4 Producció de fangs en excés amb un reactor carrusel d'oxidació

Fórmula de quantificació:	0,8
Valor de quantificació:	0,8

## C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen amb un reactor de tanc agitat

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen amb un reactor de flux de pistó

Fórmula de quantificació:	0,8
Valor de quantificació:	0,8

## C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen amb un reactor carrussel d'oxidació

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

## C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos amb un reactor de tanc agitat

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos amb un reactor de flux de pistó

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

## C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos amb un reactor carrussel d'oxidació

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C2-5 Robustesa per acceptar xocs de càrrega amb un reactor de tanc agitat

Fórmula de quantificació:	1
---------------------------	---

Valor de quantificació:	1
-------------------------	---

#### C2-5 Robustesa per acceptar xocs de càrrega amb un reactor de flux de pistó

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C2-5 Robustesa per acceptar xocs de càrrega amb un reactor carrussel d'oxidació

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C2-6 Robustesa al rentat de microorganismes al decantador amb un reactor de tanc agitat

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C2-6 Robustesa al rentat de microorganismes al decantador amb un reactor de flux de pistó

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

#### C2-6 Robustesa al rentat de microorganismes al decantador amb un reactor carrussel d'oxidació

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

#### C3-2 Volum amb un reactor de tanc agitat

Fórmula de quantificació:	0,8
Valor de quantificació:	0,8

#### C3-2 Volum amb un reactor de flux de pistó

Fórmula de quantificació:	0,64
Valor de quantificació:	0,64



### C3-2 Volum amb un reactor carrussel d'oxidació

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

### C4 Cost econòmic total amb un reactor de tanc agitat

Fórmula de quantificació:	0,2
Valor de quantificació:	0,2

### C4 Cost econòmic total amb un reactor de flux de pistó

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

### C4 Cost econòmic total amb un reactor carrussel d'oxidació

Fórmula quantificada	0,18
Valor quantificat	0,18

## D2-Aeració

Un cop decidit el tipus de reactor que s'hi ha d'incloure, s'ha de decidir quin sistema d'aeració s'hi inclourà. L'objectiu dels sistemes d'aeració és, per una banda, transferir oxigen al sistema perquè els microorganismes puguin degradar la matèria orgànica dissolta en l'aigua residual i, per l'altra, mantenir aquests microorganismes en suspensió.

### **Alternatives**

#### Aeració mecànica

#### Difusors

### **Criteris**

#### C1-1 Consum energètic

#### C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen

#### C2-7 Compatibilitat entre unitats

#### C3-1 Impacte visual

[C3-3 Olor](#)[C4 Cost econòmic total](#)**Aeració mecànica**

Decisió	Descartada
Notes:	En els sistemes d'aeració mecànica, l'oxigen s'introdueix a l'aigua directament des de l'atmosfera. Aquests sistemes consisteixen en una o més turbines submergides en l'aigua residual o bé instal·lades superficialment (Metcalf i Eddy, 2003).

**Difusors**

Decisió	Seleccionada
Notes:	En els sistemes d'aeració per difusor l'aire s'introdueix a través de difusors instal·lats al fons del tanc. Aquests sistemes estan formats per difusors submergits en l'aigua residual, conduccions d'aire i bufadors. L'oxigen es transfereix a mesura que les bombolles d'aire es dirigeixen cap a la superfície (Metcalf i Eddy, 1991).
Qüestions relacionades:	<a href="#">D3-Material dels difusors</a>

**Criteris**[C1-1 Consum energètic](#)

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

### C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

### C2-7 Compatibilitat entre unitats

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

### C3-1 Impacte visual

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

### C3-3 Olors

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

### C4 Cost econòmic total

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

## Avaluació d'alternatives

### C1-1 Consum energètic amb aeració mecànica

Fórmula de quantificació:	0,28
Valor de quantificació:	0,28

### C1-1 Consum energètic amb difusors

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

### C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen amb aeració mecànica

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

### C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen amb difusors

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

### C2-7 Compatibilitat entre unitats amb aeració mecànica

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

### C2-7 Compatibilitat entre unitats amb difusors

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

### C3-1 Impacte visual amb aeració mecànica

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

### C3-1 Impacte visual amb difusors

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C3-3 Olors amb aeració mecànica**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C3-3 Olors amb difusors**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C4 Cost econòmic de l'alternativa amb aeració mecànica**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4 Cost econòmic de l'alternativa amb difusors**

Fórmula de quantificació:	0,12
Valor de quantificació:	0,12

**D3-Material dels difusors****Alternatives**[Difusors ceràmics](#)[Difusors de membranes](#)**Criteris**[C1-1 Consum energètic](#)[C2-2 Flexibilitat d'operació en general](#)[C4- Cost econòmic total](#)**Alternatives**[Difusors ceràmics](#)

Decisió	Descartada
Notes:	Els difusors ceràmics estan formats per una sèrie de

	partícules minerals rodones o irregulars que estan unides per formar una xarxa de passadissos interconnectats mitjançant els quals es comprimeix el flux d'aire. Les característiques de la bombolla d'aire que es produeix en el difusor depèn de les interaccions entre la mida del porus, la tensió superficial i el flux d'aire (WEF, 1992).
--	--

### Difusors de membranes

Decisió	Seleccionada
Notes:	Els difusors de membranes són de tipus flexible. A diferència dels difusors de tipus rígid, no tenen una xarxa de passadissos interconnectats, sinó que mitjançant mètodes mecànics es creen orificis individuals i petits que permeten el pas de l'aire (WEF, 1992).

### Criteria

#### C1-1 Consum energètic

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

#### C2-2 Flexibilitat d'operació en general

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

#### C4- Cost econòmic total

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives****C1-1 Consum energètic amb difusors ceràmics**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C1-1 Consum energètic amb difusors de membranes**

Fórmula de quantificació:	0,47
Valor de quantificació:	0,47

**C2-2 Flexibilitat d'operació en general amb difusors ceràmics**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C2-2 Flexibilitat d'operació en general amb difusors de membranes**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C4- Cost total de la unitat amb difusors ceràmics**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4- Cost econòmic total de la unitat amb difusors de membranes**

Fórmula de quantificació:	0,31
Valor de quantificació:	0,31

**D4-Control d'oxigen**

L'oxigen dissolt és un paràmetre clau per a l'operació d'una EDAR, tant des del punt de vista econòmic com de procés. Des del punt de vista econòmic és important perquè l'aportació d'aire al reactor biològic representa el 60% del consum energètic d'una EDAR (Rodríguez *et al.*, 2002).

Per altra banda, la concentració d'oxigen present al reactor ha de ser, en tot moment, prou elevada per no limitar el creixement dels microorganismes heterotròfics i autòtrofs. En els sistemes de biomassa en suspensió, l'oxigen dissolt també és necessari per barrejar el fang activat. Per una banda, la barreja ha de ser suficient perquè l'oxigen penetri dins el floc, però no excessiva per evitar problemes de desfloculació (Olsson, 1998). Per tant, la concentració idònia d'oxigen al reactor biològic és el resultat d'un balanç de les necessitats econòmiques i biològiques del procés (Olsson, 1998). Per obtenir aquest balanç s'apliquen sistemes de control d'oxigen. Els sistemes de control d'oxigen consisteixen a mantenir la concentració d'oxigen entre dos límits anomenats consignes (un de superior i un altre d'inferior). Normalment les necessitats d'oxigen per mantenir una barreja adequada a la bassa d'aeració defineixen el límit inferior d'aportació d'aire. Com a conseqüència d'això, en condicions de càrrega baixa, l'aportació d'aire serà mínima per mantenir aquesta barreja. El límit superior d'aportació d'aire està supeditat a la capacitat del bufador.

### Alternatives

[Incloure-hi control d'oxigen](#)

[No incloure-hi control d'oxigen](#)

### Criteris

[C1-1 Consum energètic](#)

[C2-8 Control del procés](#)

[C4-7 Cost d'inversió](#)

### Alternatives

[Incloure-hi control d'oxigen](#)

Decisió	Seleccionada
Qüestions relacionades:	<a href="#">D5-Consignes</a>



## No incloure-hi control d'oxigen

Decisió	Descartada
---------	------------

**Criteris**

## C1-1 Consum energètic

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

## C2-8 Control del procés

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

## C4-7 Cost d'inversió

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives**

## C1-1 Consum energètic si s'hi inclou control d'oxigen

Fórmula de quantificació:	0,26
Valor de quantificació:	0,26

## C1-1 Consum energètic si no s'hi inclou control d'oxigen

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C2-8 Control del procés amb control d'oxigen**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C2-8 Control del procés sense control d'oxigen**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4-7 Cost d'inversió amb control d'oxigen**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4-7 Cost d'inversió sense control d'oxigen**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**D5-Consignes**

Tal com s'ha esmentat en la decisió anterior, la consigna és el valor desitjat de la variable controlada. En aquest cas és la concentració desitjada d'oxigen dissolt en el reactor.

**Alternatives**

[Un sol punt de consigna](#)

[Tres valors de consigna](#)

**Criteris**

[C1-1 Consum energètic](#)

[C2-1 Flexibilitat d'operació](#)

[C2-7 Compatibilitat entre unitats](#)

[C2-8 Control del procés](#)

[C4-7 Cost d'inversió](#)

**Alternatives**

## Un sol punt de consigna

Decisió	Descartada
---------	------------

## Tres valors de consigna

Decisió	Seleccionada
Qüestions relacionades	<a href="#">D6-S'hi ha d'incloure revisió de consignes?</a>

**Criteris**

## C1-1 Consum energètic

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

## C2-2 Flexibilitat d'operació

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

## C2-7 Compatibilitat entre unitats

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

## C2-8 Control del procés

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8

Prioritat:	1
------------	---

#### C4-7 Cost d'inversió

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

### Avaluació d'alternatives

#### C1-1 Consum energètic amb un sol punt de consigna

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C1-1 Consum energètic amb tres valors de consigna

Fórmula de quantificació:	0,14
Valor de quantificació:	0,14

#### C2-2 Flexibilitat d'operació amb un sol punt de consigna

Fórmula de quantificació:	0,5
Valor de quantificació:	0,5

#### C2-2 Flexibilitat d'operació amb tres valors de consigna

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

#### C2-7 Compatibilitat entre unitats amb un sol punt de consigna

Fórmula de quantificació:	0,5
Valor de quantificació:	0,5

[C2-7 Compatibilitat entre unitats amb tres valors de consigna](#)

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

[C2-8 Control del procés amb un sol punt de consigna](#)

Fórmula de quantificació:	0,5
Valor de quantificació:	0,5

[C2-8 Control del procés amb tres valors de consigna](#)

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

[C4-7 Cost d'inversió amb un sol punt de consigna](#)

Fórmula de quantificació:	0,14
Valor de quantificació:	0,14

[C4-7 Cost d'inversió amb tres punts de consigna](#)

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

[D6-S'hi ha d'incloure la revisió de consignes?](#)**Alternatives**[Sí](#)[No](#)**Críteris**[C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen](#)[C2-7 Compatibilitat entre unitats](#)

**Alternatives**

Sí

Decisió	Descartada
---------	------------

No

Decisió	Seleccionada
---------	--------------

**Criteris**

C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

C2-7 Compatibilitat entre unitats

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives**

C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen amb la revisió de consignes

Fórmula de quantificació:	El nitrogen
Valor de quantificació:	0

C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen sense revisió de consignes

Fórmula de quantificació:	=1-Elnitrogen
Valor de quantificació:	1

C2-7 Compatibilitat entre unitats amb la revisió de consignes

Fórmula de quantificació:	= Elnitrogen
---------------------------	--------------

Valor de quantificació:	0
-------------------------	---

### C2-7 Compatibilitat entre unitats sense revisió de consignes

Fórmula de quantificació:	=1-Elnitrogen
Valor de quantificació:	1

### D7-Selector

Els selectors tenen com a objectiu promoure el creixement de microorganismes formadors de floc i eliminar els microorganismes filamentosos. Els selectors se situen al principi de la bassa d'aeració com un tanc separat, en el cas dels reactors de mescla completa, o bé formant una etapa del mateix tanc, en el cas dels reactors de flux de pistó. Els selectors es caracteritzen perquè presenten curts temps de retenció hidràulics i elevades càrregues màssiques (WEF, 1992).

### Alternatives

[Incloure-hi un selector](#)

[No incloure-hi un selector](#)

### Criteris

[C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos](#)

[C4- Cost econòmic total](#)

### Alternatives

[Incloure-hi un selector](#)

Decisió	Seleccionat
Qüestions relacionades	<a href="#">D8-Tipus de selector</a>

[No incloure-hi un selector](#)

Decisió	Descartada
---------	------------

**Criteris****C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos**

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

**C4- Cost econòmic total**

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives****C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos si s'hi inclou un selector**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C2-4 Robustesa per inhibir el creixement de microorganismes filamentosos si no s'hi inclou un selector**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4- Cost econòmic total si s'hi inclou un selector**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4- Cost econòmic total si no s'hi inclou un selector**

Fórmula de quantificació:	0,24
Valor de quantificació:	0,24



**D8-Tipus de selector****Alternatives**[Selector aerobi](#)[Selector anòxic](#)[Selector anaerobi](#)**Criteris**[C1-1 Consum energètic](#)[C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen](#)[C2-7 Compatibilitat entre unitats](#)[C4-Cost econòmic total](#)**Alternatives**[Selector aerobi](#)

Decisió	Descartada
Notes:	El selector aerobi consisteix en un tanc airejat de mescla completa situat a l'inici d'un reactor biològic que té un baix temps de residència hidràulic, una elevada càrrega màssica i oxígens iguals o superiors a 2 mg l <sup>-1</sup> . Aquest tipus de selector només necessita recirculació externa (WEF, 1992).

[Selector anòxic](#)

Decisió	Descartada
Notes:	El selector anòxic consisteix en un tanc que no té cap tipus d'aeració però sí de barreja. Aquest tipus de selector només es pot utilitzar al capdavant d'un reactor que tingui nitrificació i retorni els nitrats cap al selector. A més de la recirculació externa, necessita una recirculació interna amb presència de nitrats, que s'utilitzen d'acceptors finals d'electrons. Així doncs, aquests tipus de selectors es poden utilitzar per completar l'eliminació de nitrogen en estacions depuradores

	que no tinguin etapa de desnitricació (WEF, 1992).
--	--

### Selector anaerobi

Decisió	Seleccionada
Notes:	El selector anaerobi, igual que l'anòxic, no té aeració, però sí barreja. Pel que fa a la recirculació, només és necessària l'externa ja que no s'han de fer recircular nitrats. Aquests tipus de selectors es poden utilitzar per eliminar fòsfor (WEF, 1992).

### Criteria

#### C1-1 Consum energètic

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

#### C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

#### C2-7 Compatibilitat entre unitats

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

#### C4-Cost econòmic de l'alternativa

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4

Prioritat:	1
------------	---

### Avaluació d'alternatives

#### C1-1 Consum energètic amb un selector aerobi

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C1-1 Consum energètic amb un selector anòxic

Fórmula de quantificació:	0,9
Valor de quantificació:	0,9

#### C1-1 Consum energètic amb un selector anaerobi

Fórmula de quantificació:	0,93
Valor de quantificació:	0,93

#### C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen amb un selector aerobi

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen amb un selector anòxic

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

#### C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen amb un selector anaerobi

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C2-7 Compatibilitat entre unitats amb un selector aerobi**

Fórmula de quantificació:	=1-Elnitrogen
Valor de quantificació:	1

**C2-7 Compatibilitat entre unitats amb un selector anòxic**

Fórmula de quantificació:	=Elnitrogen
Valor de quantificació:	0

**C2-7 Compatibilitat entre unitats amb un selector anaerobi**

Fórmula de quantificació:	=1-Elnitrogen
Valor de quantificació:	1

**C4-Cost econòmic de l'alternativa del selector aerobi**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4-Cost econòmic de l'alternativa del selector anòxic**

Notes:	Sistema de barreja
Fórmula de quantificació:	0,56
Valor de quantificació:	0,56

**C4-Cost econòmic de l'alternativa del selector anaerobi**

Fórmula de quantificació:	0,86
Valor de quantificació:	0,86

**D9-Decantador primari**

La decantació consisteix en la separació de les partícules en suspensió que conté l'aigua residual. Aquestes partícules decanten per gravetat perquè tenen un pes superior al de l'aigua residual. En el cas de la decantació primària la sedimentació és de tipus floculant. Aquest tipus de sedimentació es dona quan les partícules s'interfereixen les unes amb les altres, i la velocitat de

sedimentació depèn d'altres factors, com el grau d'agregació, la mida i les característiques superficials de les partícules (Metcalf i Eddy, 1991).

### Alternatives

[Incloure-hi un decantador primari](#)

[No incloure-hi un decantador primari](#)

### Criteris

[C2-11 Eficiència d'eliminació de SS](#)

[C3-3 Olors](#)

[C4-Cost econòmic total](#)

### Alternatives

[Incloure-hi un decantador primari](#)

Decisió	Seleccionada
Qüestions relacionades	<a href="#">D10-Geometria del decantador primari</a>

[No incloure-hi un decantador primari](#)

Decisió	Descartada
---------	------------

### Criteris

[C2-11 Eficiència d'eliminació de SS](#)

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

[C3-3 Olors](#)

Fórmula del pes:	0,4
------------------	-----

Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

#### C4-Cost econòmic total

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

### Avaluació d'alternatives

#### C2-11 Eficiència d'eliminació de SS si s'hi inclou un decantador primari

Fórmula de quantificació:	0,65
Valor de quantificació:	0,65

#### C2-11 Eficiència d'eliminació de SS si no s'hi inclou un decantador primari

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C3-3 Olors si s'hi inclou un decantador primari

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C3-3 Olors si no s'hi inclou un decantador primari

Fórmula de quantificació:	0,8
Valor de quantificació:	0,8

#### C4-Cost econòmic total si s'hi inclou un decantador primari

Fórmula de quantificació:	0,27
Valor de quantificació:	0,27

#### 4-Cost econòmic total si no s'hi inclou un decantador primari

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### D10-Geometria del decantador primari

Hi ha diferents tipus de decantadors; la diferència més important, i que condiona moltes de les altres característiques d'aquests, és la seva geometria.

#### **Alternatives**

[Decantador circular](#)

[Decantador rectangular](#)

#### **Criteris**

[C3-2 Volum](#)

[C4-Cost econòmic total](#)

#### **Alternatives**

[Decantador circular](#)

Decisió	Descartada
Notes:	Els decantadors circulars presenten l'alimentació de l'aigua residual al centre del decantador, mentre que l'aigua clarificada surt per la perifèria. Pel que fa a les mides, els diàmetres d'aquests tancs varien des dels 3 m fins als 90 m. Normalment la fondària va dels 2,4 m als 4 m (WEF, 1992).

[Decantador rectangular](#)

Decisió	Seleccionada
Notes:	Els decantadors rectangulars presenten l'alimentació de l'aigua residual en un dels costats del decantador, mentre que la sortida de l'aigua clarificada és al costat oposat. Pel que fa a les mides típiques, van de 15 m a 90 m de llargada

	i de 3 m a 24 m d'amplada. Normalment la fondària no excedeix els 2 m. L'experiència demostra (WEF, 1992) que els decantadors rectangulars de mides considerables són més eficients que els decantadors de tipus circular de les mateixes dimensions, especialment si els diàmetres d'aquests últims excedeixen els 38 m.
--	---

### **Criteris**

#### **C3-2 Volum**

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

#### **C4-Cost total de l'alternativa**

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

### **Avaluació d'alternatives**

#### **C3-2 Volum amb un decantador circular**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### **C3-2 Volum amb un decantador rectangular**

Fórmula de quantificació:	0,55
Valor de quantificació:	0,55

#### **C4-Cost total de l'alternativa amb un decantador circular**

Fórmula de quantificació:	0,06
---------------------------	------



#### C4-Cost total de l'alternativa amb un decantador rectangular

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### D11-Homogeneïtzador

L'objectiu principal d'instal·lar un homogeneïtzador en una EDAR és suavitzar les puntes de cabal d'entrada d'aigua residual i, per tant, aconseguir que aquest sigui gairebé constant en les unitats de tractament posteriors. A la vegada, també s'aconsegueix una càrrega contaminant d'entrada més uniforme (WEF, 1992).

#### **Alternatives**

[Incloure-hi un homogeneïtzador](#)

[No incloure-hi un homogeneïtzador](#)

#### **Criteris**

[C1-1 Consum energètic del reactor](#)

[C2-8 Control del procés](#)

[C4- Cost total de l'EDAR](#)

#### **Alternatives**

[Incloure-hi un homogeneïtzador](#)

Decisió	Seleccionada
---------	--------------

[No incloure-hi un homogeneïtzador](#)

Decisió	Descartada
---------	------------

#### **Criteris**

[C1-1 Consum energètic del reactor](#)

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

## C2-8 Control del procés

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

## C4- Cost econòmic total

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives**

## C1-1 Consum energètic del reactor amb un homogeneïtzador

Fórmula de quantificació:	0,09
Valor de quantificació:	0,09

## C1-1 Consum energètic del reactor sense un homogeneïtzador

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C2-8 Control del procés amb un homogeneïtzador

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

## C1-1 Control del procés sense un homogeneïtzador

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C4- Cost total de l'EDAR amb un homogeneïtzador

Fórmula de quantificació:	0
---------------------------	---

Valor de quantificació:	0
-------------------------	---

#### C4- Cost total de l'EDAR sense un homogeneïtzador

Fórmula de quantificació:	0,19
Valor de quantificació:	0,19

#### D12-Dessorrador

Els dessorradors separen tot tipus de sòlids amb una velocitat de sedimentació elevada i superior a la de la mateixa matèria orgànica. Els dessorradors tenen dos objectius principals:

(1) evitar que productes abrasius segueixin la línia d'aigües cap endavant i produeixin un desgast prematur de les unitats posteriors i (2) evitar sedimentacions i dipòsits permanents de sòlids a les canonades i unitats posteriors (Metcalf i Eddy, 1991). Pot ser eliminat en sistemes naturals on les sorres i els fangs són dipositats al sòl o bé s'acumulen al fons de les llacunes. L'objectiu del dessorrador és separar tot tipus de sòlids amb una velocitat de sedimentació elevada i superior a la de la mateixa matèria orgànica. Entre els sediments podem esmentar les sorres, la grava, els trossos d'ossos, les closques d'ou o, fins i tot, partícules grosses, com ara grans de cafè i residus de menjar. L'objectiu és evitar que els productes abrasius segueixin endavant en la línia d'aigües i produeixin desgast en els equips, se sedimentin i es dipositin a les canonades i al fons dels tancs.

#### **Alternatives**

[Incloure-hi un dessorrador](#)

[No incloure-hi un dessorrador](#)

#### **Criteris**

[C1-1 Consum energètic del reactor](#)

[C1-5 Eliminació de sorres i greixos](#)

[C4-Cost econòmic total](#)

#### **Alternatives**

[Incloure-hi un dessorrador](#)

Decisió	Seleccionat
Qüestions relacionades	<a href="#">D13-Tipus de dessorrador</a>

#### No incloure-hi un dessorrador

Decisió	Descartada
---------	------------

### **Criteris**

#### C1-1 Consum energètic

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

#### C2-16 Eficiència d'eliminació de sorres i greixos

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

#### C4-Cost econòmic total

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

### **Avaluació d'alternatives**

#### C1-1 Consum energètic amb un dessorrador

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C1-1 Consum energètic del reactor sense dessorrador

Fórmula de quantificació:	0
---------------------------	---

Valor de quantificació:	0
-------------------------	---

#### C2-16 Eficiència d'eliminació de sorres i greixos amb un dessorrador

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

#### C2-16 Eficiència d'eliminació de sorres i greixos sense dessorrador

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C4-Cost econòmic total amb un dessorrador

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C4-Cost econòmic total sense dessorrador

Fórmula de quantificació:	0,04
Valor de quantificació:	0,04

### D13-Tipus de dessorrador

#### **Alternatives**

[Dessorrador airejat](#)

[Dessorrador de flux horitzontal](#)

#### **Criteris**

[C2-16 Eficiència d'eliminació de sorres i greixos](#)

[C4 Cost econòmic de l'alternativa](#)

#### **Alternatives**

[Dessorrador airejat](#)

Decisió	Seleccionada
---------	--------------

Notes:	El mecanisme de funcionament del dessorrador de tipus airejat consisteix a introduir aire mitjançant airejadors submergibles. El disseny d'aquests tipus de dessorrador deriva de l'experiència obtinguda en reactors biològics airejats on hi havia dipòsits de sorres (Metcalf i Eddy, 1991).
--------	---

#### Dessorrador de flux horitzontal

Decisió	Descartada
Notes:	En aquest tipus de dessorrador el flux travessa el dessorrador en sentit horitzontal. Per dimensionar aquest tipus de dessorrador hi intervenen els factors següents: velocitat horitzontal, velocitat vertical i altura del sobreexidor (Metcalf i Eddy, 1991).

#### Criteris

##### C2-16 Eficiència d'eliminació de sorres i greixos

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

##### C4 Cost econòmic de l'alternativa

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

#### Avaluació d'alternatives

##### C2-16 Eficiència d'eliminació de sorres i greixos amb un dessorrador airejat

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C2-16 Eficiència d'eliminació de sorres i greixos amb un dessorrador de flux horitzontal**

Fórmula de quantificació:	0,5
Valor de quantificació:	0,5

**C4 Cost econòmic de l'alternativa amb un dessorrador airejat**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4 Cost econòmic de l'alternativa amb un dessorrador de flux horitzontal**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**D14-Desbast de fins i de grollers**

Les reixes representen el tractament més antic aplicat a l'aigua residual. L'objectiu de les reixes és eliminar els sòlids més voluminosos presents a l'aigua per protegir les unitats de tractament existents posteriorment a l'EDAR (Metcalf i Eddy, 1991).

**Alternatives**

[Incloure-hi desbast de fins i de grollers](#)

[No incloure-hi desbast de fins i de grollers](#)

**Criteris**

[C1-1 Consum energètic](#)

[C4 Cost econòmic total](#)

**Alternatives**

[Incloure-hi desbast de fins i de grollers](#)

Decisió	Seleccionat
---------	-------------

[No incloure-hi desbast de fins i de grollers](#)

Decisió	Descartada
---------	------------

**criteris****C1-1 Consum energètic**

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

**C4 Cost econòmic total**

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives****C1-1 Consum energètic si s'hi inclou desbast de fins i de grollers**

Fórmula de quantificació:	0,29
Valor de quantificació:	0,29

**C1-1 Consum energètic si no s'hi inclou desbast de fins i de grollers**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4 Cost econòmic total si s'hi inclou desbast de fins i de grollers**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4 Cost econòmic total si no s'hi inclou desbast de fins i de grollers**

Fórmula de quantificació:	0,05
Valor de quantificació:	0,05



### D15-Geometria del decantador secundari

La decantació secundària és imprescindible perquè un sistema de fangs activat en suspensió funcioni correctament. L'objectiu d'aquest procés és separar els sòlids en suspensió (MLSS) de l'aigua tractada. A la vegada que aquests sòlids en suspensió se separen de l'aigua tractada també es concentren per retornar-los al tanc d'aeració o bé purgar-los del sistema. L'eficiència de la decantació secundària és important per assolir els nivells objectiu dels paràmetres de sortida (Metcalf i Eddy, 1991).

#### **Alternatives**

[Decantador secundari circular](#)

[Decantador secundari rectangular](#)

#### **Criteris**

[C3-2 Volum](#)

[C4- Cost de l'alternativa](#)

#### **Alternatives**

[Decantador secundari circular](#)

Decisió	Descartada
---------	------------

[Decantador secundari rectangular](#)

Decisió	Seleccionada
---------	--------------

#### **Criteris**

[C3-2 Volum](#)

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

**C4- Cost de l'alternativa**

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives****C3-2 Volum amb un decantador secundari circular**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C3-2 Volum amb un decantador secundari rectangular**

Fórmula de quantificació:	0,6
Valor de quantificació:	0,6

**C4- Cost de l'alternativa amb un decantador secundari circular**

Fórmula de quantificació:	0,28
Valor de quantificació:	0,28

**C4- Cost de l'alternativa amb un decantador secundari rectangular**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**D16-S'hi ha d'incloure recirculació interna?**

La recirculació externa necessària per retornar el fang activat decantat en el decantador secundari al reactor biològic ja és inclosa per defecte i s'inclou la possibilitat d'incloure-hi recirculació interna per retornar el fang activat de l'últim compartiment del reactor biològic al primer.

**Alternatives**[Incloure-hi recirculació interna](#)[No incloure-hi recirculació interna](#)**Criteris**[C1-1 Consum energètic](#)[C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen](#)[C2-7 Compatibilitat entre unitats](#)[C4 Cost econòmic total de l'EDAR](#)**Alternatives**[Incloure-hi recirculació interna](#)

Decisió	Descartada
---------	------------

[No incloure-hi recirculació interna](#)

Decisió	Seleccionada
---------	--------------

**Criteris**[C1-1 Consum energètic](#)

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

[C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen](#)

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

[C2-7 Compatibilitat entre unitats](#)

Fórmula del pes:	0,8
------------------	-----

Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

#### C4 Cost econòmic total de l'EDAR

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

### Avaluació d'alternatives

#### C1-1 Consum energètic amb recirculació interna

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C1-1 Consum energètic sense recirculació interna

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

#### C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen amb recirculació interna

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

#### C2-1 Flexibilitat per eliminar nitrogen sense recirculació interna

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C2-7 Compatibilitat entre unitats amb recirculació interna

Fórmula de quantificació:	=Elnitrogen
Valor de quantificació:	0

**C2-7 Compatibilitat entre unitats sense recirculació interna**

Fórmula de quantificació:	=1-Elnitrogen
Valor de quantificació:	1

**C4 Cost econòmic total de l'EDAR amb recirculació interna**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4 Cost econòmic total de l'EDAR sense recirculació interna**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**D17-Estabilització**

Tot i que hi ha plantes que no tenen sistemes d'estabilització de fangs, tenint en compte les característiques de l'EDAR descrites en la informació de partida i la legislació vigent en matèria de tractament de fangs (vegeu els objectius), s'ha decidit incloure-hi un sistema d'estabilització de fangs sense avaluar la qüestió d'incloure'l o no. El fang s'estabilitza amb el propòsit de descompondre la matèria orgànica i transformar-la en un producte final prou estable per poder-lo manipular per assecat-lo posteriorment i transportar-lo a l'abocador. Mitjançant el procés d'estabilització també s'aconsegueix disminuir el volum del fang degut al despreniment dels components volàtils presents als sòlids orgànics, reduir els patògens i evitar problemes d'olors (Metcalf i Eddy, 1991).

**Alternatives**

[Estabilització anaeròbia](#)

[Estabilització aeròbia](#)

**Criteris**

[C1-1 Consum energètic](#)

[C2-12 Eficiència d'eliminació de SSV](#)

[C2-13 Sequedat del fang](#)

[C2-14 Eficiència d'eliminació de patògens](#)

[C3-2 Volum](#)

[C3-3 Olors](#)

[C4 Cost econòmic total](#)

## Alternatives

### Estabilització anaeròbia

Decisió	Seleccionada
Notes:	<p>La digestió anaeròbia es porta a terme sense aportació d'oxigen. El fang s'escalfa mitjançant intercanviadors de calor i, a mesura que es va digerint, va alliberant gas. Quan el gas puja cap a la superfície del digestor, s'emporta partícules de fang, greixos i olis i forma, finalment, una capa d'escumes. Com a resultat de la digestió, el fang es torna més mineralitzat i s'espesseix per gravetat. A la vegada, això genera la formació d'una capa de sobrenedant per sobre del llot digerit. Els microorganismes causants de la descomposició de la matèria orgànica en la digestió anaeròbia es divideixen en dos grups. El primer grup hidrolitza i fermenta compostos orgànics complexos en àcids simples. Aquest grup de microorganismes està format per bacteris facultatius i anaerobis, anomenats bacteris formadors d'àcids. El segon grup transforma els àcids orgànics obtinguts pel primer grup en gas metà i anhídrid carbònic. Els bacteris responsables d'aquesta transformació són anaerobis estrictes i se'ls anomena bacteris formadors de metà. L'estabilització real del residu es produeix quan es transformen els àcids orgànics en metà i anhídrid carbònic. Els gas metà és insoluble i, per tant, el fet de separar-lo de la solució representa l'estabilització real del residu (Metcalf i Eddy, 1991).</p>

### Estabilització aeròbia

Decisió	Descartada
Notes:	<p>La digestió aeròbia descompon la matèria orgànica mitjançant l'aportació d'aire fins a aconseguir un producte estable. La digestió aeròbia és similar al procés de fangs activats. Una vegada s'ha esgotat l'aportació de substrat disponible (aliment), els microorganismes comencen a consumir el seu propi protoplasma per obtenir l'energia necessària per mantenir les seves cèl·lules. Aquest procés s'anomena respiració endògena. El teixit cel·lular s'oxida aeròbiament en anhídrid carbònic, aigua i amoníac. L'amoníac resultant d'aquesta oxidació es torna a oxidar en nitrat en continuar la digestió. Només es pot oxidar un 75-80% del teixit cel·lular perquè el 20-25% restant està constituït per compostos orgànics i components inerts que no són biodegradables (Metcalf i Eddy, 1991).</p>

### Criteris

#### C1-1 Consum energètic

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

#### C2-12 Eficiència d'eliminació de SSV

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

#### C2-13 Sequedat del fang

Fórmula del pes:	0,8
------------------	-----

Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

#### C2-14 Eliminació de patògens

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

#### C3-2 Volum

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

#### C3-3 Olors

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

#### C4 Cost total de la unitat

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

### Avaluació d'alternatives

#### C1-1 Consum energètic amb estabilització anaeròbia

Fórmula de quantificació:	0,72
Valor de quantificació:	0,72



## C1-1 Consum energètic amb estabilització aeròbia

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C2-12 Eficiència d'eliminació de SSV amb estabilització anaeròbia

Fórmula de quantificació:	0,15
Valor de quantificació:	0,15

## C2-12 Eficiència d'eliminació de SSV amb estabilització aeròbia

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C2-13 Sequedat del fang amb estabilització anaeròbia

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

## C2-13 Sequedat del fang amb estabilització aeròbia

Fórmula de quantificació:	0,5
Valor de quantificació:	0,5

## C2-14 Eliminació de patògens amb estabilització anaeròbia

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

## C2-14 Eliminació de patògens amb estabilització aeròbia

Fórmula de quantificació:	0,5
Valor de quantificació:	0,5

**C3-2 Volum amb estabilització anaeròbia**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C3-2 Volum amb estabilització aeròbia**

Fórmula de quantificació:	0,46
Valor de quantificació:	0,46

**C3-3 Olors amb estabilització anaeròbia**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C3-3 Olors amb estabilització aeròbia**

Fórmula de quantificació:	0,5
Valor de quantificació:	0,5

**C4 Cost total de la unitat amb estabilització anaeròbia**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4 Cost total de la unitat amb estabilització aeròbia**

Fórmula de quantificació:	0,55
Valor de quantificació:	0,55

**D18-Espessiment de fangs primaris****Alternatives**[Espessiment per gravetat](#)[Espessiment per flotació](#)

**Criteris**[C1-1 Consum energètic](#)[C1-2 Consum de productes químics](#)[C2-13 Sequedat del fang](#)[C3-2 Volum](#)[C4 Cost econòmic total](#)**Alternatives**[Espessiment per gravetat](#)

Decisió	Seleccionada
---------	--------------

[Espessiment per flotació](#)

Decisió	Descartada
---------	------------

**Criteris**[C1-1 Consum energètic](#)

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

[C1-2 Consum de productes químics](#)

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

[C2-13 Sequedat del fang](#)

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

## C3-2 Volum

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

## C4 Cost total de la unitat

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives**

## C1-1 Consum energètic amb espessiment per gravetat

Fórmula de quantificació:	0,96
Valor de quantificació:	0,96

## C1-1 Consum energètic amb espessiment per flotació

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C1-2 Consum de productes químics amb espessiment per gravetat

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

## C1-2 Consum de productes químics amb espessiment per flotació

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C2-13 Sequedat del fang amb espessiment per gravetat

Fórmula de quantificació:	1
---------------------------	---

Valor de quantificació:	1
-------------------------	---

#### C2-13 Sequedat del fang amb espessiment per flotació

Fórmula de quantificació:	0,8
Valor de quantificació:	0,8

#### C3-2 Volum amb espessiment per gravetat

Fórmula de quantificació:	0,12
Valor de quantificació:	0,12

#### C3-2 Volum amb espessiment per flotació

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C4 Cost total de la unitat amb espessiment per gravetat

Fórmula de quantificació:	0,8
Valor de quantificació:	0,8

#### C4 Cost total de la unitat amb espessiment per flotació

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

### **D-19 Espessiment de fangs secundaris**

Els fangs secundaris o fangs biològics són el resultat de la conversió de residus solubles en l'aigua residual. Generalment, és més difícil aplicar el procés d'espessiment als fangs biològics.

#### **Alternatives**

[Espessiment per gravetat](#)

[Espessiment per flotació](#)

**Criteris**[C1-1 Consum energètic](#)[C1-2 Consum de productes químics](#)[C2-13 Sequedat del fang](#)[C3-2 Volum](#)[C4 Cost econòmic total](#)**Alternatives**[Espessiment per gravetat](#)

Decisió	Seleccionada
---------	--------------

[Espessiment per flotació](#)

Decisió	Descartada
---------	------------

**Criteris**[C1-1 Consum energètic](#)

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

[C1-2 Consum de productes químics](#)

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

[C2-13 Sequedat del fang](#)

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

**C3-2 Volum**

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

**C4 Cost econòmic de la unitat**

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives****C1-1 Consum energètic amb espessiment per gravetat**

Fórmula de quantificació:	0,98
Valor de quantificació:	0,98

**C1-1 Consum energètic amb espessiment per flotació**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C1-2 Consum de productes químics amb espessiment per gravetat**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C1-2 Consum de productes químics amb espessiment per flotació**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C2-13 Sequedat del fang amb espessiment per gravetat**

Fórmula de quantificació:	0,62
---------------------------	------

Valor de quantificació:	0,62
-------------------------	------

#### C2-13 Sequedat del fang amb espessiment per flotació

Fórmula de quantificació:	0,8
Valor de quantificació:	0,8

#### C3-2 Volum amb espessiment per gravetat

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C3-2 Volum amb espessiment per flotació

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C4 Cost econòmic de la unitat amb espessiment per gravetat

Fórmula de quantificació:	0,8
Valor de quantificació:	0,8

#### C4 Cost econòmic de la unitat amb espessiment per flotació

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

### D20-Deshidratació

La deshidratació és una operació unitària física (mecànica) que s'utilitza per reduir el contingut d'humitat del fang amb l'objectiu d'assolir un fang més fàcil de manipular i disminuir el cost d'abocament final (WEF, 1992).

#### **Alternatives**

[Centrífuga](#)

[Filtre al buit](#)



[Filtre de premsa](#)

[Filtre de bandes](#)

### **criteris**

[C1-1 Consum energètic](#)

[C1-2 Consum de productes químics](#)

[C1-3 Emissió d'àcid sulfúric](#)

[C2-3 Capacitat del procés](#)

[C2-13 Sequedat del fang](#)

[C2-13 Qualitat del sobrenedant](#)

[C3-4 Soroll](#)

[C3-3 Olors](#)

[C3-2 Volum](#)

[C4 Cost total](#)

### **Alternatives**

[Centrífuga](#)

Decisió	Descartada
Notes:	La centrífuga consisteix en un dipòsit giratori accionat per un motor elèctric. El fang s'introdueix a dins del dipòsit a un cabal constant i allà se separa el tortó dens que conté els sòlids i un corrent diluït que conté sòlids de poca densitat. El tortó de llots es descarrega del dipòsit a la tremuja o contenidor mitjançant un cargol transportador (WEF, 1992).

[Filtre al buit](#)

Decisió	Descartada
Notes:	Els filtres al buit estan formats per filtres cilíndrics de tambor. Els filtres poden ser de tela de fibres sintètiques o naturals, molles d'espiral o tela de malla metàl·lica. El tambor està suspès per sobre i se submergeix en un

	<p>recipient de fang. A mesura que el tambor va girant lentament, una part de la seva circumferència se sotmet a un buit intern que atrau el fang cap al mitjà filtrant mentre l'aigua passa a través del filtre. La manera com estan situades les canonades a dins el filtre permet mantenir la succió fins al punt de separació del tortó. Per separar el tortó s'injecta aire comprimit a través del mitjà filtrant per desprendre el fang i separar-lo amb un rascador. El mitjà filtrant pot rentar-se en el sector situat entre el rascador i la succió (WEF, 1992).</p>
--	--

### Filtre de premsa

Decisió	Descartada
Notes:	<p>El filtre de premsa consisteix en una sèrie de plaques rectangulars, ranurades pels costats. Cada placa conté una tela filtrant. Les plaques es col·loquen unes enfront de les altres en posició vertical, sobre un bastidor que pot ser d'altura fixa o variable. Per tal que puguin resistir la pressió aplicada durant el procés de filtració, les plaques es mantenen adherides hermèticament les unes amb les altres mitjançant premses hidràuliques o cargols accionats mecànicament. Durant el funcionament es bombeja fang al volum existent entre les plaques i se'ls aplica una pressió de 4,2-12,6 kg ·cm<sup>-2</sup> durant 1 o 3 hores. D'aquesta manera el líquid és forçat a passar a través de la tela filtrant i els orificis de sortida de les plaques. Tot seguit se separen les plaques i s'extreu el fang (WEF, 1992).</p>

### Filtre de bandes

Decisió	Seleccionada
---------	--------------

Notes:	El filtre de bandes es basa en el principi de pressió de filtració mecànica i consisteix en dues cintes de tela transportadores que convergeixen en forma de falca. Aquestes cintes s'accionen per rodets que es pressionen mútuament. L'aigua s'extreu del fang mitjançant pressió i filtració (WEF, 1992).
--------	--

### **Criteris**

#### **C1-1 Consum energètic**

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

#### **C1-2 Consum de productes químics**

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

#### **C1-3 Emissió d'àcid sulfúric**

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

#### **C2-3 Capacitat del procés**

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

### C2-13 Sequedat del fang

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

### C2-15 Qualitat del sobrenedant

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

### C3-2 Volum

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

### C3-3 Olors

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

### C3-4 Soroll

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

### C4 Cost total

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

**Avaluació d'alternatives****C1-1 Consum energètic amb centrífuga**

Fórmula de quantificació:	0,04
Valor de quantificació:	0,04

**C1-1 Consum energètic amb filtre al buit**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C1-1 Consum energètic amb filtre de premsa**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C1-1 Consum energètic amb filtre de bandes**

Fórmula de quantificació:	0,8
Valor de quantificació:	0,8

**C1-2 Consum de productes químics amb centrífuga**

Fórmula de quantificació:	0,39
Valor de quantificació:	0,39

**C1-2 Consum de productes químics amb filtre al buit**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C1-2 Consum de productes químics amb filtre de premsa**

Fórmula de quantificació:	0,99
Valor de quantificació:	0,99

**C1-2 Consum de productes químics amb filtre de bandes**

Fórmula de quantificació:	0,18
Valor de quantificació:	0,18

**C1-3 Emissió d'àcid sulfúric amb centrífuga**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C1-3 Emissió d'àcid sulfúric amb filtre al buit**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C1-3 Emissió d'àcid sulfúric amb filtre de premsa**

Fórmula de quantificació:	0,5
Valor de quantificació:	0,5

**C1-3 Emissió d'àcid sulfúric amb filtre de bandes**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C2-3 Capacitat del procés amb centrífuga**

Fórmula de quantificació:	0,79
Valor de quantificació:	0,79

**C2-3 Capacitat del procés amb filtre al buit**

Fórmula de quantificació:	0,7
Valor de quantificació:	0,7

## C2-3 Capacitat del procés amb filtre de premsa

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C2-3 Capacitat del procés amb filtre de bandes

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

## C2-13 Sequedat del fang amb centrífuga

Fórmula de quantificació:	0,57
Valor de quantificació:	0,57

## C2-13 Sequedat del fang amb filtre al buit

Fórmula de quantificació:	0,62
Valor de quantificació:	0,62

## C2-13 Sequedat del fang amb filtre de premsa

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

## C2-13 Sequedat del fang amb filtre de bandes

Fórmula de quantificació:	0,62
Valor de quantificació:	0,62

## C2-13 Qualitat del sobrenedant amb centrífuga

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C2-13 Qualitat del sobrenedant amb filtre al buit**

Fórmula de quantificació:	0,17
Valor de quantificació:	0,17

**C2-13 Qualitat del sobrenedant amb filtre de premsa**

Fórmula de quantificació:	0,83
Valor de quantificació:	0,83

**C2-13 Qualitat del sobrenedant amb filtre de bandes**

Fórmula de quantificació:	0,38
Valor de quantificació:	0,38

**C3-4 Soroll amb centrífuga**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C3-4 Soroll amb filtre al buit**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C3-4 Soroll amb filtre de premsa**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C3-4 Soroll amb filtre de bandes**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1



**C3-3 Olors amb centrífuga**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C3-3 Olors amb filtre al buit**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C3-3 Olors amb filtre de premsa**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C3-3 Olors amb filtre de bandes**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C3-2 Volum amb centrífuga**

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

**C3-2 Volum amb filtre al buit**

Fórmula de quantificació:	0,5
Valor de quantificació:	0,5

**C3-2 Volum amb filtre de premsa**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C3-2 Volum amb filtre de bandes**

Fórmula de quantificació:	0,5
Valor de quantificació:	0,5

**C4 Cost total amb centrífuga**

Fórmula de quantificació:	0,07
Valor de quantificació:	0,07

**C4 Cost total amb filtre al buit**

Fórmula de quantificació:	0,28
Valor de quantificació:	0,28

**C4 Cost total amb filtre de premsa**

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

**C4 Cost total amb filtre de bandes**

Fórmula de quantificació:	0,23
Valor de quantificació:	0,23

**D21-Gestió final del fang**

El possible ús o destí final del fang de depuradora és l'aplicació al sòl, la valorització energètica, el compostatge, la incineració, l'abocador, etc.

**Alternatives**

[Abocador controlat](#)

[Assecatge tèrmic](#)

**Criteris**

[C1-1 Consum energètic](#)

[C2-3 Capacitat del procés](#)

[C3-2 Volum](#)[C3-3 Olors](#)[C4-Cost total](#)**Alternatives**[Abocador](#)

Decisió	Descartada
---------	------------

[Assecatge tèrmic](#)

Decisió	Seleccionada
---------	--------------

**Criteris**[C1-1 Consum energètic](#)

Fórmula del pes:	1
Valor del pes:	1
Prioritat:	1

[C2-3 Capacitat del procés](#)

Fórmula del pes:	0,8
Valor del pes:	0,8
Prioritat:	1

[C3-2 Volum](#)

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6
Prioritat:	1

[C3-3 Olors](#)

Fórmula del pes:	0,6
Valor del pes:	0,6

Prioritat:	1
------------	---

#### C4-Cost total

Fórmula del pes:	0,4
Valor del pes:	0,4
Prioritat:	1

### Avaluació d'alternatives

#### C1-1 Consum energètic per abocador

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

#### C1-1 Consum energètic per assecatge tèrmic

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C2-3 Capacitat del procés per abocador

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

#### C2-3 Capacitat del procés per assecatge tèrmic

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

#### C3-2 Volum per abocador

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C3-2 Volum per assecatge tèrmic

Fórmula de quantificació:	0,59
Valor de quantificació:	0,59

## C3-3 Olors per abocador

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## C3-3 Olors per assecatge tèrmic

Fórmula de quantificació:	1
Valor de quantificació:	1

## C4-Cost total per abocador

Fórmula de quantificació:	0,95
Valor de quantificació:	0,95

## C4-Cost total per assecatge tèrmic

Fórmula de quantificació:	0
Valor de quantificació:	0

## Parameter: Elnitrogen

Abast:	Global
Fórmula:	=0
Valor:	0
Restricció:	False

## Parameter: IsSelectedanòxic

Abast:	Global
Fórmula:	=IsSelected ("anòxic")

Valor:	0
Restricció:	False

Parameter: [IsSelectedanaerobi](#)

Abast:	Global
Fórmula:	=IsSelected ("anaerobi")
Valor:	1
Restricció:	False

Parameter: [IsSelecteddaerobi](#)

Abast:	Global
Fórmula:	=IsSelected ("aerobi")

## 8.2 Paràmetres de disseny inclosos a CapdetWorks

D1-Reactor biològic	Unitats	Reactor	Reactor	Reactor
		MC	FP	CO
Concentració de DBO <sub>5</sub> a l'efluent	mg l <sup>-1</sup>	25	25	25
Càrrega massica	kg DBO <sub>5</sub> · kg VSS <sup>-1</sup>	0,5	0,3	0,065
Tipus d'aeració per defecte		Mecànica	Difusor	Rotor
Coefficient de temperatura		1,03	1,03	1,03
Cinètica de reacció		0,0014	0,0012	0,0012
Fracció de DBO <sub>5</sub> per síntesi		0,73	0,73	0,73
Fracció de DBO <sub>5</sub> per energia		0,52	0,52	0,52
Taxa de respiració endògena	1 · d <sup>-1</sup>	0,075	0,075	0,075
Fracció biodegradable de MLVSS		0,4	0,4	0,4
Fracció biodegradable de MLSS		0,53	0,53	0,53
MLSS	mg l <sup>-1</sup>	4.500	4.000	6.000
MLVSS	%	75	75	75

D2-Aeració	Unitats	Turbines	Difusors
Unitat		Turbina vertical	Difusor ceràmic
Factor de transferència d'oxigen (alfa)		0,9	0,8
Factor de saturació (beta)		0,95	0,95
Cabal d'aire mínim	m <sup>3</sup> · m <sup>-1</sup> · 100m <sup>-3</sup>		20
Potència mínima	Kw · m <sup>-3</sup>	0,169	

D3-Tipus de difusor	Unitats	Ceràmic	De membranes
Factor de transferència d'oxigen (alfa)		0,8	0,6

<b>D7/D8-Selector i Tipus de selector</b>	<i>Unitats</i>	<i>Aerobi</i>	<i>Anòxic</i>	<i>Anaerobi</i>
Disseny basat		Volum	Volum	Volum
Temps de residència hidràulic (TRH)	min	2,4	2,4	2,4
Concentració d'oxigen	kg · mg <sup>-1</sup>	2	0	0
Volum	m <sup>3</sup>	1.000	1.000	1.000
Factor de correcció de pressió				1
Constant de saturació	mg · l <sup>-1</sup>		0,16	
Coefficient de mort dels microorganismes			0,04	
Fracció biodegradable			0,53	
MLSS	mg · l <sup>-1</sup>		1.200	
MLVSS	%		75	
Cinètica de reacció		0,0014		
Fracció de DBO <sub>5</sub> per síntesi		0,73		
Fracció de DBO <sub>5</sub> per energia		0,52		
Taxa de respiració endògena		0,075		
Fracció biodegradable de MLVSS		0,4		
Fracció biodegradable de MLSS		0,53		

<b>D9/D10-Decantació primària i Geometria del decantador</b>	<i>Unitats</i>	<i>Rectangular</i>	<i>Circular</i>
Disseny basat		Cabal mitjà d'entrada	Cabal mitjà d'entrada
<i>Surface overflow rate</i>	m <sup>3</sup> · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup>	40,7	40,7
Gravetat específica		1,05	1,05
<i>Underflow concentration</i>	%	4	4
Geometria		Rectangular	Circular
<i>Weir overflow rate</i>	m <sup>3</sup> · m <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup>	1.210.000	1.210.000
Eliminació de SS	%	90	90
Eliminació de DBO <sub>5</sub>	%	47	47
Eliminació de DQO	%	55	55



<b>D11-Homogeneïtzador</b>	<i>Unitats</i>	<i>Homogeneïtzador</i>
Disseny basat		Cabal d'entrada
Aportació d'oxigen	mg l <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup>	15
Factor de correcció de pressió		1
Concentració d'oxigen	mg l <sup>-1</sup>	2
Factor de transferència d'oxigen (alfa)		0,9
Factor de saturació (beta)		0,95
Eficiència de transferència d'oxigen	kg O <sub>2</sub> · Kw <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup>	3
Potència mínima	Kw · m <sup>-3</sup>	0,169

<b>D12/D13-Dessorrador i Tipus de dessorrador</b>	<i>Unitats</i>	<i>Airejat</i>	<i>Flux horitzontal</i>
Mida de la partícula per decantar	mm	0,2	0,2
Gravetat específica		2,65	2,65
Tipus de dessorrador		Airejat	Horitzontal
Unitats de dessorrador		2	2
Disseny basat		Fondària	Fondària
Fondària	m	4	4
Volum de sorra	m <sup>-3</sup> · m <sup>-3</sup>	2,99 · 10 <sup>-5</sup>	2,99 · 10 <sup>-5</sup>
Temps de residència hidràulic	h	2,5	2,5
Aportació d'aire	m <sup>3</sup> · min <sup>-1</sup> · m <sup>-1</sup>	0,278	
Velocitat superficial	m · h <sup>-1</sup>	1.650	1.650
Velocitat vertical	m · h <sup>-1</sup>	1.100	1.100

<b>D14-Desbast de fins i de grollers</b>	Unitats	<i>Desbast de grollers</i>	<i>Desbast de fins</i>
Gruix de les barres	cm	0,635	
Espai entre barres	cm	3,81	
Fondària	m	0,304	
Pendent		30°	
Velocitat màxima	m · min <sup>-1</sup>	54,9	
Velocitat mínima	m · min <sup>-1</sup>	45,7	
Càrrega hidràulica	m <sup>3</sup> · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup>		411
Eficiència d'eliminació de SS	%		60
Eficiència d'eliminació de DBO <sub>5</sub>	%		50
Eficiència d'eliminació de DQO	%		50

<b>D15-Geometria del decantador secundari</b>	Unitats	<i>Rectangular</i>	<i>Circular</i>
Disseny basat		Mitjana del cabal	Mitjana del cabal
Càrrega de sòlids	kg · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup>	97,6	97,6
Velocitat ascensorial	m <sup>3</sup> · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup>	20,4	20,4
Fondària	m	2,74	2,74
Gravetat específica		Mitjana del cabal	Mitjana de cabal
Configuració del decantador		Rectangular	Circular
Concentració de sòlids en suspensió de sortida	mg l <sup>-1</sup>	20	20

<b>D17-Estabilització</b>	Unitats	Anaeròbia	Aeròbia
Temps de residència hidràulic (TRH)	d	15	18
Eliminació de sòlids en suspensió volàtils	%	50	40
MLSS	mg · l <sup>-1</sup>		12.000
Llot digerit	%	5	2,5
Temperatura	°C		23
Aeració			Mitjançant difusor
Fracció d'afluent retornat com a sobrenedant	%	2	2
Concentració de SS al sobrenedant	mg · l <sup>-1</sup>	6.250	3.400
Concentració de DBO <sub>5</sub> al sobrenedant	mg · l <sup>-1</sup>	1.000	500
Concentració de DQO al sobrenedant	mg · l <sup>-1</sup>	2.150	2.600
Factor de transferència d'oxigen (alfa)			0,7
Factor de saturació (beta)			0,95
Eficiència de transferència d'oxigen	%		6

<b>D18/D19-Espessiment de fangs primaris i secundaris</b>	Unitats	Gravetat	Flotació
Temps de residència hidràulic (TRH)	h		3
Pressió	atm		4
Càrrega de sòlids	kg · m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	48,8	48,8
Càrrega hidràulica	kg · m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>	147	147
Velocitat de sedimentació	m · h <sup>-1</sup>	0,763	
Fondària	m	4	4
Disseny basat		Velocitat de sedimentació	Velocitat de sedimentació

<b>D20-Deshidratació</b>	Unitats	Centrífuga	Filtre al buit	Filtre de premsa	Filtre de bandes
Càrrega hidràulica	m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup>	382	382	382	382
Hores de funcionament	h·d <sup>-1</sup>	8	8	8	8
Dies de funcionament	d·setm. <sup>-1</sup>	5	5	5	5

<b>D21-Gestió final del fang</b>	Unitats	Abocador	Assecatge tèrmic
Distància de l'EDAR al centre gestor	km	16,1	16,1
Hores de funcionament	h·d <sup>-1</sup>	8	8
Dies de funcionament	d·setm. <sup>-1</sup>	5	5
Temps de càrrega	h	0,75	0,75
Temperatura d'operació	°C	20	540
Pes específic del fang	kg·m <sup>-3</sup>	1.760	1.760