

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Química**

**AQUAMBIENTE; MODELS AVANÇATS DE SIMULACIÓ DELS  
PROCESSOS BIOLÒGICS PER A LA SEVA IMPLEMENTACIÓ**



**Memòria i Annexos**

**Autor:** Adrián Mejías Fuentes  
**Director:** Oriol Gibert Agullo  
**Ponent:** Maria Llorens Olivet  
**Convocatòria:** Setembre 2021



## Resum

La creixent evolució dels nivells requerits de tractament de l'aigua residual ha posat de manifest la insuficiència dels models clàssics per fer front a aquesta demanda i la necessitat de disposar de mitjans tècnics més potents. El desenvolupament dels models avançats de simulació dels processos biològics i la seva posterior implementació en plataformes de simulació comercials ha obert a tots els professionals del sector la possibilitat d'accés a aquestes eines.

Així doncs, s'ha realitzat el modelatge de l'Estació Depuradora d'Aigües Residuals de Sant Feliu de Codines, explicant, pas per pas, el desenvolupament d'aquest projecte.

El treball abasta un total de 5 fases, en les quals s'ha distribuït i ordenat el treball a realitzar.

Les primeres fases han estat enfocades al tractament i recopilació de dades. Una vegada coneudes, ens hem qüestionat quines son les dades no registrades que necessitarem per poder dur a terme les futures simulacions. Coneixent -les, s'ha realitzat una campanya addicional de monitoreig de planta, amb la que aconseguim obtenir totes les dades necessàries per realitzar la nostre simulació.

Arribats a aquest punt, s'ha configurat la planta, seleccionat, detallat i dimensionat els processos unitaris que la formen, en aquest cas un reactor biològic, un decantador secundari, un espessidor i una centífuga deshidratant de fangs. S'han introduït totes les dades de caracterització de l'influent estudiades al model i, per acabar, s'han ajustat alguns paràmetres amb la finalitat de calibrar i validar el nostre model.

Una vegada que el model ha estat adequadament calibrat, constitueix una eina extraordinàriament potent per a la simulació i predicción dels efectes que poden exercir sobre el procés qualsevol tipus de variacions de les condicions operatives, com ara característiques i cabal de l'afluent, de la configuració del procés de tractament, la temperatura de funcionament, la posada fora de servei d'unitats específiques, posada en marxa del procés etc. Sense haver de recórrer a la realització d'assajos experimentals.

El treball s'ha realitzat mitjançant la plataforma de simulació BioWin.



## Resumen

La creciente evolución de los niveles requeridos en el tratamiento de aguas residuales ha puesto de manifiesto la insuficiencia de los modelos clásicos para hacerle frente a esta demanda i la necesidad de disponer de medios técnicos más potentes. El desarrollo de modelos avanzados de simulación de procesos biológicos i su posterior implementación en plataformas de simulación Comerciales ha abierto a todos los profesionales del sector la posibilidad de acceder a estas herramientas.

Así pues, se ha realizado el modelado de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Sant Feliu de Codines, explicando, paso por paso, el desarrollo de este proyecto.

El Trabajo abarca un total de 5 fases, en las que se ha distribuido y ordenado el Trabajo a realizar.

Las primeras fases se han enfocado al tratamiento y la recopilación de datos. Una vez conocidos, nos hemos cuestionado cuáles son los datos no registradas que necesitaremos para poder llevar a cabo las futuras simulaciones. Conociéndolos, se realizó una campaña adicional de monitoreo de planta, con la que conseguimos obtener los datos necesarios para implementar en nuestro modelo.

Llegados a este punto, se ha configurado la planta seleccionada, detallando y dimensionando los procesos unitarios que la forman, en este caso: un reactor biológico, un decantador secundario, un espesador y una centrífuga deshidratante de fangos. Se han introducido todos los datos de caracterización del influente estudiados en el modelo y, por último, se han ajustado algunos parámetros con la finalidad de lograr calibrar y validar nuestro modelo.

El hecho de lograr que el modelo esté adecuadamente calibrado, constituye una herramienta extraordinariamente potente para la simulación y predicción de los efectos que pueden ejercer sobre el proceso cualquier tipo de variaciones sobre las condiciones operativas, tales como características y caudales de afluente, la configuración del proceso de tratamiento, la temperatura de funcionamiento o la puesta en marcha del proceso etc. Sin la necesidad de recurrir a la realización de ensayos experimentales.

El Trabajo se ha realizado mediante la plataforma de simulación BioWin.

## Abstract

The increasing evolution of the required levels of wastewater treatment has revealed the insufficiency of the classic models to meet this demand and the need for more powerful technical means.

The development of advanced simulation models of biological processes and their subsequent implementation in commercial simulation platforms has opened the possibility of access to these tools to all the professionals in the sector.

The modeling of the Sant Feliu de Codines Wastewater Treatment Plant has been carried out, explaining, step by step, the development of this project.

The Work comprises a total of 5 phases, in which the work to be carried out has been distributed and ordered. The first phases have focused on data collection and processing. Once known, we have questioned what is the unrecorded data that we will need to be able to carry out future simulations.

Knowing them, an additional plant monitoring campaign was carried out, with which we managed to obtain the necessary data to implement in our model. At this point, the selected plant has been configured, detailing and sizing the unit processes that comprise it, in this case: a biological reactor, a secondary decanter, a thickener and a sludge dehydrating centrifuge.

All the characterization data of the studied influent have been entered in the model and, finally, some parameters have been adjusted in order to calibrate and validate our model.

The fact of achieving that the model is properly calibrated, constitutes an extraordinarily powerful tool for the simulation and prediction of the effects that any type of variations on the operating conditions can exert on the process, such as characteristics and effluent flows, the configuration of the treatment process, operating temperature or process start-up etc. Without the need to resort experimental tests.

The work has been carried out using the BioWin simulation platform.

## Agraïments

Els agraïments van destinats a la meva tutora a l'empresa, Maria Llorens Olivet, amb qui he compartit pràcticament tot el treball. He après moltíssim i gràcies a la nostre bona relació he mantingut una gran motivació al llarg d'aquests mesos, ha estat un plaer.

Agrair també a en Simó Riera tot el que m'ha ensenyat en quant a la simulació amb l'eina BioWin, ha estat indispensable sens dubte i un gran mentor especialitzat en la eina.

Agraïr també al meu tutor, Oriol Gibert, els consells i les aclaracions necessàries per obtenir un projecte escrit d'èxit.

## Glossari

---

|         |   |
|---------|---|
| ARU     | Aigües Residuials Urbanes   |
| ASDM    | Model de digestió de fangs actius (Activated Sludge Digestion Model)                    |
| CSTR    | Reactor de tanc agitat continu (Continuous Stirred Tank Reactor)                        |
| DBO5    | Demanda Biològica d'oxigen transcorreguts 5 dies  |
| DQO     | Demanda Química d'Oxígens   |
| EDAR    | Estació Depuradora d'Aigües Residuials  |
| gica0   | Gestió Integrada de la Qualitat Ambiental   |
| IWA     | Associació Internacional de l'Aigua (International Water Association)                   |
| MES     | Matèria en Suspensió  |
| Ntot    | Nitrogen Total (qualsevol forma)  |
| NTK     | Nitrogen Total Kjeldhal   |
| OD      | Oxigen Dissolt  |
| Ptot    | Fòsfor Total (qualsevol forma)  |
| SCADA   | Sistema de Supervisió, Control i Adquisició de Dades                                    |
| SRT     | Temps de retenció de fangs (Sludge Retention Time)                                      |
| SST     | Sòlids Totals en Suspensió (Total Suspended Solids)                                     |
| SSV     | Sòlids Volàtils en Suspensió (Volatile Suspended Solids)                                |
| MLSS    | Sòlids Totals en Suspensió del Liquor Mescla (Mixed Liquor Suspended Solids)            |
| SLVM    | Sòlids Volàtils en Suspensió del Liquor Mescla (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids) |
| TRC (d) | Temps de Retenció Cel·lular   |
| TRH (d) | Temps de Retenció Hidràulica  |

---

---

WERF

Water Environment Research Foundation

---



# Índex

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| <b>RESUM</b>   | II                            |
| <b>RESUMEN</b>   | II                            |
| <b>ABSTRACT</b>  | II                            |
| <b>AGRAÏMENTS</b>  | III                           |
| <b>GLOSSARI</b>  | V                             |
| <b>1. PREFACI</b>  | 1                             |
| 1.1. Origen del treball .....  | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.2. Motivació .....   | 1                             |
| 1.3. Requeriments previs .....   | 1                             |
| <b>2. INTRODUCCIÓ</b>  |                               |
| 2.1. Que son les aigües residuals .....                                | 3                             |
| 2.2. Quins son els principals contaminants de les ARU.....             | 4                             |
| 2.2. Com es tracten les aigües residuals.....                          | 5                             |
| 2.3. Que es la modelització .....                                      | 9                             |
| 2.4. Estat del art .....   | 13                            |
| 2.5. Objectius del treball.....  | 14                            |
| 2.6. Abast del treball .....   | 16                            |
| <b>3. METODOLOGÍA</b>  |                               |
| 3.1. Descripció de la planta.....                                      | 18                            |
| <b>4. FASE 1: DEFINICIÓ DEL PROJECTE</b>                               |                               |
| 4.1. Nivell de complexitat .....                                       | 22                            |
| 4.2. Variables Objectiu a utilitzar en el calibratge i validació ..... | 22                            |
| 4.3. Valors límits de les variables.....                               | 23                            |
| 4.4. Identificació dels condicionants coneguts.....                    | 25                            |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| <b>5. FASE 2: RECONCILIACIÓ DE DADES</b>                     | <hr/>                         |
| 5.1. Control del proces .....                                | 26                            |
| 5.2. Recollida de la informació existent .....               | 29                            |
| 5.3. Analisi i recopilació de dades .....                    | 33                            |
| 5.4. Gràfiques i taules obtingudes .....                     | 34                            |
| 5.5. Campanyes addicionals de monitoreig de planta .....     | 44                            |
| 5.6. Determinació DQO amb Kits .....                         | 45                            |
| 5.7. Determinació Sòlids en Suspensió .....                  | 46                            |
| 5.8. Determinació Nitrats .....                              | 49                            |
| 5.9. Determinació Fòsfats.....                               | 50                            |
| <b>6. FASE 3: CONSTRUCCIÓ DEL MODEL</b>                      | <hr/>                         |
| 6.1. Configuració de la planta .....                         | 51                            |
| 6.2. Selecció i detall dels processos unitaris.....          | 52                            |
| 6.3. Introducció de dades al model.....                      | 57                            |
| 6.4. Descripció model ASM1 .....                             | 58                            |
| 6.6. Comprovació del model.....                              | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b>7. FASE 4: CALIBRATGE I VALIDACIÓ DEL MODEL</b>           | <hr/>                         |
| 7.1. Valors límit de les variables (Stop Criteria) .....     | 64                            |
| 7.2. Validació de dades mitjançant Spicifer.....             | 66                            |
| 7.3. Calibratge de dades mitjançant simulació estàtica ..... | 71                            |
| 7.3.1. Calibratge de MLSS .....                              | 71                            |
| 7.3.1. Calibratge de Ntot.....                               | 72                            |
| 7.3.1. Calibratge de Ptot .....                              | 73                            |
| <b>8. RESULTATS</b>  | <hr/>                         |
| 4.11. Comparativa simulació estàtica .....                   | 74                            |
| <b>9. ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL</b>                     | <hr/> <b>77</b>               |
| <b>PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA</b>                      | <hr/> <b>79</b>               |
| <b>CONCLUSIONS</b>   | <hr/> <b>81</b>               |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  | <hr/>                         |
| Referències bibliogràfiques .....                            |                               |
| Bibliografia complementària .....                            |                               |





## 1. Prefaci

### 1.1. Origen del treball

Aquest projecte es una proposta del grup AQUAMBIENTE, el qual ha estat plantejat per dur-se a terme durant més d'un any. L'objectiu es simular el procés de 7 Depuradores del Vallès Oriental i Moianès.

### 1.2. Motivació

Aquest projecte està motivat per la gran eina que suposa disposar d'un model calibrat amb el que, podem predir efectes al procés de qualsevol tipus de variacions o realitzar proves sense la necessitat d'aplicar-les a la realitat.

A més, es poden optimitzar alguns processos aconseguint així costos de producció menors.

En general, disposar d'aquesta eina es un gran ajut per a l'empresa i tots els treballadors.

### 1.3. Requeriments previs

La bona pràctica al laboratori, i una bona praxis de Microsoft Excel han estat els principals requeriments des de l'inici d'aquest projecte

A l'hora de realitzar les simulacions, el fet de haver utilitzat ASPEN HYSYS a les assignatures de simulació de la carrera, han facilitat l'enteniment del programa BioWin. (Programa de simulació utilitzat).

Ha estat fàcil adaptar-me al nou programa de simulació, ja que simplifica bastant bé el funcionament d'una estació d'aigües residuals convencional i es bastant intuitiu.





## 2. INTRODUCCIÓ

### 2.1. Que son les aigües residuals

L'aigua es un recurs imprescindible per a la nostre vida diària i en cadascun dels ecosistemes que formen el nostre entorn. Per això es necessari preservar-la fent un ús sostenible i disminuint la seva contaminació, ja que, no només és important l'abundància d'aquest recurs, sinó que també ho és la qualitat. Per això es de vital importància el tractament de les aigües residuals que es produeixen tant a nivell domèstic com a les precedents dels processos industrials.

Aquest tipus d'aigües suposen un problema mediambiental, ja que si fossin abocades directament a medis naturals, l'aigua podria suposar un risc ecològic degut a la alta carrega de contaminació. Cosa que podria alterar l'equilibri dels ecosistemes als que fossin abocades aquestes aigües, posant en perill tant a la fauna com a la flora presents als nostres rius i mars.

L'aigua residual pot definir-se com un residu líquid recollit mitjançant la xarxa de clavegueram per al seu transport a una estació de tractament d'aigües residuals.

El tipus i la quantitat d'aigua residual (afluent) que entra a una estació depuradora reflexa la naturalesa de l'àrea a la qual serveix, l'ús que se li ha donat i les condicions del mitjà de conducció. El factor que més influeix sobre el procés de depuració de l'aigua residual és, sens dubte, la seva composició.

La procedència de l'aigua és un aspecte determinant respecte les seves característiques físiques, químiques i biològiques. Segons el seu origen, les aigües residuals poden ser classificades en:

1) domèstiques o urbanes, 2) industrials, 3)agropecuàries, 4)pluvials, 5)d'origen incontrolat (abocaments il·legals, infiltracions)

No obstant això, cenyint-nos als objectius d'aquest projecte, al parlar d'aigües residuals ens referirem a aigües d'origen domèstic o urbà (ARU), amb alguna possible aportació de pluvials i / o de procedència incontrolada.

Les aigües residuals d'origen domèstic tenen una composició molt variada a causa de la diversitat de factors que l'affecten i de la naturalesa de la població resident. La major font de contaminació que flueix per les clavegueres domèstiques té el seu origen en els excrements humans i animals (excrements i orina) i en menor proporció en les aigües resultants de la rentada de roba, preparació de aliments i dutxes. D'altra banda, les aigües pluvials o de rentat de carrers que drenen des de les zones urbanes aporten també una càrrega important de contaminació (Arrossegament de matèria sòlida inorgànica en suspensió i matèria orgànica soluble i insoluble)[1].

## 2.1. Quins son els principals contaminants a les ARU

La major font de contaminació que flueix per les clavegueres domèstiques té el seu origen als excrements humans i animals, en menor proporció, les aigües resultants de la neteja de roba, preparació d'aliments i dutxes. D'altra banda, les aigües pluvials o de rentat de carrers que es drenen des de les zones urbanes aporten també una càrrega important de contaminació (Arrossegament de matèria sòlida inorgànica en suspensió i matèria orgànica soluble i insoluble).

Les substàncies contaminants presents a l'aigua residual poden estar en forma dissolta, de partícules sedimentàries o en un estat físic denominat col·loïdal o en suspensió. En qualsevol cas, la major part dels compostos presents en un ARU estan constituïts per matèria orgànica i inorgànica, nutrients i microorganismes. A la taula 1 podem observar quins son els contaminants més habituals i quins efectes tenen sobre les aigües receptores[2].

| Contaminants  | Impactes més significatius   |
|---|--|
| <b>Matèria en Suspensió</b>   | Augment de la terbolesa de l'aigua (alteració de la fotosíntesi i reducció de la producció d'oxigen).<br>Sedimentació, obstruint i cobrint el fons dels rius.  |
| <b>Compostos inorgànics</b>   | Eco toxicitat d'alguns compostos, com les sals de metalls pesats.<br>Reaccions amb substàncies dissoltes a l'aigua passant a formar compostos perillosos.  |
| <b>Conductivitat</b>  | Concentracions elevades de sals impedeixen la supervivència de diverses espècies vegetals i animals.   |
| <b>Nutrients</b>  | Creixement anormal d'algues i bactèries. Eutrofització de l'aigua.   |
| <b>Matèria Orgànica</b>   | La seva descomposició pot provocar la disminució de la concentració d'oxigen dissolt a l'aigua fins arribar a condicions sèptiques. Eutrofització de l'aigua.<br>Emissió de metà en cas d'aparició de processos anaerobis. |
| <b>Compostos orgànics tòxics</b>                                    | Disminució de la concentració d'oxigen degut als processos de biodegradació.   |
| <b>Organismes patògens (bactèries, virus i paràsits)</b>            | Inutilització de l'aigua per us humà.<br>Contaminació dels organismes aquàtics.<br>Malalties de transmissió hídrica associades a la contaminació microbiològica del aigua.   |
| <b>Contaminació tèrmica per descarrega d'aigües de refrigeració</b> | Modificació de la solubilitat del oxigen al aigua.<br>Acceleració del metabolisme de la flora i la fauna.<br>Alteració dels ecosistemes aquàtics.  |

Taula 1. Contaminants presents a les aigües residuals i els seus possibles efectes. [2]



## 2.2. Com es tracten les aigües residuals

Es necessari que les aigües residuals siguin transportades i tractades adequadament, en la majoria de casos s'utilitza una infraestructura específica composta de clavegueres, col·lectors i Estacions de Depuració d'Aigües Residuales (EDAR) que permeten millorar les condicions de les aigües residuals per a que puguin ser abocades novament al medi.

En aquestes estacions s'eliminen les substàncies contaminants presents en aquest tipus d'aigües mitjançant processos físics, químics i biològics obtenint així un efluent que en alguns casos pot ser reaprofitat o simplement abocar-la als rius i mars sense causar danys significatius[3].

En termes generals, les unitats i processos més habituals a les EDARs actuals con els següents.

En primer lloc l'aigua residual és sotmesa a un pretractament que consisteix a eliminar els sòlids més grans mitjançant reixes o filtres que retiren els elements de grans dimensions.



Imatge 1. Reixa de gruixuts (Font: Pròpia)

En aquest procés, a més de començar el tractament de l'aigua, s'evita l'obstrucció de les bombes i maquinàries presents a l'estació. Això és primordial ja que aquestes aigües van carregades amb tot tipus de residus, draps, pals, fulles... Un simple cop d'ull a aquestes aigües ens faria reflexionar sobre les males costums que tenim de llançar cert tipus de deixalles a través del vàter. En aquest pas l'aigua es sotmet a diversos processos com són:

- Desbast: es basa en eliminar els sòlids més grans. S'utilitzen reixes i tamisos per separar aquests sòlids de grans dimensions.
- Dessorrador: s'eliminen les restes de sorres, ja sigui per decantació natural o per separació amb injecció d'aire o centrifugat.

- Desgreixatge: eliminació d'olis i greixos en forma d'escumes flotants.

Seguidament l'aigua se sotmet a un tractament primari. S'entén per tractament primari aquell procés o conjunt de processos que tenen com a missió la separació per mitjans físics de les partícules en suspensió que no han estat eliminades al pretractament.

En aquest pas es redueixen en un 50-85% els sòlids en suspensió i un 20% la matèria orgànica (que se sol mesurar amb la DBO5). A plantes convencionals el tractament primari es realitza per decantació, és a dir, els sòlids precipiten al fons del decantador i mitjançant un pont mòbil amb rasquetes al fons s'escombra el fons de la cisterna eliminant els sòlids decantats, aquests es dirigeixen a la línia de fangs mitjançant purgues com podem veure a la figura 1. En aquest punt del procés se solen afegir additius químics anomenats coagulants, aquests tenen la funció de facilitar la sedimentació de les partícules col·loïdals (partícules de poc diàmetre causants de la terbolesa de l'aigua), se sol utilitzar FeCl<sub>3</sub> a la majoria de casos.

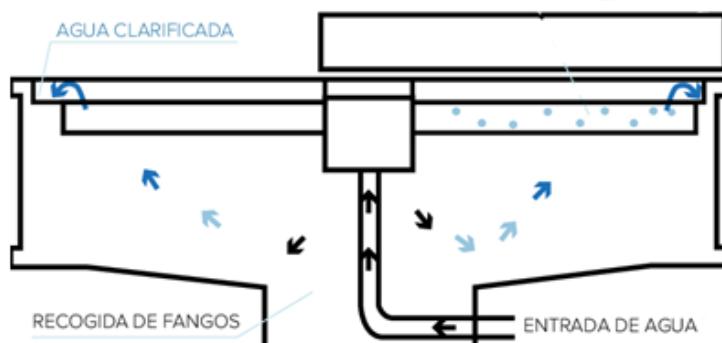


Figura 1. Esquema d'un decantador primari (Font: Research Gate)

També és possible eliminar sòlids mitjançant flotació, en aquest cas s'eliminen sòlids amb densitat semblant a la de l'aigua mitjançant injecció de bombolles molt fines que fan que aquests sòlids surtin en superfície.

L'aigua obtinguda en aquest pas és conduïda al tractament secundari o biològic en el que es redueix un 90% els sòlids en suspensió i en un 70-90% la matèria orgànica, obtenint una aigua de força qualitat.

Existeixen diferents tipus de tractament secundaris o biològics (fangs actius, ventilació prolongada, llits bacterians, biodiscs, etc). No obstant, aquests es poden agrupar en tractaments de biomassa suspesa i fixa.

En els primers, la biomassa està suspesa en el medi aquàtic en contacte amb la contaminació orgànica mitjançant agitació (fangs actius, ventilació prolongada), mentre que en els segons la biomassa es fixa sobre un material. Aquest suport es posa en contacte amb l'aigua i la contaminació orgànica (llits bacterians, biodiscs).

Un dels sistemes més estesos i eficaços dels anteriorment esmentats són els **fangs actius**. Aquests consisteixen en desenvolupar un cultiu de microorganismes que juntament amb la matèria orgànica formen la unitat bàsica d'aquests sistemes: el flòcul, que podem observar a la figura 2.

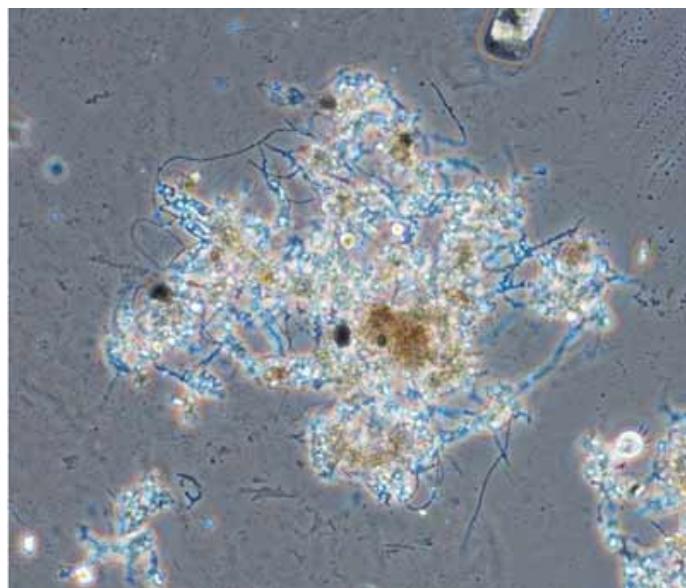


Figura 2: Aspecte de la unitat bàsica de depuració, el flòcul. (Font: Article Shisa).

La depuració en aquest pas es basa en l'oxidació de la matèria orgànica per part dels microorganismes presents als reactors, en cas de tenir microorganismes aerobis (digestió aerobia) l'oxidació es veu incrementada amb l'aportació d'oxigen, normalment, mitjançant turbines o difusors presents a l'interior de les basses. També existeix un altre tipus de digestió biològica molt comú anomenada anaeròbia, aquesta es ve donada per grups bacterians específics que degraden la matèria orgànica en absència d'oxigen (microorganismes anaerobis).

L'agitació evita sediments i homogeneïtza la mescla dels flòculs i l'aigua residual, després d'un temps de contacte suficient (Temps de retenció hidràulic, TRH = 4-8h), el licor mescla (aigua residual dins del reactor) s'envia a un decantador secundari, destinat a separar l'aigua depurada dels fangs.

Un percentatge d'aquests últims son re circulats al dipòsit de ventilació (espessidor) per mantenir en el mateix una concentració suficient de biomassa activa.

L'estudi en profunditat del flòcul i dels microorganismes presents en el sistema ens ajuda a conèixer l'estat de funcionament de la planta. D'una banda l'estructura i compactació dels flòculs condicionarà la sedimentació al decantador, i per tant la qualitat de l'efluent.

Un flòcul compacte sedimentarà millor, obtenint una aigua lliure de fangs i per tant de millor qualitat. D'altra banda els microorganismes presents, bacteris, protists i petits metazoous, a més de col·laborar en la formació del flòcul i en el procés de descontaminació, ens ajuden a conèixer el

nivell de depuració, ja que a través d'un correcte estudi microscòpic podem conèixer les comunitats presents als fangs, i així, obtenir dades que ens indiquen la possible evolució del sistema. Aquests organismes es denominen bioindicadors ja que solen aparèixer sota unes condicions concretes com pot ser deficiència d'oxigen, de nutrients, excés de càrregues, etc.

Seguint el recorregut de l'aigua, després d'obtenir l'efluent d'aquesta etapa, se sotmet a un tractament terciari, que pot consistir en un procés físic-químic que utilitza la precipitació, filtració i/o la cloració per reduir dràsticament els nivells de sòlids en suspensió i de nutrients inorgànics, especialment els fosfats i nitrats de l'efluent final. També poden eliminar-se amb l'ajut de microorganismes capaços de reduir el fosfats i nitrats com veurem en mes detall a continuació.

Aquest tractament es obligatori en aquelles zones amb risc d'eutrofia, ja que l'abocament d'aigües carregades de nitrogen i fòsfor als rius produceix un procés d'eutrofització, és a dir, un creixement anormal d'algues (veure imatge 2), plantes aquàtiques i microorganismes de diferents classes en algunes zones sensibles dels nostres rius. Això exerceix una forta demanda d'oxigen, la qual afecta negativament la vida dels peixos i té un impacte negatiu en l'ús d'aquest aigua.



Imatge 2. Llacuna amb eutrofització (Font: iAgua)

Com a norma general, el tractament terciari pretén eliminar totes les substàncies dissoltes no desitjades, ja que, l'aparició de contaminants orgànics nocius o de metalls es cada cop més habitual.

A més de la línia d'aigües, en aquestes estacions de tractament trobem línies de fangs, ja que a través d'aquest procés tant en la decantació primària com en la secundària obtenim fangs per sedimentació que segueixen paral·lelament un tractament per eliminar la seva capacitat de fermentació. A més de ser deshidratat per a reduir així el seu volum.

Els fangs produïts a les depuradores tenen aplicacions diverses com és el seu aprofitament agrícola per a abonament o bé propostes més actuals com la fabricació de ecobrick o maons refractaris, sempre i quant no continguin contaminants.

Podem resumir doncs que la depuració d'aigües residuals persegueix una sèrie d'objectius entre els quals trobem:

- Reduir al màxim la contaminació dels cursos naturals de l'aigua, protegint així el medi ambient.
- Aprofitar els residus obtinguts, fent un ús més sostenible dels recursos hídrics.

## 2.3. Que es la modelització

La modelització de processos, físics, químics o biològics, és una disciplina d'estudi que permet realitzar prediccions del comportament d'un sistema utilitzant un model i unes condicions de contorn. Es pot dir que es tracta d'una forma alternativa a l'experimentació per obtenir prediccions. Resulta molt útil per a sistemes complexos en els quals l'experimentació porta molt de temps o la operació suposa costos o riscos molt elevats[4].

### Que es un model?

Un model és un esquema o expressió, normalment matemàtica, que reflecteix un sistema i el que li succeeix, s'utilitza per analitzar el comportament d'aquest en certes condicions. L'objectiu d'aquests models es predir el comportament de les variables que resulten d'interès. []

### Tipus de models

Hi ha models mecanicistes (White box), que són models on els processos estan descrits amb molt de detall i que tenen en compte gran quantitat de variables i paràmetres. El problema que plantejen és que són tan detallats que exigeixen un gran coneixement del sistema, dels processos i de les condicions, cosa que exigeix un esforç enorme per al calibratge.

Els models empírics (Black box) són models molt més senzills per que fa al seu calibratge, aquests busquen una relació matemàtica que sigui capaç de predir el comportament de les variables d'interès, sense tenir en compte processos interns. Els valors de sortida de les variables són funció dels valors de moltíssims menys paràmetres d'entrada, i això redueix la complexitat en el calibratge. No obstant això, la es tracta d'una relació matemàtica que no descriu el procés.

Els models mecanicistes simplificats (Grey box) són models molt versàtils ja que la complexitat és l'escollida pel desenvolupador. Com més complex és el model més s'aproxima als mecanicistes, mentre que, com més simplificacions es fan més s'assembla a un model empíric.



## **Modelització de Sistemes Biològics al llarg de la Història**

Els primers models matemàtics d'eliminació de matèria orgànica i nutrients van ser desenvolupats per la IWA (International Water Association), anomenats com a models ASM1 (1987) i ASM2 (1995). En el primer es va modelar l'eliminació de matèria orgànica i nitrogen, introduint la notació matricial (que explicarem a continuació) mentre que al segon es va incloure també l'eliminació de fòsfor.

El 1999 la IWA va llançar una ampliació del model ASM1 amb la inclusió de processos com la respiració endògena (punt en que els microorganismes anaerobis acaben el substrat als fangs i comencen a metabolitzar el seu propi material cel·lular destruint les seves pròpies cèl·lules).

En el mateix any la IWA va realitzar una revisió de l'ASM2, el ASM2d, en la qual es va incloure als bacteris PAO (Bactèries Acumuladores de Polifosfats). (Actualment aquest és el model més utilitzat en el desenvolupament de les aplicacions de simulació) [6].

Sistemes que utilitzen el fòsfor de l'aigua residual únicament per a la síntesi de noves cèl·lules. No obstant això, quan els fangs activats s'exposen alternativament a condicions anaeròbies i aeròbies, les cèl·lules assimilen més fòsfor dels requerits per a la síntesi cel·lular.

El procés d'eliminació biològica de fòsfor consta de dues fases. La primera fase requereix condicions anaeròbies i la disponibilitat de compostos orgànics de baix pes molecular com els àcids grassos volàtils de cadena curta (Short Chain Volatile Fatty Acids, SCVFA), que són fàcilment emmagatzemables pels microorganismes encarregats del procés, principalment en forma d'acetat i propianat. Això fa que, en condicions anaeròbies, la concentració de ortofosfats al reactor augmenti.

En una segona fase, en condicions aeròbies, les cèl·lules consumeixen els compostos orgànics emmagatzemats a la fase anterior, utilitzant-los com a fonts d'energia i carboni per al creixement cel·lular i per l'acumulació, en forma de polifosfats, dels ortofosfats disponibles al líquid de mescla. La concentració de els fosfats incorporats a les cèl·lules durant aquesta fase aeròbia sobrepassa la quantitat de fosfats dissolts durant la fase anaeròbia.

Pel que fa els models de Digestió Anaeròbia, el 2002 apareix el més utilitzat actualment, que és el ADM1. Aquests models presenten una complexitat elevada en el seu desenvolupament i comprensió.

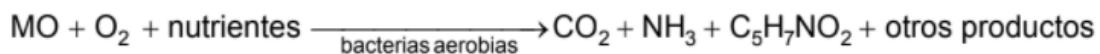
La majoria d'aquests models es basen en realitzar balanços de matèria a través de sistema al llarg de el temps:

$$\text{Acumulació} = \text{Entrades} - \text{Sortides} + \text{Generació} - \text{Consum}.$$

Cal remarcar que la matèria orgànica present a l'aigua residual affluent a un sistema de fangs actius serveix com a substrat per a bacteris heteròtrofs (organismes que es nodreixen de fonts de carboni orgànic) del líquid mescla. L'eliminació de la matèria orgànica present a l'aigua residual que ha entrat en contacte amb els fangs actius es produeix a través de les següents etapes:

1. Atrapament de partícules amb estructura de flòcul dels fangs actius.
2. Adsorció del material col·loïdal.
3. Biosorció, (eliminació ràpida i inicial per absorció i emmagatzematge cel·lular de compostos orgànics solubles d'elevat pes molecular).
4. Assimilació i acumulació intracel·lular de substàncies fàcilment biodegradables.
5. Autodigestió (respiració endògena) de la biomassa quan hi hagi limitacions de substrat biodegradable.

Els bacteris heteròtrofs utilitzen la matèria orgànica present en l'aigua residual com a font de carboni per a la síntesi cel·lular. Les reaccions d'oxidació i de síntesi cel·lular es poden expressar de forma genèrica així:



on MO indica matèria orgànica i C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub> representa la nova matèria cel·lular formada. Com s'observa, aquest procés implica la producció de nitrogen amoniacial, cosa que contribueix a augmentar la concentració d'aquesta substància a l'aigua residual.

### **Notació Matricial**

La notació matricial és la forma més senzilla de presentar la informació necessària per definir un model. El model ve definit per dos matrius, la matriu estequiomètrica i la matriu de components. Per definir aquest model hem de triar;

- 1) els components, que són totes les espècies que participen als processos reactius;
- 2) els processos, que són les reaccions físiques, químiques o biològiques que afecten els components;
- 3) els materials a conservar, la continuïtat és la base per al càlcul de les relacions estequiomètriques.



## Matriu estequiomètrica

| Compound → ↓ Process                            | S <sub>O<sub>2</sub></sub> | S <sub>I</sub>    | S <sub>S</sub>    | MP                  | S <sub>NH<sub>4</sub></sub> | S <sub>N<sub>2</sub></sub> | S <sub>NO<sub>x</sub></sub> | S <sub>ALK</sub> | X <sub>I</sub>  | X <sub>S</sub>     | X <sub>H</sub>     | X <sub>STO</sub>                           | X <sub>A</sub>                 | X <sub>SS</sub>    |                  |
|---|----------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--|--------------------------------|--------------------|------------------|
| 1. Hydrolysis                                   |                            | f <sub>SI</sub>   | x <sub>I</sub>    |                     | y <sub>I</sub>              |                            |                             |                  | z <sub>I</sub>  |                    | -1                 |  |                                |                    | -i <sub>XS</sub> |
| <b>Heterotrophic organisms, denitrification</b> |                            |                   |                   |                     |                             |                            |                             |                  |                 |                    |                    |  |                                |                    |                  |
| 2. Aer. stor. of S <sub>S</sub>                 | x <sub>2</sub>             |                   | -1                |                     | y <sub>2</sub>              |                            |                             |                  | z <sub>2</sub>  |                    |                    |  | Y <sub>STO,O<sub>2</sub></sub> | t <sub>2</sub>     |                  |
| 2.1 Aer. stor. of MP <sub>s</sub>               | x <sub>2</sub>             |                   |                   | -1                  | y <sub>2</sub>              |                            |                             |                  | z <sub>2</sub>  |                    |                    |  | Y <sub>STO,O<sub>2</sub></sub> | t <sub>2</sub>     |                  |
| 3. Anox. stor. of S <sub>S</sub>                |                            |                   | -1                |                     | y <sub>3</sub>              | -x <sub>3</sub>            | x <sub>3</sub>              |                  | z <sub>3</sub>  |                    |                    |  | Y <sub>STO,NOX</sub>           | t <sub>3</sub>     |                  |
| 3.1 Anox. stor. of MP <sub>s</sub>              |                            |                   |                   | -1                  | y <sub>3</sub>              | -x <sub>3</sub>            | x <sub>3</sub>              |                  | z <sub>3</sub>  |                    |                    |  | Y <sub>STO,NOX</sub>           | t <sub>3</sub>     |                  |
| 4. Aer. growth of X <sub>H</sub>                | x <sub>4</sub>             |                   |                   |                     | γ <sub>MP,H</sub>           | y <sub>4</sub>             |                             |                  | z <sub>4</sub>  |                    | 1                  | -1/Y <sub>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></sub> | t <sub>4</sub>                 |                    |                  |
| 5. Anoxic growth                                |                            |                   |                   |                     | γ <sub>MP,H</sub>           | y <sub>5</sub>             | -x <sub>5</sub>             | x <sub>5</sub>   | z <sub>5</sub>  |                    | 1                  | -1/Y <sub>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></sub> | t <sub>5</sub>                 |                    |                  |
| 6. Aer. end. resp.                              | x <sub>6</sub>             |                   |                   |                     | f <sub>B</sub>              | y <sub>6</sub>             |                             |                  | z <sub>6</sub>  | f <sub>I</sub>     | -1                 |  | t <sub>6</sub>                 |                    |                  |
| 7. Anox. end. resp.                             |                            |                   |                   |                     | f <sub>B</sub>              | y <sub>7</sub>             | -x <sub>7</sub>             | x <sub>7</sub>   | z <sub>7</sub>  | f <sub>I</sub>     | -1                 |  | t <sub>7</sub>                 |                    |                  |
| 8. Aer. resp. of X <sub>STO</sub>               | x <sub>8</sub>             |                   |                   |                     |                             |                            | -x <sub>9</sub>             | x <sub>9</sub>   | z <sub>9</sub>  |                    |                    | -1   | t <sub>8</sub>                 |                    |                  |
| 9. Anox. resp. of X <sub>STO</sub>              |                            |                   |                   |                     |                             |                            | -x <sub>9</sub>             | x <sub>9</sub>   | z <sub>9</sub>  |                    |                    | -1   | t <sub>9</sub>                 |                    |                  |
| <b>Autotrophic organisms, nitrification</b>     |                            |                   |                   |                     |                             |                            |                             |                  |                 |                    |                    |  |                                |                    |                  |
| 10. Aer. growth of X <sub>A</sub>               | x <sub>10</sub>            |                   |                   |                     | γ <sub>MP,A</sub>           | y <sub>10</sub>            |                             | 1/Y <sub>A</sub> | z <sub>10</sub> |                    |                    |  | 1                              | t <sub>10</sub>    |                  |
| 11. Aer. end. resp.                             | x <sub>11</sub>            |                   |                   |                     | f <sub>B</sub>              | y <sub>11</sub>            |                             |                  | z <sub>11</sub> | f <sub>I</sub>     |                    |  | -1                             | t <sub>11</sub>    |                  |
| 12. Anox. end. resp.                            |                            |                   |                   |                     | f <sub>B</sub>              | y <sub>12</sub>            | -x <sub>12</sub>            | x <sub>12</sub>  | z <sub>12</sub> | f <sub>I</sub>     |                    |  | -1                             | t <sub>12</sub>    |                  |
| <b>Conservatives</b>                            |                            |                   |                   |                     |                             |                            |                             |                  |                 |                    |                    |  |                                |                    |                  |
| COD gCOD  | -1                         |                   | 1                 | 1                   |                             |                            | -1.71                       | -4.75            |                 | 1                  | 1                  | 1  | 1                              | 1                  |                  |
| Nitrogen gN                                     |                            | i <sub>N,SI</sub> | i <sub>N,SS</sub> | i <sub>N,MP</sub> * | 1                           | 1                          | 1                           |                  |                 | i <sub>N,XI</sub>  | i <sub>N,XS</sub>  | i <sub>N,BM</sub>                          |                                | i <sub>N,BM</sub>  |                  |
| Ionic charge Mole +                             |                            |                   |                   |                     | 1/14                        |                            | -1/14                       | -1               |                 |                    |                    |  |                                |                    |                  |
| <b>Observable</b>                               |                            |                   |                   |                     |                             |                            |                             |                  |                 |                    |                    |  |                                |                    |                  |
| TSS gSS   |                            |                   |                   |                     |                             |                            |                             |                  |                 | i <sub>SS,XI</sub> | i <sub>SS,XS</sub> | i <sub>SS,BM</sub>                         | 0.6                            | i <sub>SS,BM</sub> |                  |

Taula 2. Matriu Estequiomètrica del model ASM3 (Font: iAqua)

Com podem observar a la Taula 2, les columnes de la matriu representen els components, mentre que les files corresponen als processos.

Per a cada component es defineix l'estequiometria en els processos en què participi. Generalment es convenen valors positius per a la generació i valors negatius per a la desaparició dels components en cada procés.

### Cinètica del procés

Per acabar de definir un model, queda la definició de la cinètica dels processos. Aquesta dóna informació sobre la velocitat a la qual apareixen o desapareixen els components.

A l'hora de definir la cinètica per a cada procés hi ha diverses expressions cinètiques que expressen matemàticament l'evolució temporal d'aquest procés, trobem expressions cinètiques independents o de grau 0, cinètiques lineals o de primer grau, i Cinètiques complexes exponencials o d'inhibició.

A continuació podem veure la forma d'aquestes expressions cinètiques, en aquest cas veiem les del procés d'hidròlisi.



|  | Proceso                 | Ecuación cinética del proceso $r_j$ , $r_j \geq 0$ $[M_t L^{-3} T^{-1}]$   |
|--|-------------------------|--|
| Proc. de hidrólisis  | 1) Hidrólisis aerobia   | $K_h \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$  |
|  | 2) Hidrólisis anóxica   | $K_h \cdot \eta_{NO_3} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$ |
|  | 3) Hidrólisis anaerobia | $K_h \cdot \eta_{fe} \cdot \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} \cdot \frac{K_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \cdot \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \cdot X_H$   |
|  | Componente              | Descripción  |
| <b>Hidrólisis del substrato particulado (<math>X_S</math>)</b> | $K_h$                   | Constante de hidrólisis  |
|  | $\eta_{NO_3}$           | Factor reducción de la hidrólisis en medio anóxico   |
|  | $\eta_{fe}$             | Factor reducción de la hidrólisis en medio anaerobio   |
|  | $K_{O_2}$               | Coeficiente de saturación/inhibición para el oxígeno   |
|  | $K_{NO_3}$              | Coeficiente de saturación/inhibición para el nitrato   |
|  | $K_X$                   | Coeficiente de saturación para la DQO no soluble   |

## 2.4. Estat de l'art

Es innovador per la empresa l'ús del programari BioWin, a les EDAR a les que s'ha desenvolupat la modelització. Gràcies a modelar i simular el procés de les nostres plantes podem desenvolupar multitud d'aplicacions, així com millorar i optimitzar les mateixes plantes, poder dissenyar i provar nous equips sobre els processos ja construïts o realitzar assaigs amb nous esquemes de tractament. A través de la revisió de l'estat de l'art, s'han trobat els següents articles reals on s'ha aplicat el modelatge per resoldre problemàtiques o estudiar millors mitjançant BioWin:

*Anàlisi de les teories de sedimentació en els sistemes de tractament d'aigües residuals. Estat de l'art i noves línies d'investigació.* (Felix Martínez Garcia, Alacant, 2012)[7].

L'objectiu d'aquest treball es basa en analitzar els paràmetres que intervenen a la sedimentació dins els decantadors secundaris integrats a un reactor biològic, per obtenir l'optimització del disseny d'aquests elements a partir de les teories sobre sedimentació i models existents.

Es va realitzar una revisió de les diferents teories i models utilitzats habitualment a les plantes i gràcies a l'estudi es van treure conclusions objectives sobre quines eren les millors condicions per a obtenir una sedimentació major, ja fos per la forma geomètrica dels decantadors, la carrega de fangs re circulats, o la capacitat sedimentaria dels fangs. Aquest estudi ha aportat al meu treball un millor entendiment sobre els models que s'utilitzen modelant amb el propi BioWin.



*Una EDAR urbana situada a Galicia optimitza l'eliminació de P a planta mitjançant modelatge utilitzant BioWin . (Verde R, Casas O, Muiño P, Poncet J, Galicia, 2017)[8].*

Aquest projecte es va desenvolupar degut a la necessitat de solucionar problemes d'eliminació de fòsfor al tractament biològic. La planta era puntualment incapaç d'obtenir valors de P inferiors als imposats per les Lleis d'abocaments.

Així doncs, mitjançant el software BioWin es crea un model de la planta base amb les dades disponibles i, una vegada calibrat i validat el model, van reproduir el comportament real de la planta mitjançant variacions a certs paràmetres del procés. Finalment es va millorar el rendiment depuratiu del reactor i es van trobar els valors optimitzats d'aquests paràmetres. Aquest projecte aporta un aprenentatge sobre com desenvolupar una simulació en dinàmic, optimitzant els paràmetres d'interès mitjançant el propi programa de simulació que utilitzarem al nostre treball.

*Modelatge i optimització del funcionament d'una EDAR amb procés biològic integrat innovador per a l'eliminació de nutrients. (Eneko Menchaca Ibarra, Cantabria, 2016)[9].*

En aquest cas, s'analitza el funcionament d'una estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) d'una petita població, amb cabal afluent altament variable. L'estudi no consisteix en un projecte constructiu clàssic, si no que es un estudi on es busca trobar una nova disposició de caràcter innovador. En aquest cas, l'aprenentatge més significatiu es la fiabilitat de les simulacions que es desenvolupen, ja que, la disposició descrita al treball funciona de forma molt representativa a la realitat. S'han agafat com a referència alguns paràmetres del biodisc que s'utilitza per a la nostra planta amb Biodisc.

## 2.5. Objectius del treball

L'objectiu d'aquest projecte ha estat realitzar la simulació de 7 EDARs del Vallès Oriental, Occidental i Moianès.

En aquest treball escrit es presenta com s'ha desenvolupat, pas a pas, la modelització i calibratge de l'**EDAR de Sant Feliu de Codines**.

El procediment a seguir per a desenvolupar el projecte ha estat planejat per la empresa contractant. Aquest s'articula en una sèrie d'activitats subdividides en diferents fases, que hauran de ser seguides en el desenvolupament de tot el projecte.

És de destacar que les fases no són independents una de les altres, sinó que estan relacionades entre elles, podent-se donar el cas, en certes circumstàncies, de realitzar modificacions a fases ja acabades.

L'estructura dels treballs a realitzar és la següent:

**Fase 1: Definició del projecte:**

En aquest apartat es defineixen els treballs a realitzar a totes les fases.

Es pretén obtenir un calibratge de la simulació amb BIOWIN que permeti simular escenaris futurs per a cadascuna de les EDARs, d'acord amb els condicionants i límits descrits.

La llista de variables que s'utilitzaran per al posterior calibratge serà d'exactitud, per així poder establir criteris de parada i respectar els valors legislatius. La identificació de limitacions conegudes, incloent temps, diners, experiència del personal i capacitats del programari son incloses.

**Fase 2: Recollida i reconciliació de dades:**

Enfocada a familiaritzar-nos amb la planta existent mitjançant la informació monitoritzada durant 3 anys al gica0 ( aplicació dissenyada per el Consorci Besòs Tordera per controlar la gestió integral de les aigües residuals, des del moment en què s'aboquen a la xarxa de clavegueram fins la seva depuració final), per així conèixer les característiques de l'influent, el comportament intern de la planta, les consignes operatives i els rendiments obtinguts en cada etapa del procés de depuració.

Es planificaran les campanyes d'adquisició de dades per dur a terme el calibratge, la validació i l'avaluació dels resultats.

Una vegada obtingudes totes les dades necessàries es desenvoluparà el corresponent diagrama de flux i el balanç de massa, amb el que, podrem desenvolupar el primer esquema de comprovació de dades. Veient així si els valors amb els que treballem compleixen en carrega i comportament la planta estudiada així com els rendiments d'alguns equips enfront dels valors teòrics.

**Fase 3: Construcció del model:**

En aquesta fase es desenvoluparà la simulació respectant totes les dades obtingudes gràcies a les fases anteriors.

Introduirem al nostre simulador BioWin totes les característiques de l'influent.

Seleccionarem el model de reactor a utilitzar en funció de com sigui a cada planta.

Respectarem les dimensions de cada un dels elements de la EDAR (així com reactor, decantadors, espessidors...) i desenvoluparem el que era el nostre diagrama de Flux en el programa.

També seleccionarem alguns paràmetres en funció de les consignes operacionals de cada planta. Així com s'introduirà el rendiment de cada un dels elements del procés al programa.



#### Fase 4: Calibratge del model:

Per validar el calibratge del model, tant en una simulació estàtica, com dinàmica, s'identificaran algunes variables objectiu i es definiran algunes variables anomenades Stop Criteria (intervals d'error acceptables entre valors simulats i experimentals).

Es realitzarà una comprovació entre els resultats obtinguts a la simulació i les dades experimentals estudiades.

Una vegada modificats els paràmetres necessaris, es tornarà a realitzar la simulació per comprovar si aquests canvis ens han aportat el desitjat.

#### Fase 5: Interpretació de resultats:

La fase final es basarà en dur a terme les simulacions tant dinàmiques com estàtiques per a poder interpretar els resultats i obtenir conclusions.

## 2.6. Abast del treball

Aquest treball presenta el desenvolupament de la modelització i calibratge de la EDAR de **Sant Feliu de Codines** fins a la Fase 4, per tant, s'exposa tot el que s'ha anomenat anteriorment des de la Fase 1 fins a la 4, excloent però, la simulació dinàmica de planta ja que continua sent desenvolupada a l'actualitat.

L 'interpretació de resultats (Fase 5) no ha estat desenvolupada, i per tant, queda fora de l'abast d'aquest treball. No obstant, es presentarà una comparativa de les dades obtingudes a partir d'una simulació estàtica en front de les dades reals de planta.

Cal remarcar que el projecte desenvolupat a l'empresa abasta el modelatge d'un total de 7 EDARs.

Algunes de les característiques més destacables d'aquestes Estacions son:

**Bigues i Riells:** Disposa d'un gran reactor amb forma de llacuna, a més, l'aeració és constant mitjançant difusors en tota la seva superfície.

**Sant Llorenç de Savall:** Estació Depuradora amb reactor de biodisc, aquesta ha estat la planta que més ha costat modelar. Les característiques del seu reactor son difícilment mesurables i alhora molt diferents als habituals (Reactor de Fangs Actius).

**Santa Eulàlia de Ronçana:** Disposa d'un reactor amb forma de W estil Carrusel, s'aireja mitjançant rotors. Treballa en règim "ON" - "OFF (airejat / no airejat).

**Caldes de Montbui:** Aquesta planta disposa d'una bassa d'homogeneïtzació per laminar el cabal d'entrada. Està composta per 3 reactors de forma cilíndrica que operen com a CSTR (reactor de tanc agitat continu), també opera en règim "ON" - "OFF".

**Castellar del Vallès:** Disposa d'un reactor biològic rectangular, un dels més fàcils alhora de ser dimensionat degut a la facilitat amb la que es pot representar al programa de simulació. Treballa en règim "ON" - "OFF".

**Sant Quirze Safaja.** Disposa d'un reactor amb forma Carrusel, treballa en règim "ON" - "OFF" i s'aireja mitjançant rotors.



### 3. Metodologia

#### 3.1. Descripció de la planta

La EDAR de **Sant Feliu de Codines** es la que utilitzarem com a referència per explicar pas a pas el projecte realitzat.

Aquesta planta tracta un cabal mig d'entrada d'uns 1400 m<sup>3</sup> al dia, l' aigua es principalment de caràcter urbà, és a dir, no es un aigua potencialment contaminada (baixa càrrega).

| Paràmetres de qualitat |                  |               |
|------------------------|------------------|---------------|
| DQO: 309 mg/l          | NT: 39,1 mg/l    | Pt: 5,2 mg/l  |
| DBO5: 142 mg/l         | NKT: 37,9 mg/l   | P-PO4: * mg/l |
| TSS: 168 mg/l          | N-NH4: 25,6 mg/l |               |
| VSS: * mg/l            | N-NO3: 0,8 mg/l  | pH=8,07       |
|                        | N-NO2: 0,4 mg/l  |               |

Taula 3. Paràmetres de qualitat de l'influent. (Font: AQUAMBIENTE.)

A la taula 3, podem observar alguns dels paràmetres de qualitat principals de l'influent d'aquesta planta. A l'hora de realitzar la depuració, la majoria d'aquest paràmetres es veuran reduïts.

Aquesta EDAR disposa d'un pretractament compost per un dessorrador (llarg), un tamís de greixos (50mm) i una reixa de fins (5mm) amb l'objectiu d'eliminar la major quantitat de sòlids i partícules.

Superat el pretractament, l' aigua es reparteix en dos reactors mitjançant una arqueta de repartició. El reactor biològic treballa en règim "ON" - "OFF" i opera com a CSTR (Reactor de tanc agitat continu). Compost per dos reactors de tipus Carrusel (veure Imatge 3) , cada reactor està airejat a través de 120 difusors de membrana amb micra forats, on el principal objectiu es eliminar la matèria orgànica de l'aigua mitjançant, en aquest cas microorganismes aerobis. Cal dir però que en els intervals de temps on no s'aireja el reactor i només s'agit (en absència d'oxigen), els microorganismes anaerobis eliminan part del N generat a la nitrificació. L'aire es propulsat mitjançant 2 bufants per reactor (Marca: Pedro Gil 1 ).



Imatge 3. Reactors EDAR Sant Feliu de Codines (Carrusel).

Una vegada realitzat el tractament al reactor, l'aigua passa per 2 decantadors de segona etapa, on es busca minimitzar els Sòlids en Suspensió d'aquestes aigües per a ser retornades al medi, en aquest punt del procés s'afegeix FeCl<sub>3</sub>, que fa de coagulant, millorant la floculació i per tant, la sedimentació de les partícules en suspensió.



Imatge 4. Arqueta de repartició de fangs a la EDAR de Sant Feliu de Codines.

Per altre banda, els fangs obtinguts al decantador van dirigits a una altre arqueta de repartició de fangs (veure imatge 4), per ser transportats a l'espessidor de fang, on es concentren per a poder ser dirigits a una sala de deshidratació mitjançant una centrífuga.

(Les especificacions de cada element de la planta es concretaran a la Fase 2, posteriorment).

Per a facilitar l'enteniment del procés de depuració d'aquesta planta s'adjunta la figura 2 de la planta i el diagrama de flux realitzat a la simulació.

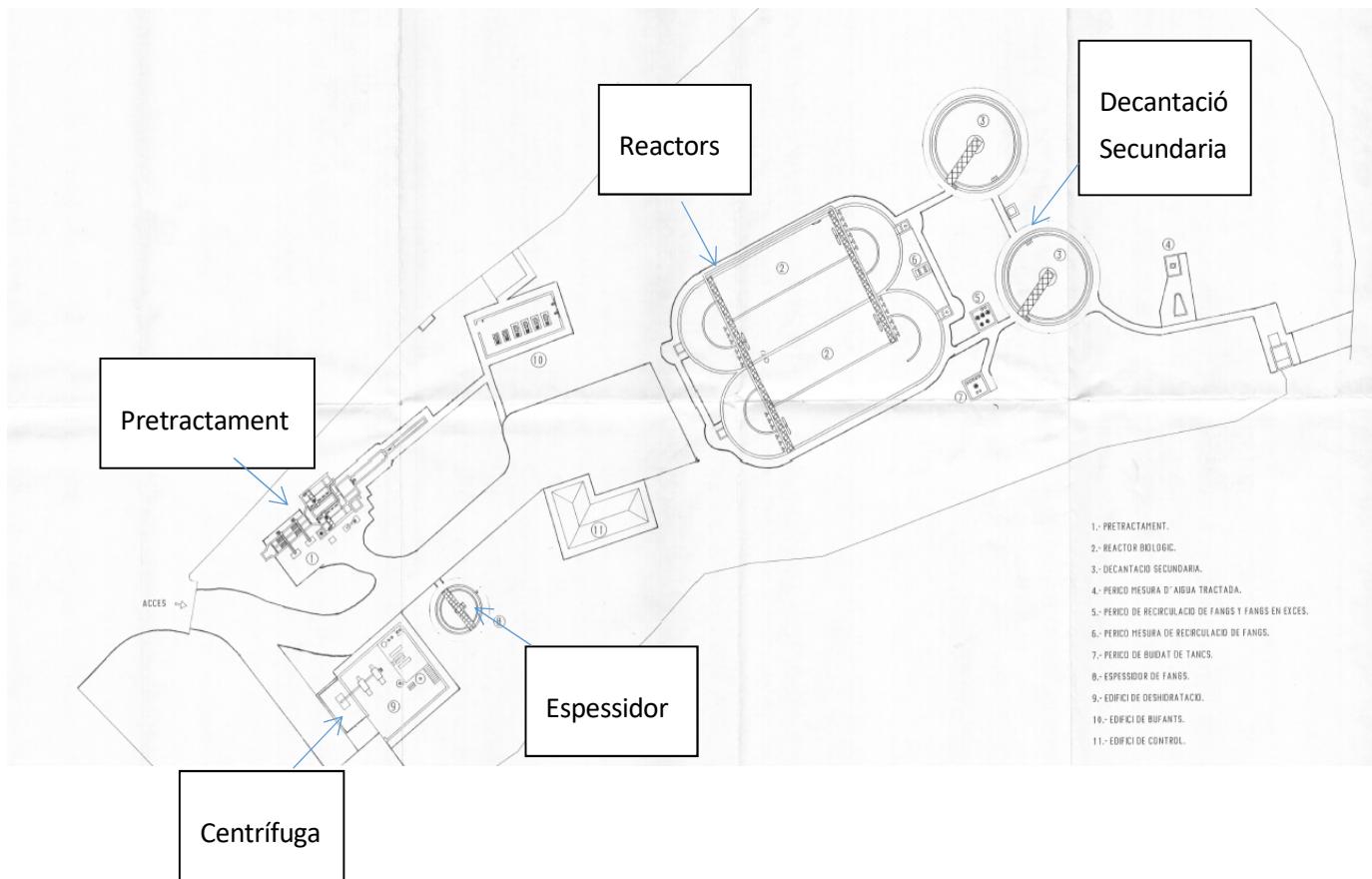


Figura 2. Plànol de planta, EDAR Sant Feliu de Codines. (Font: AQUAMBIENTE.)

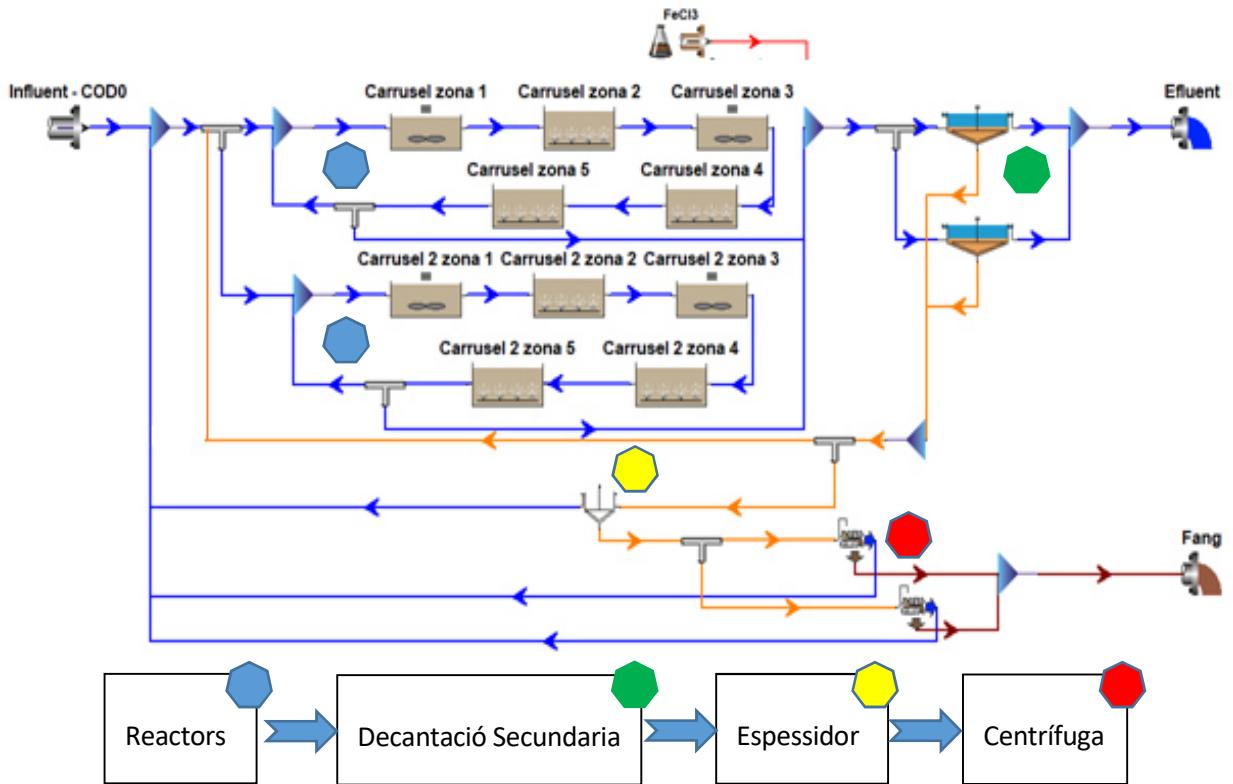


Figura 3. Diagrama de flux amb BioWin. (Font: Adrián Mejías.)

Com podem observar a la Figura 3, els principals elements a tenir en compte a la hora de realitzar la nostra simulació son el reactor, essencial per a realitzar el procés de simulació.

Decantació secundaria, on eliminarem gran part dels sòlids en suspensió del liquor mescla (aigua ja tractada). L'espessidor, on concentrarem els fangos decantats per a poder introduir un material ben dens a centrifuga i facilitar així el seu assecat mitjançant Polielelectròlits líquids (encarregats de fer flòculs i millorar la separació de la fase líquida).

## 4. FASE 1: Definició del projecte

La primera fase a desenvolupar es basa en reconèixer els límits i la complexitat del model que volem desenvolupar amb la nostra simulació.

Triarem les variables objectiu a tindre en compte en la nostra posterior validació i calibratge del model.

Seleccionarem alguns objectius principals i secundaris de cara als resultats obtinguts en les simulacions i identificarem quins poden ser els nostres condicionants, així com, el temps, la planificació, el pressupost o el programari.

El model de les EDAR inclourà la totalitat de les operacions que componen la instal·lació existent amb totes les interrelacions entre els diferents processos unitaris.

### 4.1. Nivell de Complexitat

Les simulacions es realitzaran considerant que les diverses línies que componen la línia d'aigua i de fangs s'agrupen en una sola.

L'estudi es centrarà tant en la línia d'aigua com en la línia de fangs.

Les simulacions a realitzar seran de **Calibratge**, realitzant així simulacions en **estat estacionari** en un període de funcionament estable i de durada inferior a 40 dies. Mentre que en el cas de les simulacions **dinàmiques** es realitzarà una comprovació de durada no inferior a 40 dies.

### 4.2. Variables Objectiu a utilitzar en el calibratge i validació

Les variables objectiu són les que s'utilitzen com a referència en el calibratge.

Les principals variables a considerar variaran segons les característiques i elements de cada planta a simular:

#### a) Influent / Efluent

|        |         |         |
|--------|---------|---------|
| - DQO  | - NT    | - Pt    |
| - DBO5 | - N-NH4 | - P-PO4 |
| - TSS  | - N-NO3 |         |
| - VSS  | - N-NO2 |         |

b) Reactor biològic.

|                 |                  |              |
|-----------------|------------------|--------------|
| - MLSS          | - T <sup>a</sup> | - SRT        |
| - MLVSS         | - OUR            | - DO         |
| - Cabal (Purga) | - MLSS (Purga)   | - Pt (Purga) |

c) Decantació

|        |         |         |
|--------|---------|---------|
| - DQO  | - NT    | - Pt    |
| - DBO5 | - N-NH4 | - P-PO4 |
| - TSS  | - N-NO3 |         |
| - VSS  | - N-NO2 |         |

### 4.3. Valors límits de les variables

Els criteris d'aturada de la simulació depenen de les característiques de cada planta.

A la taula 4 veiem una referència de Stop Criteria que ens aporta la IWA per aplicar a modelitzacions de fangs activats.

Com podem veure, hi ha molts valors i toleràncies considerades.

Els objectius principals son aquells que tenen una major rellevància a la hora de donar bo el model simulat. Els secundaris, no menys importants, son marges d'errors també desitjables però no essencials.

Quan ens referim a realitzar una comparativa amb simulació dinàmica, ens referim a estudiar el model en períodes de temps curts i de forma constant (en canvi, quan ens referim a una simulació estàtica, se sol realitzar la mitjana de valors en períodes de temps més llargs, i per tant, menys precisos).

Tot i que l'essencial seria realitzar una simulació que compleixi amb tots els requisits, es molt difícil desenvolupar un model capaç de representar a la perfecció el comportament de la planta en tants paràmetres, per tant, es la empresa contractant qui decideix quins han de ser els criteris estrictament respectables.



| Objectiu   | Influent         | Simulació    | Període mitjà                   | Variable Objectiu         | Interval error acceptable (+-) |
|--|------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| <b>OBJECTIUS PRINCIPALS</b>  |                  |              |                                 |                           |                                |
| Avaluació de la capacitat de la planta per eliminació de nitrogen                        | Dinàmic          | Dinàmica     | Mitjana mensual o mitjana anual | NH <sub>x</sub> -N        | 1 mg/l                         |
|  |                  |              |                                 | NO <sub>x</sub> -N        | 1 mg/l                         |
|  |                  |              |                                 | N <sub>tot</sub>          | 1 mg/l                         |
| Disseny del sistema de tractament per assolir els límits instantanis de nitrogen efluent | Dinàmic          | Dinàmica     | Valors instantanis              | NH <sub>x</sub> -N        | 0.5 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | NO <sub>x</sub> -N        | 0.5 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | N <sub>tot</sub>          | 0.5 mg/l                       |
| Desenvolupament d'un model per aprenentatge de l'operador                                | Dinàmic          | Dinàmica     | Mitjana mensual                 | MLSS                      | 10%                            |
|  |                  |              |                                 | WAS load                  | 5%                             |
|  |                  |              |                                 | Efluent TSS               | 5.0 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | NH <sub>x</sub> -N        | 1.0 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | NO <sub>x</sub> -N        | 1.0 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | PO <sub>4</sub> -P        | 1.0 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | Air flow rate             | 10%                            |
|  |                  |              |                                 | DO                        | 0,5 mg/l                       |
| Avaluació de l'acceptabilitat d'un nou influent  | Estacionari      | Estacionaria | Mitjana mensual                 | MLSS                      | 10%                            |
|  |                  |              |                                 | WAS load                  | 5%                             |
|  |                  |              |                                 | Efluent TSS               | 5.0 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | NH <sub>x</sub> -N        | 1.0 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | NO <sub>x</sub> -N        | 1.0 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | PO <sub>4</sub> -P        | 1.0 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | Air flow rate             | 10%                            |
|  |                  |              |                                 | DO                        | 0,5 mg/l                       |
| <b>OBJECTIUS SECUNDARIS</b>  |                  |              |                                 |                           |                                |
| Càcul producció de fangs   | Estacionari      | Estacionària | Mitjana mensual                 | MLSS                      | 10%                            |
|  |                  |              |                                 | MLVSS/MLSS                | 5%                             |
|  |                  |              |                                 | WAS load                  | 5%                             |
|  |                  |              |                                 | Efluent TSS               | 5 mg/l                         |
|  |                  |              |                                 | SRT                       | 1 d ó 15% *<br>*SRT<5 dies     |
| Utilització del model per desenvolupar una estratègia de purga                           | Dinàmic          | Dinàmica     | Mitjana setmanal                | WAS load                  | 10%                            |
|  |                  |              |                                 | SRT                       | 1 d                            |
|  |                  |              | Mitjana diària                  | NH <sub>x</sub> -N        | 1.0 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | PO <sub>4</sub> -P        | 0.5 mg/l                       |
| Optimització del control del sistema d'aeració   | Dinàmic          | Dinàmica     | Mitjanes horàries               | Cabal d'aire (si aplica)  | 10%                            |
|  |                  |              |                                 | Perfil de DO              | 0,5 mg/l                       |
|  |                  |              |                                 | Efluent N-NH <sub>4</sub> | 0,5 mg/l                       |
| Desenvolupament un model general per entendre el model                                   | Sense calibratge |              |                                 | Cap                       | No aplica                      |

| Objectiu   | Influent | Simulació | Període mitjà   | Variable Objectiu   | Interval error acceptable (+-)                           |
|--|----------|-----------|-----------------|---|--|
|  |          |           |                 |   |  |
| <b>OBJECTIUS A PERSEGUIR UNA VEGADA VALIDAT EL MODEL</b>             |          |           |                 |   |  |
| Efecte de disposar un tanc fora de servei (si aplica)                | Dinàmic  | Dinàmica  | Mitjana mensual | NH <sub>x</sub> -N<br>NO <sub>x</sub> -N<br>Ntot<br>PO <sub>4</sub> -P<br>Ptot        | 1,0 mg/l<br>1,0 mg/l<br>1,0 mg/l<br>0,5 mg/l<br>0,5 mg/l |
| Desenvolupament d'una estratègia pel tractament d'aigües de tempesta | Dinàmic  | Dinàmica  | Horària         | MLSS<br>Efluent TSS<br>NH <sub>x</sub> -N<br>NO <sub>x</sub> -N<br>PO <sub>4</sub> -P | 10%<br>10 mg/l<br>1,0 mg/l<br>1,0 mg/l<br>0,5 mg/l       |

Taula 4. Stop Criteria (IWA Task Group on Good Modelling (2012).  
 Guidelines for Using Activated Sludge Models. Scientific and Technical Report No.22, IWA, London,UK)

#### 4.4. Identificació dels condicionants coneguts

Els condicionats temporals exigits en el plecs impliquen calibrar i simular cada planta en el decurs dels 2 primers anys del servei AQUAMBIENTE.

Es pretén realitzar aquestes en el primer any i mig de servei, realitzant la primera fase en juliol de 2020 i la resta en el darrer semestre de 2020 i el primer de 2021, en especial perquè s'ha tingut en compte la durada de l'analítica addicional prevista a la fase 2, que estableix la presa de mostres addicionals amb analítica integrada.



## 5. Fase 2: Recollida i reconciliació de Dades.

### 5.1. Control del procés:

**Aeració:** En aquesta EDAR s'estableix un sistema d'aeració intermitent anomenat "ON-OFF".

Es fa servir control per programació SCADA, amb sonda d'oxigen i redox per a controlar la nitrificació i desnitrificació a l'interior del reactor biològic.

Com podem veure a la Figura 4 veure com evoluciona el valor de OD (color vermell) i Redox (color Blau) dins del reactor respecte el temps. Aquests valors, conjuntament amb els temps màxims i mínims de nitrificació i desnitrificació son els que controlen la comandes ON-OFF que tenen les bufants.

A més a més, podem observar a la gràfica de color verd la potència emprada per les bufants, que augmenta o disminueix en funció de la necessitat d'oxigen al reactor.

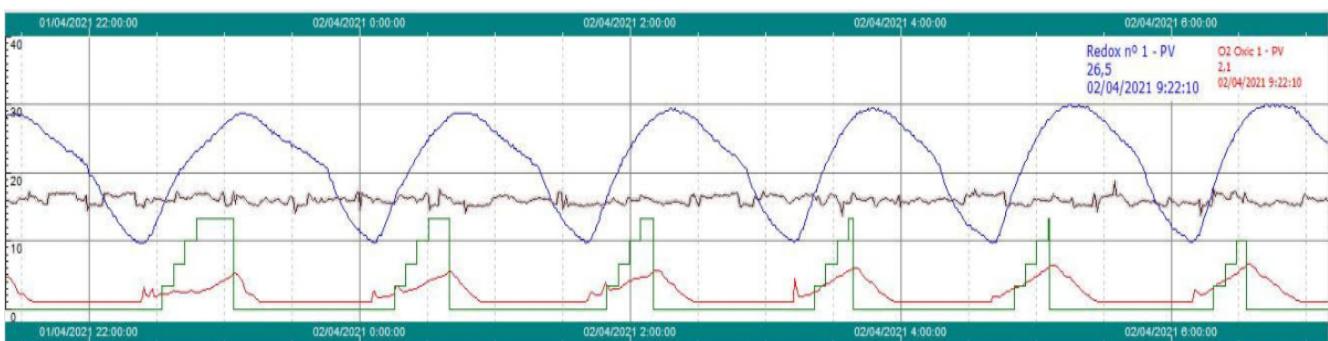


Figura 4. SCADA, OD dins del Reactor Biològic EDAR de Sant Feliu de Codines (Font: Pròpia).

Tot i que les bufants compleix les consignes en funció de l'anomenat anteriorment. Hi ha algunes consignes mínimes i màximes que sempre es respecten per així assegurar que el funcionament del reactor sigui sempre intermitent.

A la Taula 5 podem observar els valors establerts a la realitat per així assegurar una correcta nitrificació i desnitrificació dins el reactor.

| BUFADORS DE BIOLOGIC L1            |           | AUTOMATIC |  |
|------------------------------------|-----------|-----------|--|
| Temps Màxim Nitrificació           | 70 min    |           |  |
| Temps Minim Nitrificació           | 10 min    |           |  |
| Redox Màxim Nitrificació           | 80,0 mV   |           |  |
| Oxigen Màxim Nitrificació          | 3,50 ppm  |           |  |
| T.Lectura Redox Nitrificació       | 300 seg   |           |  |
| Increment Redox Nitrificació       | 0,0 mV    |           |  |
| Retard Zon Bufador Nitrificació    | 300 seg   |           |  |
| Oxigen Mínim 2on Buf. Nitrificació | 3,00 ppm  |           |  |
| Temps Lectura Oxigen Nitrificació  | 300 seg   |           |  |
| Increment Variador x Oxigen        | 25 %      |           |  |
| Temps Màxim Desnitritificació      | 120 min   |           |  |
| Temps Minim Desnitritificació      | 60 min    |           |  |
| Redox Minim Desnitritificació      | -120,0 mV |           |  |
| T.Lectura Redox Desnitritificació  | 60 seg    |           |  |
| Increment Redox Desnitritificació  | 40,0 mV   |           |  |
| Variador Bufador Operador          | 100 %     |           |  |

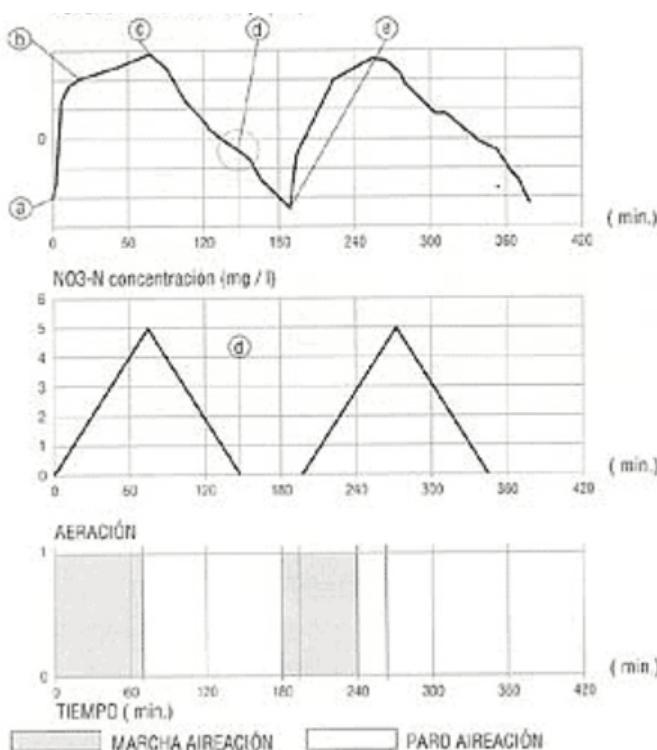
| Habilit. Control                                     |                 |
|--|-----------------|
| <input checked="" type="checkbox"/>                  | Hab.Rdx Nitrif. |
| <input checked="" type="checkbox"/>                  | Hab.Rdx Desnit. |
| <input checked="" type="checkbox"/>                  | Hab.O2 Nitrif.  |
| <input checked="" type="checkbox"/>                  | Hab.2º Bufant   |
| <input type="checkbox"/> Lectures Reactor Biològic 2 |                 |

| Permis NipHO                            |                        |
|---|------------------------|
| <input type="checkbox"/>                | Habilita sistema NipHO |
| <input type="checkbox"/> NipHO Operatiu |                        |

Taula 5. Paràmetres de control del Reactor Biològic EDAR de Sant Feliu de Codines.

Per a poder interpretar millor el funcionament, observem la figura 5[14].



El nitrogen entra a planta (“a”) en les seves formes reduïdes (principalment en forma amoniacial) produint un potencial redox negatiu. Com l’oxigen dissolt es cero, es posa en marxa l’aeració.

Amb presència d’oxigen dissolt, les bactèries nitrificants comencen l’oxidació de l’amoni transformant-lo en nitrits i nitrats.

(La **nitrificació** és l’oxidació biològica del nitrogen amoniacial. Aquest procés es realitza en dues etapes, en la primera l’ió amoni s’oxida a nitrits i després aquests són oxidats a nitrats.

Figura 5. Esquema nitrificació/desnitritificació.

Les reaccions de transformació les realitzen principalment dos gèneres de bacteris autòtrofs aerobis trucades nitrificants, que utilitzen el carboni inorgànic com a font de carboni cel·lular)



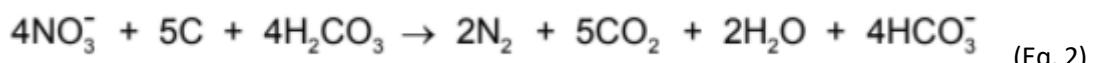
(Eq. 1)

Al augmentar ràpidament la concentració de formes oxidades i disminuir les reduccions, el potencial redox es tornarà positiu en la fase “a-b”.

A la fase “b-c” l'aeració encara està en marxa però la producció de nitrits i nitrats és molt més lenta perquè s'esgota l'amoni, es per això que el potencial redox augmenta més lentament. Quan el potencial redox s'estabilitza, es deté l'aeració.

A partir del punt “c”, amb l'aeració parada, començarà la reducció dels nitrats a nitrògens gasosos. Aquest és el procés de desnitrificació. Durant la desnitrificació, disminueix el potencial redox, la concentració d'oxigen i la concentració de nitrats.

(Durant el procés de reducció, el nitrat es transforma inicialment en nitrit i aquest en òxid nítric, òxid nitrós i finalment en nitrogen gas que s'allibera a l' atmosfera. Els organismes responsables d'aquesta reacció són principalment heteròtrofs, que poden adaptar-se a les condicions del medi en que es troben. En condicions anòxiques aquests bacteris són capaços d'utilitzar els nitrats i els nitrits com acceptors d'electrons en lloc de l'oxigen dissolt. El procés de desnitrificació implica la transferència d'electrons entre un donador d'electrons reduït (matèria orgànica) a un acceptor d'electrons oxidat (oxigen, nitrat, nitrit o sulfat).).



(Eq. 2)

A les proximitats del punt “d”, aquesta disminució del potencial redox és més lenta perquè existeix una baixa concentració de nitrats acumulats. L'oxigen dissolt a aquesta fase es 0 mg / l.

En el punt “d” es produeix una inflexió en la corba de redox. Es el punt denominat “punt de concentració zero de nitrats”. Aquest punt indica el final de la desnitrificació i el pas de condicions anòxiques a anaeròbies (novament).

Observant ara la figura 4 , hem pogut observar que el temps d'aeració dins del reactor biològic es aproximadament de 30'. Mentre que posteriorment s'atura durant uns 60' .

El valor d'OD mitjà durant aquests 30' es aproximadament de 3,5 mg OD/L. Mentre que, durant els altres 60' el valor mitjà d'OD es de 0mg OD/L .



Per tant si considerem que un cicle comporta una aturada i una posada en marxa, el cicle serà d'un total de 90'.

Per tant, sabent que 30' són airejats, podem dir que 1/3 del temps del cicle el reactor està nitrificant (30'/90' potencial redox amb tendència creixent), mentre que els altres 60' seran de desnitritificació, els 2/3 de temps restant del cicle (60'/90' potencial redox amb tendència decreixent). Es clar doncs, que observant la gràfica i entenent la dinàmica del procés es fàcil comprendre que està passant a l'interior del nostre reactor biològic.

## 5.2. Recollida de la informació existent

Les dades obtingudes mitjançant el gica0 son principalment dades d'entrada, consignes de planta i operatives, característiques del procés i rendiments d'equips.

### Caracterització d'aigües:

Per conèixer els valors mitjans de les dades recopilades al gica0 s'ha pres com a referència les dades de cabals i carregues d'efluent i influent dels darrers 3 anys (09/2017 – 09/2020).

| Variables EDAR Sant Feliu de Codines     |                 |                  |               |
|--|-----------------|------------------|---------------|
| Influent                                 | DQO / SS (mg/l) | Nitrogen (mg/l)  | Fòsfor (mg/l) |
| Q mig entrada: 1.404 m <sup>3</sup> /dia | DQO: 309 mg/l   | NT: 39,1 mg/l    | Pt: 5,2 mg/l  |
|  | DBO5: 142 mg/l  | NKT: 37,9 mg/l   | P-PO4: * mg/l |
|  | TSS: 168 mg/l   | N-NH4: 25,6 mg/l |               |
|  | VSS: * mg/l     | N-NO3: 0,8 mg/l  | pH=8,07       |
|  |                 | N-NO2: 0,4 mg/l  |               |
| Efluent                                  | DQO / SS (mg/l) | Nitrogen (mg/l)  | Fòsfor (mg/l) |
| Q mig sortida: 1.376 m <sup>3</sup> /dia | DQO: 24 mg/l    | NT: 2,9 mg/l     | Pt: 1,1 mg/l  |
|  | DBO5: 5 mg/l    | NKT: 1,4 mg/l    | P-PO4: * mg/l |
|  | TSS: 5 mg/l     | N-NH4: 0,7 mg/l  |               |
|  | VSS: 4 mg/l     | N-NO3: 1,2 mg/l  | pH=7,86       |
|  |                 | N-NO2: 0,3 mg/l  |               |

\* DADES NO DISPONIBLES

Taula 2. Caracterització Influent i Efluent de la EDAR de Sant Feliu de Codines (Font: Pròpia.)

Les dades han estat avaluades i seleccionades mitjançant els següents criteris:



Els resultats analítics obtinguts amb un rang inferior al de detecció en el procediment analític, s'han considerat com al valor de detecció. És a dir, si s'ha obtingut un valor <, s'ha pres com a =. Per exemple: TSS<5, s'ha considerat =5.

Els procediments analítics per a la determinació del Nitrogen són per fotometria, excepte el NKT, que resulta del càlcul: NT= NKT + N-NO<sub>3</sub> + N-NO<sub>2</sub>. Per aquest motiu, s'ha considerat la mitjana dels valors obtinguts de NT, N-NO<sub>3</sub> i N-NO<sub>2</sub>, i s'ha fet el càlcul pel de NKT.

No es disposa de cabalímetre d'entrada, per tant, el valor considerat resulta de restar els returns de l'espessidor i els escorreguts de la centrífuga al cabal d'entrada a reactors (Cabal de 1.500 m<sup>3</sup>/d).

#### **Caracterització del Licor Mescla (dins del Reactor Biològic):**

Per conèixer els valors mitjans del cabals i les concentracions dels corrents interns al reactor, s'han estudiat les dades dels 3 últims anys.

| <b>Característiques principals del Reactor Biològic de la EDAR de Sant Feliu de Codines</b> |   |  |                        |
|---|---|--|------------------------|
| <b>Reactor biològic (mitja 2 reactors)</b>  | <b>SS / Cabal de purga</b>                | <b>T<sup>a</sup> / Our / MLSS Purga /O<sub>2</sub></b> | <b>Reactor / Purga</b> |
| Cabal recirculació: 953 m <sup>3</sup> /dia   | MLSS: 1.840 mg/l                          | T <sup>a</sup> 17,3 °C                                 | SRT: 14,6 dies         |
|   | MLVSS: 1.496 mg/l                         | OUR: *   | DO: * mg/l             |
|   | Cabal (purga fangs): 98 m <sup>3</sup> /d | MLSS (Purga de fangs)<br>3.616 mg/l                    | Pt (Purga de fangs): * |

\*DADES NO DISPONIBLES

Variables principals del reactor biològic a la EDAR de Sant Feliu de Codines (Font: Pròpia.)

#### **Reactius de línia d'aigua**

Es dosifiquen 42 kg/dia de clorur fèrric comercial.

#### **Línia de fangs:**

Cabal de fang que entra a centrifuga: 14 m<sup>3</sup>/dia

MS Purga: 0,37%

MS Espessidor: 1,63 %

MSV Espessidor: 73,8 %

MES Escorregut de centrifuga: 514 mg/l

Total producció de fangs deshidratats: 1.068 kg MF/dia (destí a compostatge)

Sequedad del fang deshidratat: 19,6%



## **Volums dels elements i unitats operatives**

### **Dades físiques de planta:**

#### Línia d'aigua

Cabal disseny : 2.900 m<sup>3</sup>/dia

#### Pretractament

Nº Línies: 2 Reixa 50mm

Nº Línies: 2 Tamís Aquaguard: 5 mm. Pas:0,6x1,1 m (instal-lat posteriorment)

Nº Línies:2 Dessorrador-desgreixador : Vol =21,9 m<sup>3</sup>. 5x2 bombolla gruixuda / Marca:Ahsa tipus Oxitec 2

208 Nm<sup>3</sup>/h 3Kw Marca: Pedro Gil Regulació: arrancada directe sense

Nº Bufants: 2 variador

#### Reactor Biològic

Nº React: 2 Dimensions: 1260 m<sup>3</sup> 120 difusors per reactor Marca:Degremont.

Nº Bufants: 4 600 Nm<sup>3</sup>/h 9 Kw Marca: Pedro Gil 1 variador freqüència per a un bufador

#### Decantació

Nº Decant: 2 Diam: 12,1 Volum=1150 m<sup>3</sup> Superf:95 m<sup>2</sup> Vel.Asc 2 dec=0,64

Bom. Recirc:3 Cabal:66,6m<sup>3</sup>/h 1,75Kw Marca:EMU 2 variadors de freqüència

#### Línia Fangs

Bombes de purga a espessidor : 2 Cabal:7,2m<sup>3</sup>/h 0,5Kw Marca:EMU . Regulació temporitzat escada

Espessidor=1 Diametre= 5m Volum= 39 m<sup>3</sup> Superficie= 19,6 m<sup>2</sup>

Bombes fangs a centrífugues: 2 Cabal=4 m<sup>3</sup>/h . Variador mecànic

Centrífugues: 2 Cabal=4 m<sup>3</sup>/h

#### **Consignes:**

Nº de línies operatives: totes d'acord amb la figura 3 i 4.



Temps de funcionament on-off de l'aeració: 33% airejat, 66% en agitació

S'han realitzat balanços de massa i càlculs de rendiments seguint l'esquema obtingut als diagrames de flux observats anteriorment:

### **Balanç de masses dels decantadors secundaris i rendiment.**

Entrada = Sortides

Cabal entra a decantació secundaria =  $2.453 \text{ m}^3/\text{dia} = 1.500 \text{ m}^3/\text{dia} + 953 \text{ m}^3/\text{dia} = 953 \text{ m}^3/\text{dia} + 98 \text{ m}^3/\text{dia} + 1.376 \text{ m}^3/\text{dia}$

Sòlids del reactor que passen a decantació secundaria = Cabal de sortida del reactor x MLSS=  $2.453 \text{ m}^3/\text{dia} \times 1.840 \text{ mg/l /1000} \rightarrow 4.513 \text{ kg/dia}$

#### **Rendiment del decantador secundari**

$$= 1 - [1.376 \text{ m}^3/\text{dia} \times 5 \text{ mg/l / 1000}] / [2.453 \text{ m}^3/\text{dia} \times 1.840 \text{ mg/l /1000}] = \mathbf{99,85\%}.$$

Es considera correcte al comparar-lo contra el valor típic.

### **Balanç de masses del espessidor i rendiment**

Entrada = Sortides

$98 \text{ m}^3/\text{dia} = 84 \text{ m}^3/\text{dia} + 14 \text{ m}^3/\text{dia}$

Sòlids purgats de decantació secundaria, que passen a espeissiment = Cabal Purga x SST (Purga)=

$[98 \text{ m}^3/\text{dia} \times 3.700 \text{ mg/l /1000}] \rightarrow 363 \text{ kg/dia}$

#### **Rendiment del espessidor**

$$= 1 - [84 \text{ m}^3/\text{dia} \times 1.600 \text{ mg/l / 1000}] / [98 \text{ m}^3/\text{dia} \times 3.700 \text{ mg/l /1000}] = \mathbf{62,93 \%}.$$

Es considera correcte al comparar-lo contra el valor típic.

Els 1.600 mg/l corresponen als sobre nadants de l'espessidor, que s'han calculat amb el balanç de masses.



### **Balanç de masses del equip de deshidratació i rendiment**

Entrada = Sortides

$$14 \text{ m}^3/\text{dia} = 1,068 \text{ m}^3/\text{dia} + 12,93 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Sòlids que passen a ser deshidratats= Cabal decantat a espessidor x SST(Espessidor)=  
[14 m<sup>3</sup>/dia x 16.300 mg/l /1000] -> 228 kg/dia

$$\text{Rendiment del equip de deshidratació} = [1,068 \text{ m}^3/\text{dia} \times 195.800 \text{ mg/l /1000}] / (14 \text{ m}^3/\text{dia} \times 16.300 \text{ mg/l /1000}) = 91,7\%.$$

Es considera correcte al comparar-lo contra el valor típic.

### **5.3. Anàlisi i recopilació de dades**

Les dades analitzades anteriorment ja inclouen l'exclusió de les que no es consideren significatives, s'han respectat doncs les següents pautes al descartar resultats:

Tots els valors fora del percentil 2,5 i 97,5% no han estat considerats. Tant del cabals d'entrada / sortida, com de les càrregues d'entrada (MES, DQO, DBO<sub>5</sub>, NT, N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub> i PT).

Si tres o més resultats analítics d'un mateix dia han estat exclosos per trobar-se fora del rang percentil, s'han eliminat tots els valors del mateix dia, considerant doncs, que la mostra no era representativa.

Havent agrupat tots els resultats analítics, hem treballat només amb els valors que compleixen el rang del percentil.

Posteriorment, s'han representat totes les dades abans i després de la selecció per comparar-les.

S'ha realitzat aquest exercici en les següents variables:

- Cabal d'entrada a reactors.
- Matèria en Suspensió (MES).
- DQO.
- DBO<sub>5</sub>.
- Nitrogen Total (NT).
- Fòsfor total (PT).



## 5.4. Gràfiques i taules obtingudes

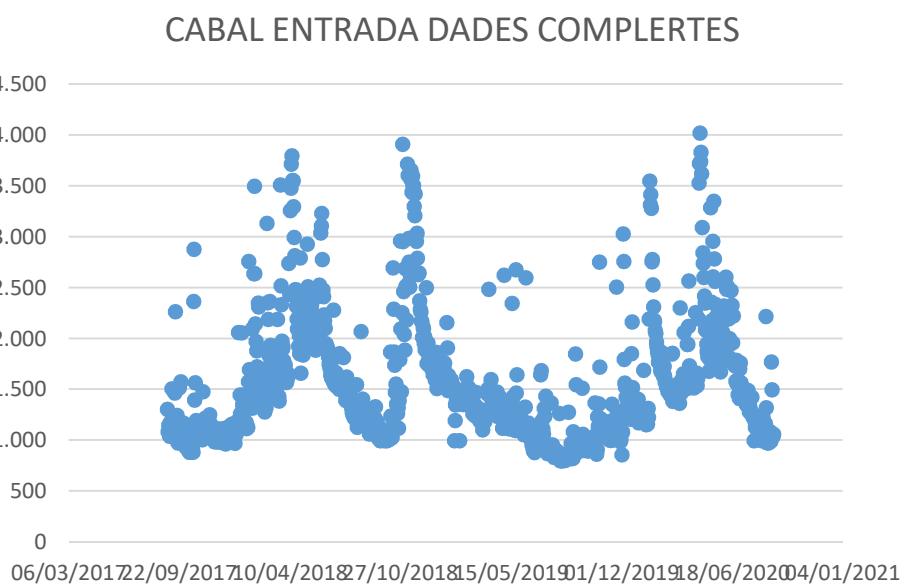
Les gràfiques anomenades com a Completes fan referència a la representació del conjunt de dades extrems del GICA (sense modificacions).

Mentre que les gràfiques anomenades com a Considerades fan referència a la representació del conjunt de dades ja tractades mitjançant la tècnica esmentada a l'apartat anterior, i que per tant, han estat les que hem utilitzat com a referència a la nostra simulació dins del programa BioWin.

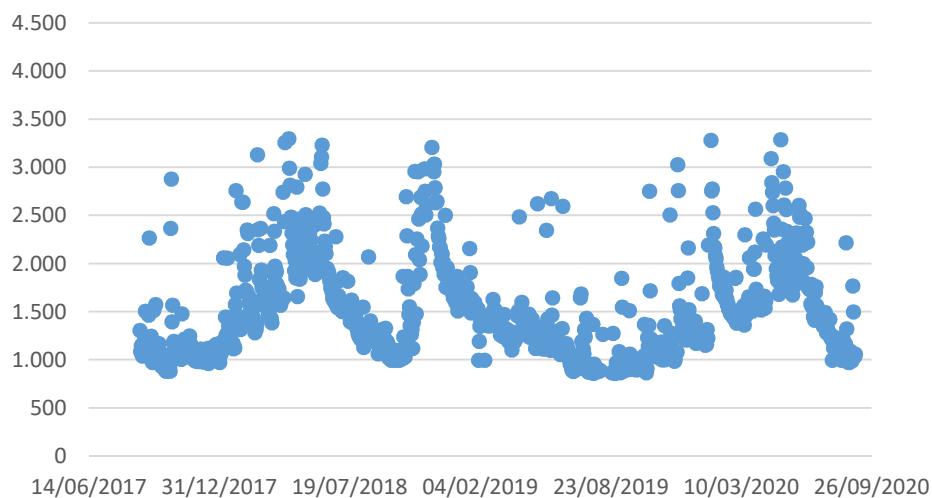
### Cabal d'entrada a reactors

A continuació podem observar com les dades de cabals varien significativament en funció de l'estació de l'any, així però, difícilment podem aconseguir establir un valor mig, ja que l'interval de valors es massa gran.

Al aplicar la nostra selecció de dades, observem clarament com la nostra gràfica de cabals considerats forma un conjunt de dades més compacte, en el que, totes estan dins d'un interval tant superior com inferior (Rang Percentil). Així aconseguim que la dispersió de dades sigui més petita.



### CABAL ENTRADA DADES CONSIDERADES



|                | Complets | Considerats |
|----------------|----------|-------------|
| NÚMERO OBS     | 1.097    | 1.042       |
| PROMIG         | 1.536    | 1.500       |
| MITJANA        | 1.366    | 1.366       |
| MODA           | 1.109    | 1.109       |
| PERCENTIL 2,5  | 858      | 893         |
| PERCENTIL 97,5 | 3.296    | 2.774       |
| DESVIACIÓ TP   | 601      | 502         |
| MÀX            | 4.016    | 3.293       |
| MIN            | 796      | 858         |

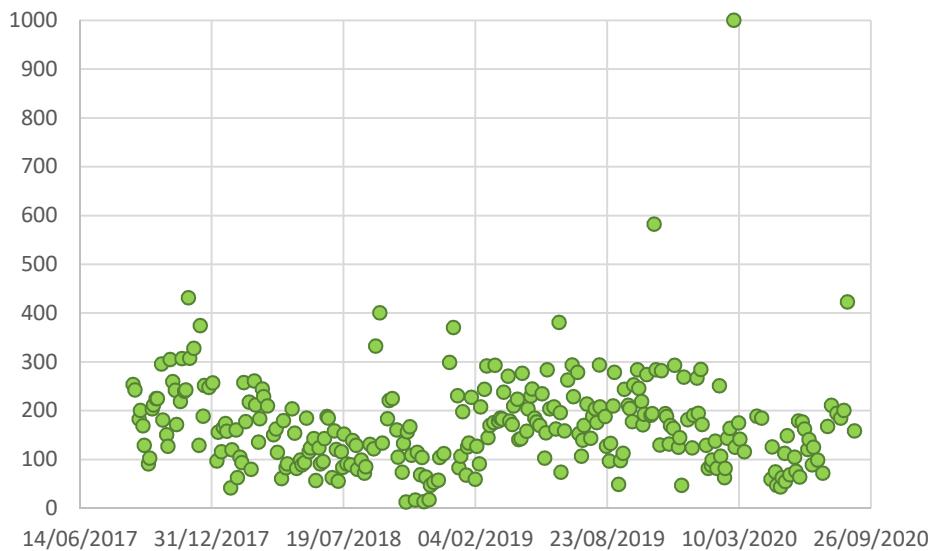
Taula 6. Comparació valors d'entrada a reactor de l'EDAR de Sant Feliu de Codines (Font: Adrián Mejías.)

## **Matèria en Suspensió de l'aigua d'entrada**

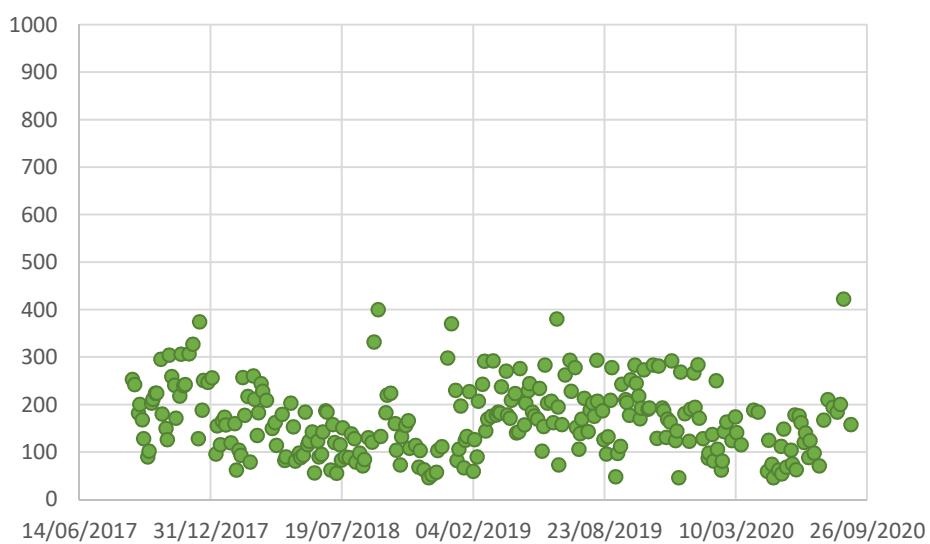
Els valors de MES no varien massa en funció de l'estació de l'any, però es poden observar clarament alguns valors que estan molt lluny de la tendència.

Al aplicar la nostra selecció de dades, observem com les dades que no segueixen la tendència queden fora de la mitja de valors a tenir en compte, i per tant, millorem la precisió del nostre conjunt de dades.

MES DADES COMPLERTES



MES DADES CONSIDERADES

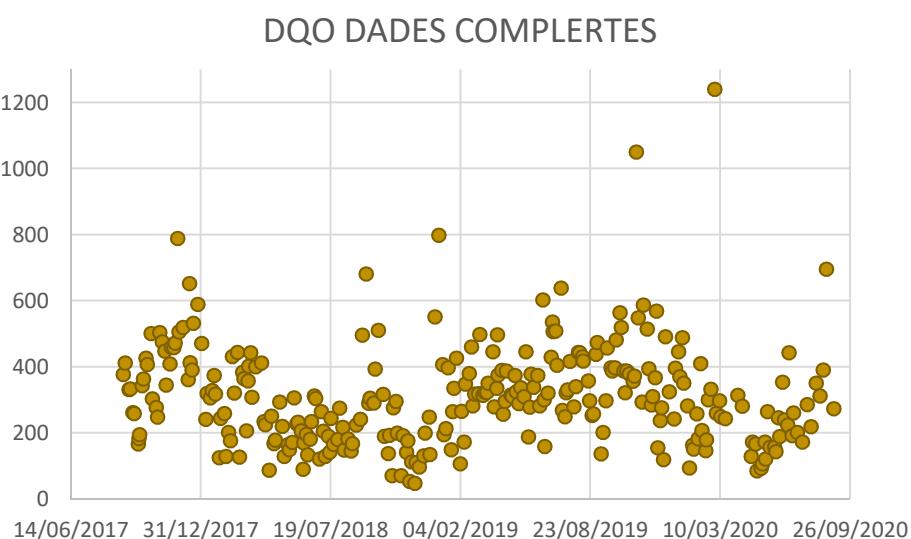


|                | Complerts | Considerats |
|----------------|-----------|-------------|
| NÚMERO OBS     | 279       | 268         |
| PROMIG         | 169       | 168         |
| MITJANA        | 162       | 163         |
| MODA           | 184       | 184         |
| PERCENTIL 2,5  | 46        | 56          |
| PERCENTIL 97,5 | 429       | 314         |
| DESVIACIÓ TP   | 95        | 73          |
| MÀX            | 1.000     | 422         |
| MIN            | 12        | 46          |

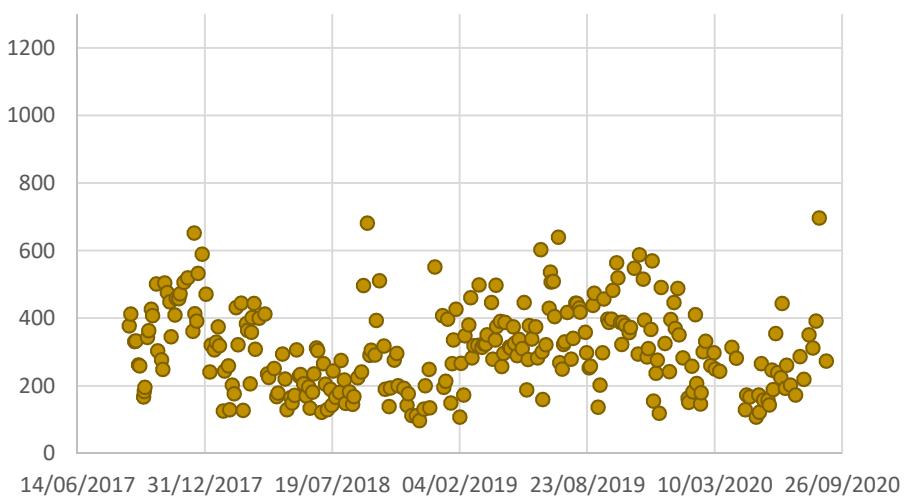
Taula 7. Comparació MES d'entrada a reactor de l'EDAR de Sant Feliu de Codines (Font: Adrián Mejías.)

### DQO Aigua d'entrada

Els valors de DQO no varien en funció de l'estació de l'any, però, es poden observar clarament alguns valors que estan molt lluny de la tendència. Al aplicar la nostra selecció de dades, observem com les dades que no segueixen aquesta tendència queden fora de la mitja de valors a tenir en compte, i per tant, millorem la precisió del nostre conjunt de dades.



## DQO DADES CONSIDERADES



|                | Complerts | Considerats |
|----------------|-----------|-------------|
| NÚMERO OBS     | 289       | 276         |
| PROMIG         | 311       | 309         |
| MITJANA        | 298       | 302         |
| MODA           | 129       | 129         |
| PERCENTIL 2,5  | 93        | 121         |
| PERCENTIL 97,5 | 632       | 571         |
| DESVIACIÓ TP   | 151       | 124         |
| MÀX            | 1.240     | 696         |
| MIN            | 48        | 97          |

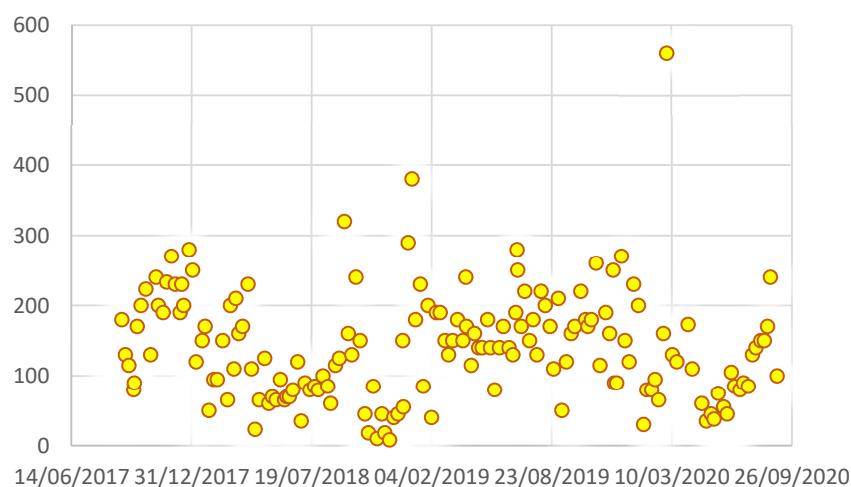
Taula 8. Comparació DQO d'entrada a reactor de l'EDAR de Sant Feliu de Codines (Font: Adrián Mejías.)

### **DBO5 aigua d'entrada**

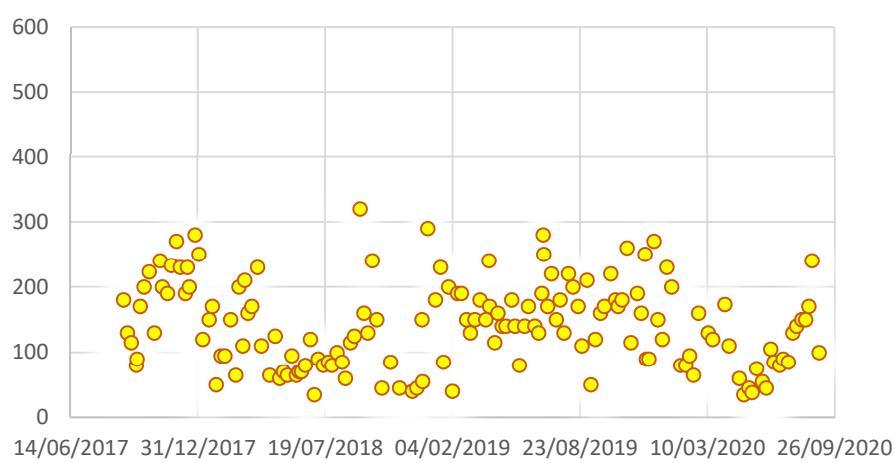
Els valors de DBO5 no varien en funció de l'estació de l'any, però es poden observar clarament alguns valors que estan molt lluny de la tendència.

Al aplicar la nostra selecció de dades, observem com les dades que no segueixen la tendència queden fora de la mitja de valors a tenir en compte, i per tant, millorem la precisió del nostre conjunt de dades.

DBO5 DADES COMPLERTES



DBO5 DADES CONSIDERADES



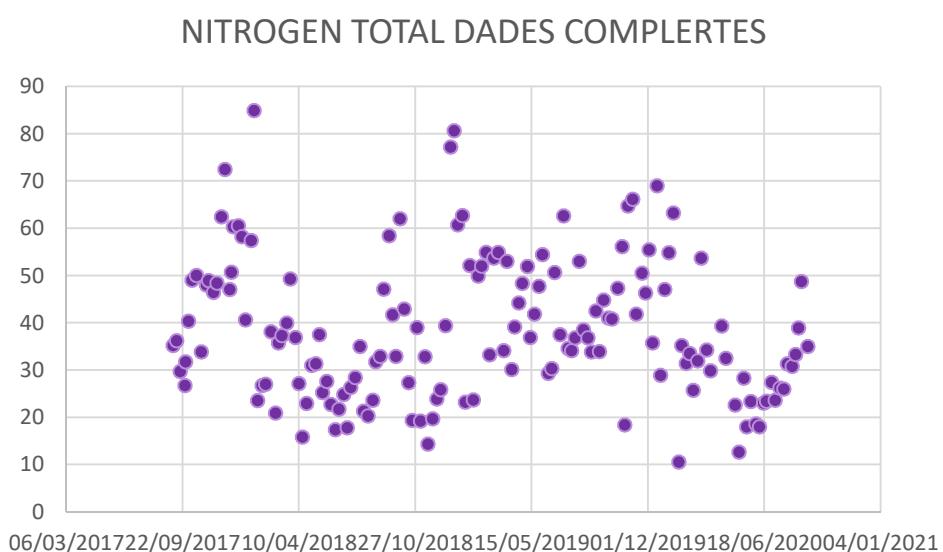
|                | Complets | Considerats |
|----------------|----------|-------------|
| NÚMERO OBS     | 163      | 155         |
| PROMIG         | 141      | 142         |
| MITJANA        | 140      | 140         |
| MODA           | 150      | 150         |
| PERCENTIL 2,5  | 23       | 40          |
| PERCENTIL 97,5 | 334      | 272         |
| DESVIACIÓ TP   | 77       | 64          |
| MÀX            | 560      | 320         |
| MIN            | 8        | 35          |

Taula 9. Comparació DBO5 d'entrada a reactor de l'EDAR de Sant Feliu de Codines (Font: Adrián Mejías.)

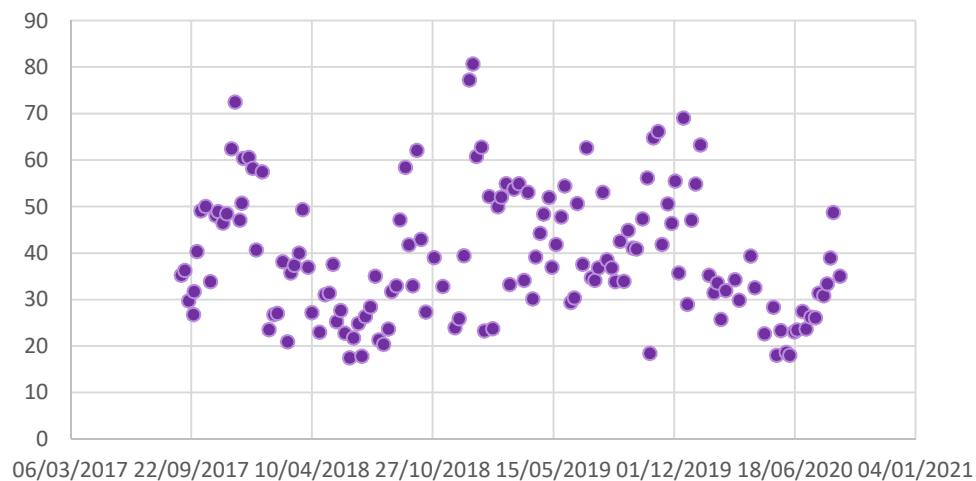
### Nitrogen Total de l'aigua d'entrada

Els valors de NT no varien en funció de l'any.

Al aplicar la selecció de dades, observem com la majoria de dades descartades estan entre els 10 i els 20 mg NT/L.



### NITROGEN TOTAL DADES CONSIDERADES



|                | Complets | Considerats |
|----------------|----------|-------------|
| NÚMERO OBS     | 156      | 147         |
| PROMIG         | 38,4     | 39,1        |
| MITJANA        | 35,7     | 36,8        |
| MODA           | 35,2     | 35,2        |
| PERCENTIL 2,5  | 17,2     | 18,3        |
| PERCENTIL 97,5 | 82,7     | 67,1        |
| DESVIACIÓ TP   | 14,6     | 13,6        |
| MÀX            | 84,9     | 80,6        |
| MIN            | 10,5     | 17,4        |

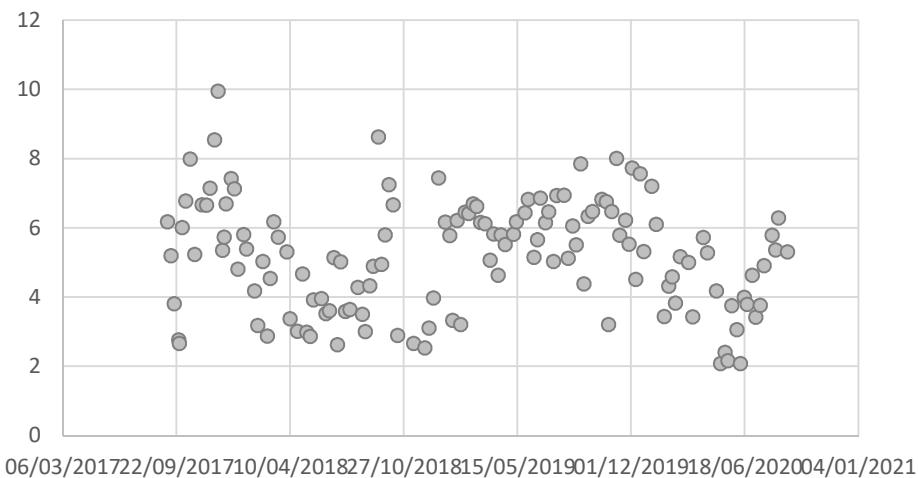
Taula 10. Comparació NT d'entrada a reactor de l'EDAR de Sant Feliu de Codines (Font: Adrián Mejías.)

## Fòsfor Total de l'aigua d'entrada

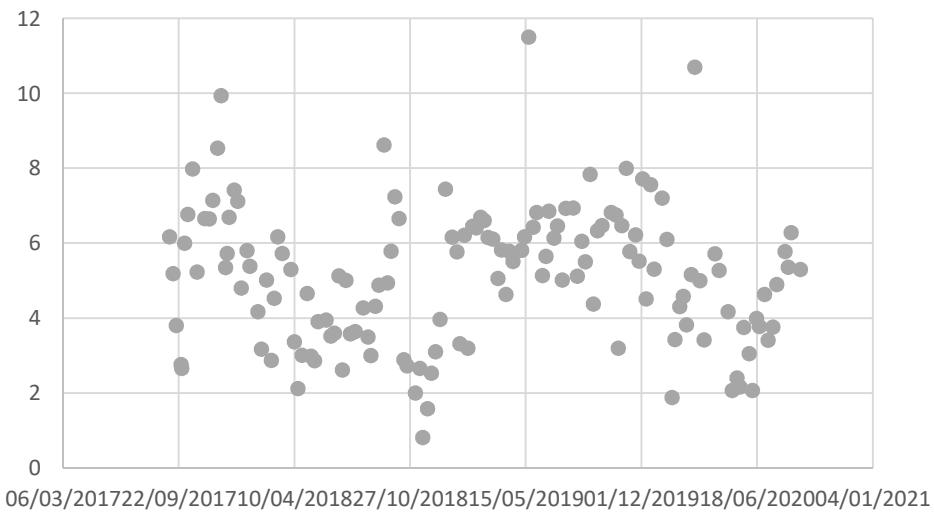
Els valors de PT tenen un caràcter semblant al del NT, que es el que més dispersió pateix a les dades estudiades (sense incloure el cabal).

Al aplicar la selecció de dades, observem en aquest cas com la majoria de dades descartades estan entre els 10 i els 20 mg NT/L.

FÓSFOR TOTAL DADES CONSIDERADES



FÓSFOR TOTAL DADES COMPLERTES



|                | Complets | Considerats |
|----------------|----------|-------------|
| NÚMERO OBS     | 156      | 147         |
| PROMIG         | 38,4     | 39,1        |
| MITJANA        | 35,7     | 36,8        |
| MODA           | 35,2     | 35,2        |
| PERCENTIL 2,5  | 17,2     | 18,3        |
| PERCENTIL 97,5 | 82,7     | 67,1        |
| DESVIACIÓ TP   | 14,6     | 13,6        |
| MÀX            | 84,9     | 80,6        |
| MIN            | 10,5     | 17,4        |

Taula 11. Comparació NT d'entrada a reactor de l'EDAR de Sant Feliu de Codines (Font: Adrián Mejías.)

## 5.5. Campanyes addicionals de monitoreig de planta

Una vegada obtingudes i tractades les dades del GICA, ens preguntem quines son les dades que trobem a faltar per a poder realitzar la simulació amb èxit.

Per tant es duu a terme la planificació de la campanya d'adquisició de dades, on analitzarem i caracteritzarem més encara les nostres aigües per a poder realitzar correctament la validació i avaluació de resultats.

Al no disposar de la mesura de **Sòlids Suspesos Volàtils** (SSV), ni de **P-PO4** s'ha realitzat una campanya de determinació d'aquests valors amb mostres integrades durant 15 dies, prenent mostres de l'aigua d'entrada, sortida i del reactor.

A més de prendre el paràmetre de SSV, també es farà la de **SST** i de **P Total** de les mateixes mostres.

Alguns d'aquests paràmetres s'han obtingut mitjançant tests de laboratori amb els que seguit el procediment que ens indiquen i aplicant espectrometria hem obtingut el valor de cada component.

Al no conèixer el valor de les fraccions de la DQO, es va realitzar també una campanya específica per a la determinació de les mateixes.



Figura 6. Components de la DQO. (Font: AQUAMBIENTE.)

Els punts de presa de mostreig per a determinar les fraccions de DQO son entrada a planta (lliure de returns) i entrada a biològic.

On busquem trobar els valors de (veure figura 6):

DQO ràpidament biodegradable (Ss)

DQO soluble no biodegradable (Si) (la mostra es farà amb l'efluent)

DQO lentament biodegradable (Xsc) (col·loïdal)

## 5.6. Determinació DQO

### Definició

La Demanda Química d'Oxigen indica el requeriment d'oxigen necessari per oxidar les espècies orgàniques i inorgàniques susceptibles a oxidació, presents en una mostra d'aigua residual.

La DQO pot relacionar-se empíricament amb la DBO, o la matèria orgànica, essent la correlació una prova útil per monitoritzar i controlar l'eficàcia del procés de depuració de les plantes de tractament.

El mètode emprat per a la determinació comporta una digestió àcida amb excés d'oxidant en tub tancat amb determinació final colorimètrica. Es presenta com a kit, on tots els reactius ja venen barrejats i preparats dins dels tubs d'assaig sense necessitat de manipulació per part dels analistes. Les avantatges d'aquest mètode amb kit són el petit volum de mostra necessari, la major rapidesa en la digestió i una menor generació de residus.

### Mètode espectrofotomètric

Les substàncies de naturalesa orgànica i inorgànica susceptibles d'oxidació, reaccionen en medi àcid ( $H_2SO_4$ ) amb un excés de dicromat de potassi ( $K_2Cr_2O_7$ ). Per tal d'accelerar l'oxidació de compostos orgànics alifàtics, s'hi afegeix sulfat de plata ( $Ag_2SO_4$ ) com a catalitzador. S'ha de tenir en compte que les sals de plata són insolubles amb els halurs (Clorurs, Bromurs, Iodurs), per tant, de manera preventiva, s'hi addiciona també el sulfat de mercuri ( $HgSO_4$ ) com a reactiu complexant per minimitzar la interferència del clorur[12].

El mètode de digestió amb tub tancat establert en els kits de Hach, permet emprar volums de mostra i reactius baixos, facilitant la gestió posterior dels residus. També permet triar dur a terme la digestió àcida en un temps de dues hores a  $148 + 5^\circ C$ , o bé durant 15 minuts a una Temperatura de  $170 + 5^\circ C$ .

Els tubs prèviament digerits han de mantenir una coloració groguenca per tal d'assegurar que hi ha hagut prou oxidant ( $K_2Cr_2O_7$ ) per cobrir la demanda de la mostra.

La DQO de la mostra és directament proporcional a la concentració de  $Cr^{+3}$  format en la reacció de reducció del dicromat. Es determina directament per espectrofotometria visible i el resultat és expressat com a mg/L de  $O_2$ .



### Procediment experimental per a l'obtenció de les fraccions de DQO

El protocol proposat per a la determinació de les fraccions de la DQO és el de la WERF (Henryk Melcer, Peter L. Dold, Christopher M. Bye, Imre Takacs , 2003)

Les fraccions directament mesurables inclouen la ràpidament biodegradable (S<sub>s</sub>), la soluble no biodegradable (S<sub>i</sub>) i la part col·loïdal de la fracció de DQO lentament biodegradable (X<sub>sc</sub>).

La determinació de la fracció particulada no biodegradable de la DQO (X<sub>i</sub>) que no és directament mesurable es realitzarà aplicant la equació 3, amb la que mitjançant iteracions a Excel obtenim un valor molt representatiu d'aquest valor[10]. (Veure Excel adjunt).

$$X_{VSS} = \frac{QCOD_{T,INF}\theta_X}{f_{CV}V} \left\{ \frac{(1-f_{SI}-f_{XI})Y_{HET}(1+f\bar{b}_H\theta_X)+f_{XI}}{1+\bar{b}_H\theta_X} \right\} \quad (\text{Eq. 3})$$

On:

- X<sub>VSS</sub> = mixed liquor VSS concentration (mg VSS/L)
- Q = influent flow rate (L/d)
- COD<sub>T, INF</sub> = influent COD concentration (mg/L)
- θ<sub>X</sub> = sludge age (adjusted for solids loss in the effluent) (d)
- V = reactor volume (L)
- Y<sub>HET</sub> = heterotroph yield coefficient  
= 0.666 mg COD/mg COD
- b<sub>H</sub> = steady state theory endogenous decay rate  
= 0.24 (1.029)<sup>T-20</sup> /d
- f = steady state theory endogenous residue fraction  
= 0.2 mg VSS/mg VSS
- f<sub>CV</sub> = mixed liquor solids COD/VSS ratio  
= 1.48 mg COD/mg VSS
- f<sub>XI</sub> = fraction of total influent COD which is particulate unbiodegradable
- f<sub>SI</sub> = fraction of total influent COD which is soluble unbiodegradable

Mesurem la DQO d'una mostra d'aigua d'entrada, sense canvis, aquesta s'anomenarà DQO E .

Mesurem la DQO d'una mostra d'aigua de sortida, aquesta s'anomenarà DQO S .

Filtrant la mostra d'aigua d'entrada amb un filtre de 0,45 μm i mesurant, la DQO que obtindrem serà la DQO F (soluble).

A 20ml d'aigua ja filtrada se liafegeixen 5ml de floculant, s'agita i s'esperen 10'. Veurem com apareixen dos fases. Extraiem la fase menys densa mitjançant una xeringa.

Una vegada extreta aquesta nova mostra, mesurem la DQO, aquesta serà la DQO FF.

Ara que tenim tots els valors, caldrà calcular el valor de cada fracció de DQO .

DQO **S** = **Si** (inert).

DQO **F** – DQO **FF** = **Scol** (col·loïdal).

DQO **FF** – **Si** = **Ss** (ràpidament biodegradable).

DQO **E** – **Ss** – **Si** – **Scol** – (**Xi**) = **Xsp** (particulada).

Com veiem, per obtenir **Xsp** requerim del valor de **Xi**; com que tindrem 2 incògnites, ens caldrà recolzar-nos en la Eq. 3 que ens ajudarà, mitjançant iteracions, a trobar el valor de la fracció **Xi** a partir del valor dels sòlids volàtils (**Xvss**) mesurats.

## 5.7. Determinació Sòlids en Suspensió

### Definició

Els sòlids suspesos són materials dissolts en les aigües netes i residuals.

L'anàlisi de la concentració dels sòlids ens permet conèixer, en el cas de les aigües brutes i tractades, l'estat de l'aigua d'entrada i el rendiment del procés de depuració que es realitza a les plantes.

La importància del control en l'abocament es troba en què elevades concentracions de sòlids poden dipositar-se al fons dels rius, cobrint organismes aquàtics com ous i larves de macro-invertebrats, dificultant així la transferència d'oxigen.

També representen punts de retenció de contaminants orgànics, facilitant el seu transport cap a altres masses d'aigua llunyanes del focus emissor[11].



## Metodologia

Es distingeixen diversos tipus d'assaigs en funció de la naturalesa de la mostra i si es determinen valors totals, en suspensió i / o volàtils. En un es realitza l'addició directa de la mostra a un gresol (mostres líquides i sòlides) i la posterior evaporació o calcinació d'aquesta. L'altre és una filtració en un disc de fibra de vidre i la posterior evaporació o calcinació de la mostra (per a mostres líquides).

### Càcul de Sòlids Suspesos (SST):

$$\text{Sòlids en Suspensió (mg/L)} = \frac{(A - B)}{V} \times 10^6 \quad (\text{Eq. 4})$$

**A:** pes del filtre + residu sec (g) + suport

**B:** pes del filtre (g) + suport

**V:** volum de mostra afegida (ml)

### Càcul dels sòlids suspesos volàtils (SSV%):

El càlcul següent indica el percentatge de sòlids en suspensió que són volàtils:

$$\text{Sòlids volàtils (\%)} = \frac{(A - C)}{V} \times 10^6 / D \times 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

**A:** Pes del residu + filtre abans de la calcinació (g) **V:** volum de mostra afegida (ml)

**D:** Sòlids en Suspensió (mg/L)

**C:** Pes del residu + filtre després de la calcinació (g)

## 5.8. Determinació de Nitrats

### Definició

Els nitrats representen l'estat de major oxidació del nitrogen present a l'aigua. Molts fertilitzants comercials contenen nitrogen en forma de nitrat.

En general, els continguts de nitrats a les aigües de consum són poc elevats i limitats normativament a 50 mg/L. Al sòl, la presència de nitrats té com a origen principal la presència de fertilitzants i la nitrificació del nitrogen orgànic, arribant a les aigües subterrànies per percolació i a les superficials per arrossegaments de pluges i aportacions de les riberes.

Nivells alts de nitrats a l'aigua indiquen la presència de restes biològiques de terrenys molt fertilitzats. Aquests nitrats degraden la qualitat de les aigües a les quals flueixen, podent provocar un fort creixement d'algues (depenent de la presència d'altres nutrients).

En les plantes de tractament biològic nitrificant, el nitrat pot trobar-se en concentracions de fins a 30 mg. de nitrat com nitrogen / l. És un nutrient essencial per a molts organismes autòtrops fotosintètics, sent en alguns casos, determinant per al seu creixement.

### Fonament del mètode

S'utilitzen kits comercials on els ions nitrat en dissolucions que contenen àcid sulfúric i fosfòric, reaccionen amb 2,6-dimetilfenol formant 4-nitro-2,6-dimetilfenol. La mesura es realitza a 345 nm mitjançant espectrofotometria[12].



## 5.9. Determinació de Fosfats

### Definició

El fòsfor es troba a les aigües naturals i residuals, gairebé exclusivament en forma de fosfats, classificats en ortofosfats, fosfats condensats piro, meta i altres polifosfats, i els lligats orgànicament. Es presenten en solució, partícules, o als cossos d'organismes aquàtics.

Aquestes formes de fosfat sorgeixen d'una diversitat de fonts. Són els components principals de molts preparats comercials per a la neteja. Els ortofosfats aplicats com a fertilitzants a la terra conreada, són arrossegats a les aigües superficials amb les pluges i, en menys proporció, amb la neu fosa. Els fosfats orgànics es formen principalment en processos biològics. Són aportats al clavegueram pels residus corporals i d'aliments i també es poden formar a partir dels ortofosfats durant els processos de tractament biològic o per rebre la càrrega biològica de l'aigua.

El fòsfor és essencial per al creixement dels organismes i pot ser el nutrient limitador de la productivitat primària d'un cos a l'aigua. Els casos en què constitueix un nutrient limitador del creixement, la descàrrega de les aigües residuals brutes o tractades, drenats agrícoles o certs residus industrials, poden estimular el creixement de micra i macro organismes aquàtics fotosintètics en quantitats molestes[11].

### Mètode

El mètode es basa en la reacció de l'ió fosfat en medi àcid amb molibdat ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ), donant lloc a fosfà molibdat  $[\text{PO}_4^{2-}\text{MoO}_4]^{3-}$ . La reducció del fosfà molibdat dóna lloc a un compost d'estructura química desconeguda, anomenat 'blau de molibdè'. Com a agent reductor, s'utilitza en aquest cas, l'àcid ascòrbic.

La intensitat de coloració blava és directament proporcional a la concentració de fòsfor present a la mostra. La lectura es realitza amb un espectrofotòmetre, prèviament calibrat[12].

## 6. Fase 3: Construcció del model

### 6.1. Configuració de la planta

A efecte de simplificació de l'anàlisi del comportament del procés, la configuració adoptada per a les simulacions es concreta en una sola línia de tractament per a la línia d'aigua i una sola línia de tractament per a la línia de fangs, d'acord amb el sol·licitat a l'annex del Plec Tècnic.

Així mateix s'han ajustat els cabals i alguns volums a la nova configuració, com veurem a continuació.

#### Configuració adoptada amb una sola línia de tractament:

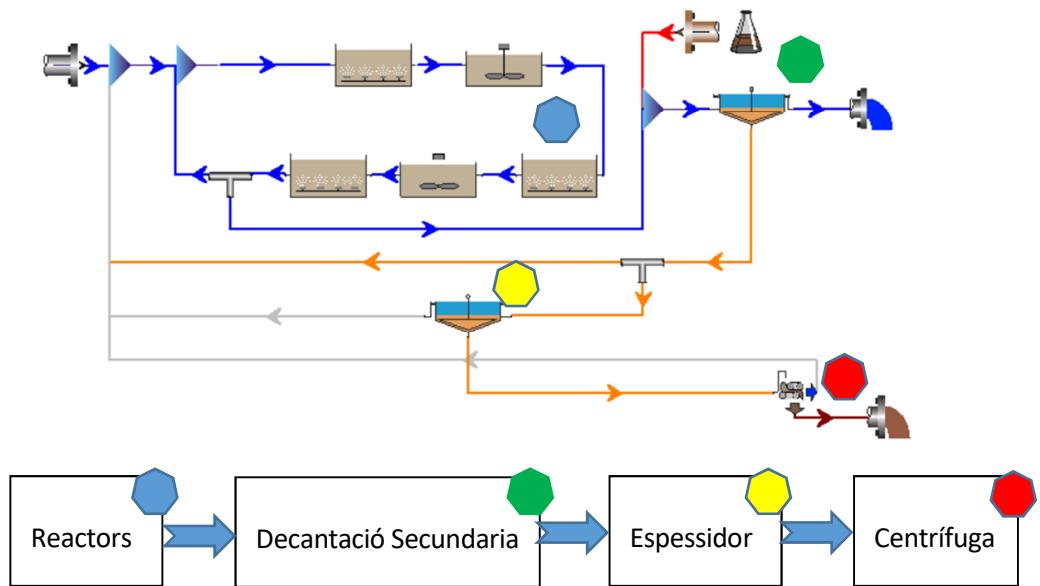


Figura 7. Esquema simplificat a una sola línia  
EDAR Sant Feliu de Codines amb BioWin. (Font: Adrián Mejías.)

## 6.2. Selecció i detall dels processos unitaris:

### Reactor Biològic:

Com hem dit anteriorment a efecte de simplificar l'anàlisi del comportament del procés, la configuració adoptada per a les simulacions s'ha concretat a una sola línia de tractament.

En el cas del reactor, s'ha hagut de redimensionar (en quant a capacitat total), ja que la EDAR de Sant Feliu disposa de 2 reactors, i per tant, al simular una sola línia, podem conservar els valors reals d'un dels reactors.

La configuració del reactor biològic està constituïda per un nombre determinat de tancs en sèrie (CSTR) (teòrics) que resulta d'aplicar la equació 6 amb característiques de mescla completa[4].

$$N_t = 7.4 \cdot \frac{L \cdot Q \cdot (1 + R_r)}{W \cdot H} \quad (\text{Eq. 6})$$

Nt =Número equivalent de tancs en sèrie

L = longitud total del tanc d'aeració (m)

Q = Cabal de l'influent ( $m^3/s$ )

Rr =Rati de recirculació de fang (adimensional)

W =Ample del tanc (m)

H = Altura de làmina (m)

S'ha optat per simular el reactor de planta (Carrusel) com a tancs en sèrie per simplificar la simulació del reactor. L'objectiu es representar amb aquests tancs en sèrie el recorregut que fa l'aigua a l'interior del reactor Carrusel.

Cal destacar que s'han utilitzat les mateixes dimensions de profunditat i amplitud del reactor real a les del tancs en sèrie, imitant així el pas de l'aigua del reactor Carrusel.

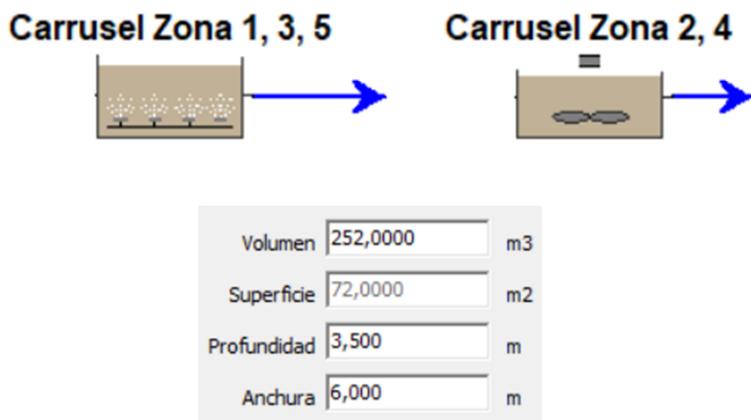
La suma de superfícies i volums obtinguda al sumar els 5 tancs en sèrie, equival doncs al valor del reactor Real.

S'ha establert un número de tancs de disseny mínim (5 tancs) ja que, segons l'experiència empírica d'un expert en simulacions amb Biowin (de l'empresa Aquambiente), amb un nombre menor de tancs l'obtenció d'un resultat equivalent es difícilment representable. Donat que el valor de Nt obtingut a la fórmula era inferior a 5, s'ha representat el reactor en un total de 5 tancs.

S'ha representat la configuració real del Carrusel mitjançant zones on el reactor agita, i zones on el reactor aireja (ja que no es uniforme en tot el recorregut de l'aigua). De manera que els tancs en sèrie s'han repartit en 3 zones nitrificants (amb aeració) i 2 zones des nitrificants (amb agitació, sense aeració).

(Posteriorment seran modificades al Calibratge i Validació per causes justificades).

Les dimensions dels 5 tancs son les següents:



S'introduceix al model el cicle de nitrificació/desnitrificació obtingut anteriorment mitjançant la informació proporcionada per les gràfiques d'SCADA.

Les Zones Aeròbies respecten la consigna d'OD anomenada. En un període de 90 minuts, els primers 30 minuts el valor de 3,5 mg OD/L. Mentre que els 60' restants es de 0mgOD/L.

Els difusors s'han repartit de forma equitativa a les zones aeròbies, de manera que s'han distribuït un total de 120 Difusors en 2 zones, incloent 60 difusors a cada una.

Cal remarcar que aquest disseny per cicles de temps està dissenyar per dur a terme una simulació dinàmica.

Per duur a terme la simulació **estàtica** hem modificat el disseny a 6 reactors (veure a la Fase 4).

### Decantador Secundaria:

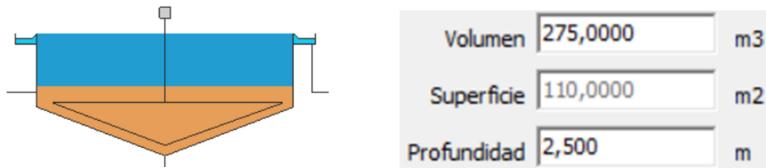
Com hem dit anteriorment a efecte de simplificar l'anàlisi del comportament del procés, la configuració adoptada per a les simulacions s'ha concretat a una sola línia de tractament.

En el cas del decantador secundari, no s'ha hagut de variar el dimensionament, ja que la EDAR de Sant Feliu disposa de 2 decantadors secundaris, i per tant, per simular una sola línia, podem conservar els valors reals de un dels decantadors.

S'ha aplicat el rendiment calculat a la fase 2 (99,85%) aquest valor representa el percentatge d'eliminació de sòlids obtingut en aquest equip.

|   |            |   |
|---|------------|---|
| Porcentaje de eliminación:                          |            |   |
| <input checked="" type="radio"/> Valor constante de | 99,8500    | % |
| <input type="radio"/> Variable en el tiempo         | Patrón ... |   |

Les dimensions que hem introduït a la nostra simulació equivalen als valors reals d'aquests.



El cabal de purga de fang representa el 50% del valor real obtingut a planta, ja que, al disposar de 2 decantadors, la purga obtinguda i mesurada es de 1051 m<sup>3</sup>. En el nostre cas, al representar una línia, introduïm el valor de 525,5 m<sup>3</sup>.

|   |   |
|---|---|
| Convencional  |   |
| Tipo de partición   |   |
| <input type="radio"/> Ratio [U/O]                             | Caudal  |
| <input type="radio"/> Fracción [U / (U+O)]                    | 525,5000 m <sup>3</sup> /d                    |
| <input checked="" type="radio"/> Caudal de purga de fango [U] | <input checked="" type="checkbox"/> Constante |
| Patrón ...  |   |

### **Espessidor:**

Com hem dit anteriorment a efecte de simplificar l'anàlisi del comportament del procés, la configuració adoptada per a les simulacions s'ha concretat a una sola línia de tractament.

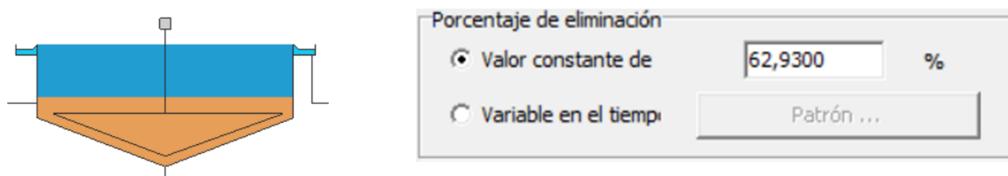
En aquest cas, no s'han respectat les dimensions de l'espressidor real, ja que, al procés real només disposem d'un espessidor, i al representar una sola línia, hem hagut de redimensionar aquest element a la meitat del seu volum.

Per dur a terme el redimensionat, hem respectat la relació de Superfície/Profunditat per a trobar unes proporcions molt semblants a les del espessidor real, obtenint la meitat del volum.

$$\frac{\text{Superficie (real)}}{\text{Profunditat (real)}} = \frac{18,8235}{1,7} = \frac{13,2800}{1,2} = 11,07$$

|             |         |                |
|-------------|---------|----------------|
| Volumen     | 31,9999 | m <sup>3</sup> |
| Superficie  | 18,8235 | m <sup>2</sup> |
| Profundidad | 1,700   | m              |
| Volumen     | 15,9360 | m <sup>3</sup> |
| Superficie  | 13,2800 | m <sup>2</sup> |
| Profundidad | 1,200   | m              |

S'ha aplicat el rendiment calculat a la fase 2 (62,93%) aquest valor representa el percentatge d'eliminació de sòlids obtingut a l'espressidor.



El cabal de purga de fang que va dirigit a la centrífuga representa el 50% del valor real obtingut a planta, ja que, la purga obtinguda i mesurada amb un espessidor de dimensions reals es de 14 m<sup>3</sup>/d. En el nostre cas, al representar una línia, estarem portant un cabal de 7 m<sup>3</sup>/d.

**Convenional**

Tipo de partición

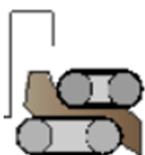
Ratio [U/O]  
 Fracción [U / (U+O)]  
 Caudal de purga de fango [U]

Caudal  
7,0000 m<sup>3</sup>/d  
 Constante  
Patrón ...

**Centrífuga:**

Com hem dit anteriorment, a efecte de simplificar l'anàlisi del comportament del procés, la configuració adoptada per a les simulacions s'ha concretat a una sola línia de tractament.

S'ha respectat el rendiment de sequedad obtingut calculat a la fase 2 (91,70%).



Porcentaje de eliminación  
 Valor constante de 91,7000 %  
 Variable en el tiempo  
Patrón ...

En canvi, el cabal de fang deshidratat extret representa el 50% del valor real obtingut a planta.

Com que, la purga obtinguda i mesurada amb un espessidor de dimensions reals es de 14 m<sup>3</sup>/d.

Però el que hem obtingut al nostre cas es de 7 m<sup>3</sup>/d el cabals d'extracció de fang també es veurà afectat.

Per tant, el cabal de fang deshidratat que hem introduït a la simulació es de 0,5340 m<sup>3</sup>/d mentre que el real hauria de ser del doble 1,680 m<sup>3</sup>/d .

**Convenional**

Tipo de partición

Ratio [U/O]  
 Fracción [U / (U+O)]  
 Caudal de purga de fango [U]

Caudal  
0,5340 m<sup>3</sup>/d  
 Constante  
Patrón ...

### **Partidors de flux**

En quant els **cabals dels partidors de flux** es destaquen els següents (tenint ja en compte les simplificacions de geometria exposades anteriorment ):

Cabal de la corrent de recirculació externa: 476,50 m<sup>3</sup>/d

Cabal de la corrent de purga: 49 m<sup>3</sup>/d

Cabal de la corrent de purga del espessidor: 7 m<sup>3</sup>/d

Cabal de la corrent de fang extret de centrífuga: 0,53 m<sup>3</sup>/d.



Relació de cabal recirculació interna: 5 (500%)

### **6.3. Introducció de dades al model**

A mode de resum les dades d'entrada d'aigua a tractar seran les següents:

| DQO / SS (mg/l) | Nitrogen (mg/l)               | Fòsfor (mg/l)                |
|-----------------|-------------------------------|------------------------------|
| DQO: 309 mg/l   | NT: 39,1 mg/l                 | Pt: 5,2 mg/l                 |
| DBO5: 142 mg/l  | NKT: 37,9 mg/l                | P-PO <sub>4</sub> : 3,2 mg/l |
| TSS: 168 mg/l   | N-NH <sub>4</sub> : 25,6 mg/l |                              |
| VSS: 146 mg/l   | N-NO <sub>3</sub> : 0,8 mg/l  | pH=8,07                      |
|                 | N-NO <sub>2</sub> : 0,4 mg/l  |                              |

| FRACCIONAMENT DE LA DQO        |                               |                                |                                    |      |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------|
| Rapidament Biodegradable (fSs) | Lentament Biodegradable (fxs) | No Biodegradable Soluble (fSi) | No Biodegradable Particulada (fxi) |      |
| 0.03                           | fSCol = 0.31                  | fxsp = 0.27                    | 0.03                               | 0.36 |

Taula 12. Dades d'influent introduïdes al programa BioWin (Font: Adrián Mejías.)

Les corrents de retorn seran les següents:

Retorn del sobredenant del espessiment: 42 m<sup>3</sup>/d.

Retorn del sobredenant de escorregut de centrifuga: 6,47 m<sup>3</sup>/d.

La concentració d'oxigen dissolt al reactor serà de 3,5 mg/l, amb cicles de treball de 30 minuts en aeració (ON) , seguits de 60 minuts d'agitació (OFF) , degut a que es treballa en règim intermitent (cicle global de 90 minuts).

Els rendiments de decantació secundaria, espessiment, i centrifugació són els valors obtinguts de la fase 2: 99,85% 62,93%, 91,7%, respectivament, donat els cabals i concentracions operatives que s'han detallat en la fase 2.

### **Estructura dels submodels**

Dins del propi BioWin hem de seleccionar característiques generals referents als models utilitzats:

- Model integrat ASM1 BioWin (tant a reactors, com a clarificadors): descriu els processos d'eliminació de matèria orgànica i altres components en un sistema de fangs actius.
- Model integrat Vesilind: aquest model descriu la velocitat de decantació en unitats com els clarificadors o espessidors.
- Modelització d'oxigen: el model té en compte el consum d'oxígen als reactors.
- Càlculs de pH: quantifica els ions dissolts a cada part del procés .
- Limitacions de pH a les equacions cinètiques de fang actiu. (on)
- 

## **6.4. Definició dels models**



La versió del programa **BIOWIN** que estem utilitzant es la 6.2; el model matemàtic inclòs en aquesta versió es el ASM1.

Es tracta d'un model "Plant Wide" que permet la simulació conjunta i simultània de tots els components de la instal·lació, tant de les línies d'aigua, com de les de fang, de manera que, permet tenir en compte automàticament l'increment de càrrega retornat a capçalera de planta pels corrents de retorn de la línia de fang.

Aquest model inclou processos d'eliminació de matèria orgànica, nitrificació, desnitrificació i eliminació de fòsfor en condicions aeròbies i anaeròbies en un sistema de fangs actius.

Per entendre millor el model de fangs actius, definim com es l'eliminació Biològica de la matèria orgànica.

Les principals aplicacions de l'eina permeten entre d'altres:

- Dissenyar EDARs, incloent eliminacions de Carboni, DQO, DBO5, SST, N...
- Optimitzar processos de EDARs ja existents.
- Resoldre problemes operatius des de la pròpia simulació.
- Desenvolupar nous processos o idees.
- Comparar estratègies de control.

### **Cinètica dels processos de creixement microbià**

La variació en el temps a causa d'un procés químic d'un component arbitrari  $i$ , que denotarem com  $\varphi_i$  s'expressa com una funció  $r_i$  de la forma:

$$\frac{d\varphi_i}{dt} = r_i$$

(Eq. 7)

La funció  $r_i$  depèn fonamentalment de tres paràmetres

$r_{i,\max}$ : màxim index de variació del component  $i$ .

$\phi_j$ : concentració de la substància limitant.

$K_j$ : constant de velocitat de reacció mitjana, definida com el valor de  $\phi_j$  quan  $\frac{r_i}{r_{i,\max}} = 0,5$

En els models ASM, els processos de creixement microbià,  $r_i$ , es classifiquen en:

Models en què el creixement microbià o augment de la concentració d'una substància  $i$  només succeeixen en presència de la substància limitant,  $\varphi_j$ . En aquest cas, el rati o procés de creixement es denota com equació de Monod [13], i es defineix com:

$$r_i = r_{i,\max} \frac{\phi_j}{K_j + \phi_j} \quad (\text{Eq. 8})$$

Models en què el creixement microbià o augment de concentració d'una substància  $i$  només succeeix en absència de la substància limitant,  $\varphi_i$ . En aquest cas, el ràti o procés de creixement es defineix com:

$$r_i = r_{i,max} \frac{K_j}{K_j + \phi_j} \quad (\text{Eq. 9})$$

## 6.5. Model ASM1

Els processos biològics que es duen a terme al reactor seran simulats mitjançant el model de fangs actius número 1 (ASM1). El model ofereix una bona descripció del procés de fangs actius sempre que l'aigua residual sigui d'origen domèstic o municipal, no industrial. [12] Inclou 8 processos de creixement microbià [13], denotats com  $\rho_j$ . La major part d'ells presenten la forma de les Equacions 8 i 9, en alguns casos de forma individual i en altres de forma composta.

Entre els 8 processos s'inclouen:

- Creixement aeròbic i anòxic de la biomassa heteròtrofa, necessària perquè es produueixi l'eliminació de la matèria orgànica i es dugui a terme el procés de desnitrificació. (reacció descrita a la p.28).
- Decreixement de la biomassa heteròtrofa, la qual es transforma en altres components.
- Creixement aeròbic de la biomassa autòtrofa (generen la seva pròpia matèria orgànica a partir de substàncies inorgàniques, amb les que es nodreixen), necessària perquè es dugui a terme un procés de nitrificació.
- Decreixement de la biomassa autòtrofa, la qual es transforma en altres components.
- Amonificació, que porta a terme la transformació del nitrogen orgànic soluble en amoni i amoníac.
- Hidròlisi de components particulats orgànic i nitrogenats, que els transforma en solubles.
- 

D'altra banda, el model ASM1 inclou 13 components,  $\varphi_i$ , Els quals es classifiquen en solubles o particulats de la següent manera:

| Símbolo   | Nombre del componente                      | Dimensiones          |
|-----------|--|----------------------|
| $S_S$     | Materia orgánica rápidamente biodegradable | $M(DQO)L^{-3}$       |
| $S_I$     | Materia inorgánica soluble                 | $M(DQO)L^{-3}$       |
| $S_O$     | Oxígeno disuelto                           | $M(O_2)L^{-3}$       |
| $S_{NO}$  | Nitritos y nitratos                        | $M(N)L^{-3}$         |
| $S_{NH}$  | Amonio y amoníaco                          | $M(N)L^{-3}$         |
| $S_{ND}$  | Nitrógeno orgánico biodegradable soluble   | $M(N)L^{-3}$         |
| $S_{ALK}$ | Alcalinidad de las aguas residuales        | $mol(HCO_3^-)L^{-3}$ |

Taula 13. Components Solubles, S.



| Símbolo   | Nombre del component                        | Dimensions     |
|-----------|---|----------------|
| $X_I$     | Materia inorgànica particulada              | $M(DQO)L^{-3}$ |
| $X_S$     | Materia orgànica lentamente biodegradable   | $M(DQO)L^{-3}$ |
| $X_{B,H}$ | Biomasa heteròtrofa activa                  | $M(DQO)L^{-3}$ |
| $X_{B,A}$ | Biomasa autòtrofa activa                    | $M(DQO)L^{-3}$ |
| $X_P$     | Productos de decaimiento no biodegradables  | $M(DQO)L^{-3}$ |
| $X_{ND}$  | Nitrógeno orgànic biodegradable particulado | $M(N)L^{-3}$   |

Taula 14. Components Particulats, X.

Les unitats de DQO s'empren pel fet que permeten la unió entre electrons equivalents de substrat orgànic, la biomassa i l'oxigen utilitzats. La variació en el temps d'un component  $\varphi_i$  és expressat com una funció  $r_i$  de la forma:

$$r_i = \sum_{j=1}^{N_{proc}} \nu_{ji} \cdot \rho_j \quad (\text{Eq. 10})$$

essent  $N_{proc}$  el nombre de processos als quals intervé el component  $i$  i  $\nu_{ji}$  els coeficients estequiomètrics del model, els quals estan recollits a la Taula 15, on es recullen els paràmetres cinètics que governen el model(Eq. 11)

$$P(T) = P(20^\circ C) \theta_p^{T-20} \quad (\text{Eq. 11})$$

on  $P$  ( $20^\circ C$ ) es el valor nominal del paràmetre  $P$  a  $20^\circ C$  i  $\theta_p$  el factor de correcció de temperatura de cada paràmetre, inclòs també a la Taula 15.

| Symbol                       | Units   | Value | $\theta$ |
|------------------------------|---|-------|----------|
| <i>Stoichiometric param.</i> |   |       |          |
| $Y_A$                        | (g cell COD formed) / (g N oxidized)                | 0.24  |          |
| $Y_H$                        | (g cell COD formed) / (g COD oxidized)              | 0.6   |          |
| $f_P$                        | dimensionless                                       | 0.08  |          |
| $i_{XB}$                     | (g N in biomass)/(g COD) in biomass                 | 0.086 |          |
| $i_{XE}$                     | (g N in endogenous mass)/(g COD) in endogenous mass | 0.06  |          |
| <i>Kinetic param.</i>        |   |       |          |
| $\mu_H$                      | day <sup>-1</sup>                                   | 2.95  | 1.072    |
| $K_S$                        | g COD/m <sup>3</sup>                                | 20    |          |
| $K_{O,H}$                    | g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>                    | 0.2   |          |
| $K_{NO}$                     | g NO <sub>3</sub> -N/m <sup>3</sup>                 | 0.5   |          |
| $b_H$                        | day <sup>-1</sup>                                   | 0.06  | 1.072    |
| $\eta_g$                     | dimensionless                                       | 0.8   |          |
| $\eta_h$                     | dimensionless                                       | 0.4   |          |
| $k_h$                        | (g slowly biodegradable COD)/(g cell COD)/(day)     | 3.0   | 1.116    |
| $K_X$                        | (g slowly biodegradable COD)/(g cell COD)           | 0.03  | 1.116    |
| $\mu_A$                      | day <sup>-1</sup>                                   | 0.8   | 1.103    |
| $K_{NH}$                     | g NH <sub>3</sub> -N/(m <sup>3</sup> )              | 1.0   |          |
| $K_{O,A}$                    | g O <sub>2</sub> /(m <sup>3</sup> )                 | 0.4   |          |
| $k_a$                        | m <sup>3</sup> COD /(g · day)                       | 0.08  | 1.072    |
| $b_A$                        | day <sup>-1</sup>                                   | 0.36  | 1.120    |

Taula 15. Taula de paràmetres cinètics i estequiomètrics.



Per acabar, a la següent taula es podem veure la matriu estequiomètrica del model, on es recullen tots els processos, components i paràmetres del model ASM1, amb el fi d'il·lustrar les relacions que existeixen entre espècies.

| <i>Processo <math>j \rightarrow</math><br/>Componente<br/><math>i \downarrow</math></i> | <i>Crecimiento aeróbico de hetero-<br/>trofios</i>  | <i>Crecimiento anaeróbico de<br/>heterotrofios</i>  | <i>Crecimiento aeróbico de auto-<br/>trofios</i> | <i>Desmineralización<br/>de humus<br/>de hetero-<br/>trofios</i> | <i>Desmineralización<br/>de nitrógeno<br/>orgánico soluble</i> | <i>Hidrólisis del partícula de orgánico</i><br><i>nitrógeno or-<br/>gánico</i>  |
|---|---|---|--|--|--|---|
| $S_I$   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   |
| $S_S$   | $-\frac{1}{Y_H}$  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   |
| $X_I$   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   |
| $X_S$   | 0   | 0   | 0  | $1-f_P$  | 0  | 0   |
| $X_{B,H}$   | 1   | 0   | -1   | 0  | 0  | 0   |
| $X_{B,A}$   | 0   | 1   | 0  | -1   | 0  | 0   |
| $X_P$   | 0   | 0   | 0  | $f_P$  | 0  | 0   |
| $S_O$   | $-\frac{1-Y_A}{Y_H}$  | $-\frac{4.37}{Y_A} Y_A$   | 0  | 0  | 0  | 0   |
| $S_{NO}$  | 0   | $-\frac{1-Y_H}{2.307 Y_H}$  | $\frac{1}{Y_A}$                                  | 0  | 0  | 0   |
| $S_{NH}$  | $-i_{XB}$   | $-i_{XB} - \frac{1}{Y_A}$   | 0  | 0  | 1  | 0   |
| $S_{ND}$  | 0   | 0   | 0  | 0  | -1   | 0   |
| $X_{ND}$  | 0   | 0   | $-i_{XB} - f_{p1XP}$                             | $-i_{XB} - f_{p1XP}$   | 0  | -1  |
| $S_{ALK}$   | $-\frac{i_{ALK}}{17.2805 H}$  | $\frac{i_{ALK}}{17.2805 H} - \frac{i_{ALK}}{17.2805 H}$   | 0  | 0  | $\frac{1}{17}$   | 0   |
| $P_{process\_rule}$<br>$p_j [ML^{-3}T^{-1}]$  | $\hat{u}_H \left( \frac{S_O}{K_O + S_O} \right) \left( \frac{S_O}{K_O + S_O} \right) X_{B,H}$ | $\hat{u}_H \left( \frac{S_O}{K_O + S_S} \right) \left( \frac{K_O H}{K_O H + S_O} \right) X_{B,A}$ | $b_H X_{B,H}$                                    | $b_A X_{B,A}$  | $k_b S_{N,D} X_{B,H}$  | $k_b \frac{X_c/X_{B,H}}{(K_O H + S_O)} \left( \frac{(S_O/K_O H)^2 + S_O}{K_O H + S_O} \right) + p_T \left( \frac{X_{B,H}}{K_O H + S_O} \right)$ |

Taula 16. Processos cinètics i estequiomètrics de l'oxidació del carbó, nitrificació i desnitritificació en ASM1.

## 6.6. Comprovació del model

Després d'introduir al programa les dades anterior, s'han fet les comprovacions següents:

Es comprova la correcte implantació e interconnexió dels models. (Dins de opcions de model, comprovar que ASM1 i Vesilind estan activats).

Es necessària l'absència de notificacions d'error.

Es necessari que els cabals obtinguts al programa (tant a la línia d'aigua, com a la de fangs) siguin coherents amb els detalls plantejats a les fases anterior.

Per a que la planta sigui capaç de nitrificar i des nitrificar en cicles de temps (On-Off) caldrà que la simulació es realitzi de forma dinàmica.

S'adjunta a continuació el model funcional de la planta no calibrat on es poden veure els fluxos.

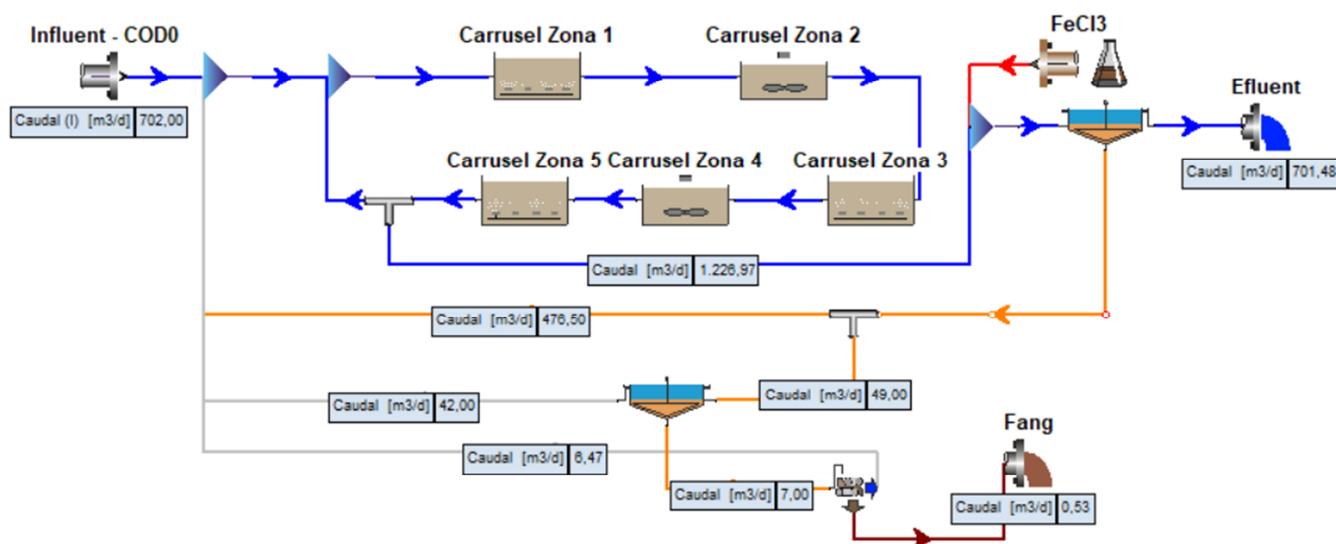


Figura 8. Esquema simplificat a una sola linea

EDAR Sant Feliu de Codines amb BioWin incloent fluxes. (Font: Adrián Mejías.)

## 7. FASE 4: Calibratge i validació del model

Aquesta fase està en actual desenvolupament i fins ara, s'ha arribat a calibrar i validar tan sols la simulació estàtica.

### 7.1. Valors límit de les variables (Stop Criteria)

Els "stop criteria" estableixen el nivell de precisió que es pretén en l'estudi, aquests estan adaptats a les característiques de l'EDAR de Sant Feliu de Codines.

A les taules observem els més rellevants tant a l'estudi estàtic com dinàmic. S'adjunta també els Stop Criteria imposats per l'empresa contractant en aquesta fase.

Aquests son el Ptot, Ntot i MLSS<sub>reactor</sub>.

#### Influent estacionari

| Objectiu  | Influent    | Simulació             | Període de promig | Variable Objectiu           | Interval error acceptable (+-) |  |  |
|---|-------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|--|
| Avaluació de l'acceptabilitat d'un nou influent | Estacionari | Estacionària          | Mitjana mensual   | MLSS                        | 10%                            |  |  |
|   |             |                       |                   | WAS load                    | 5%                             |  |  |
|   |             |                       |                   | Efluent TSS                 | 5.0 mg/l                       |  |  |
|   |             |                       |                   | NH <sub>x</sub> -N          | 1.0 mg/l                       |  |  |
|   |             |                       |                   | NO <sub>x</sub> -N          | 1.0 mg/l                       |  |  |
|   |             |                       |                   | PO <sub>4</sub> -P          | 1.0 mg/l                       |  |  |
|   |             |                       |                   | Air flow rate               | 10%                            |  |  |
|   |             |                       |                   | DO                          | 0,5 mg/l                       |  |  |
| <b>OBJECTIUS SECUNDARIS</b>                     |             |                       |                   |                             |                                |  |  |
| Càcul producció de fangs                        | Estacionari | Estacionària          | Mitjana mensual   | MLSS                        | 10%                            |  |  |
|   |             |                       |                   | MLVSS/MLSS                  | 5%                             |  |  |
|   |             |                       |                   | WAS load                    | 5%                             |  |  |
|   |             |                       |                   | Efluent TSS                 | 5 mg/l                         |  |  |
|   |             |                       |                   | SRT                         | 1 d ó 15% *<br>*SRT<5 dies     |  |  |
| <b>STOP CRITERIA ESTABLERTS</b>                 |             |                       |                   |                             |                                |  |  |
| <b>Ptot +/- 0,5mg/L</b>                         |             | <b>Ntot +/- 1mg/L</b> |                   | <b>MLSS Reactor +/- 10%</b> |                                |  |  |

### Influent dinàmic

| Objectiu   | Influent         | Simulació                        | Període de promig               | Variable Objectiu           | Interval error acceptable (+-) |  |  |
|--|------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|--|
| <b>OBJECTIUS PRINCIPALS</b>  |                  |                                  |                                 |                             |                                |  |  |
| Avaluació de la capacitat de la planta per eliminació de nitrogen                        | Dinàmic          | Dinàmica                         | Mitjana mensual o mitjana anual | NH <sub>x</sub> -N          | 1 mg/l                         |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | NO <sub>x</sub> -N          | 1 mg/l                         |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | N <sub>tot</sub>            | 1 mg/l                         |  |  |
| Disseny del sistema de tractament per assolir els límits instantanis de nitrogen efluent | Dinàmic          | Dinàmica                         | Valors instantanis              | NH <sub>x</sub> -N          | 0.5 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | NO <sub>x</sub> -N          | 0.5 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | N <sub>tot</sub>            | 0.5 mg/l                       |  |  |
| Desenvolupament d'un model per aprenentatge de l'operador                                | Dinàmic          | Dinàmica                         | Mitjana mensual                 | MLSS                        | 10%                            |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | WAS load                    | 5%                             |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | Efluent TSS                 | 5.0 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | NH <sub>x</sub> -N          | 1.0 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | NO <sub>x</sub> -N          | 1.0 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | PO <sub>4</sub> -P          | 1.0 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | Air flow rate               | 10%                            |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | DO                          | 0,5 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | <b>OBJECTIUS SECUNDARIS</b> |                                |  |  |
| Utilització del model per desenvolupar una estratègia de purga                           | Dinàmic          | Dinàmica                         | Mitjana setmanal                | WAS load                    | 10%                            |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | SRT                         | 1 d                            |  |  |
|  |                  |                                  | Mitjana diària                  | NH <sub>x</sub> -N          | 1.0 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | PO <sub>4</sub> -P          | 0.5 mg/l                       |  |  |
| Optimització del control del sistema d'aeració   | Dinàmic          | Dinàmica                         | Mitjanes horàries               | Cabal d'aire (si aplica)    | 10%                            |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | Perfil de DO                | 0,5 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | Efluent N-NH <sub>4</sub>   | 0,5 mg/l                       |  |  |
| Desenvolupament un model general per entendre el model                                   | Sense calibratge |                                  |                                 | Cap                         | No aplica                      |  |  |
| <b>OBJECTIUS A PERSEGUIR UNA VEGADA VALIDAT EL MODEL</b>                                 |                  |                                  |                                 |                             |                                |  |  |
| Efecte de disposar un tanc fora de servei (si aplica)                                    | Dinàmic          | Dinàmica                         | Mitjana mensual                 | NH <sub>x</sub> -N          | 1,0 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | NO <sub>x</sub> -N          | 1,0 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | N <sub>tot</sub>            | 1,0 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | PO <sub>4</sub> -P          | 0,5 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | P <sub>tot</sub>            | 0,5 mg/l                       |  |  |
| Desenvolupament d'una estratègia pel tractament d'aigües de tempesta                     | Dinàmic          | Dinàmica                         | Horària                         | MLSS                        | 10%                            |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | Efluent TSS                 | 10 mg/l                        |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | NH <sub>x</sub> -N          | 1,0 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | NO <sub>x</sub> -N          | 1,0 mg/l                       |  |  |
|  |                  |                                  |                                 | PO <sub>4</sub> -P          | 0,5 mg/l                       |  |  |
| <b>STOP CRITERIA ESTABLERTS</b>  |                  |                                  |                                 |                             |                                |  |  |
| <b>P<sub>TOT</sub> +/- 0,5mg/L</b>   |                  | <b>N<sub>TOT</sub> +/- 1mg/L</b> |                                 | <b>MLSS Reactor +/- 10%</b> |                                |  |  |



Les dades de la taula de Stop Criteria indicats pressuposen l'existència de dades d'input de bona qualitat. Si aquests no tenen la qualitat adequada el compliment del nivell de precisió previst no serà possible.

## 7.2. Validació de dades mitjançant Spicifer

El programa de simulació BioWin té un apartat anomenat 'Spicifer' on podem introduir totes les característiques de l'aigua d'Entrada obtingudes a les campanyes de dades.

Com podem veure a la figura 9, introduïm tots els valors que hem obtingut a la caracterització de l'aigua d'entrada de la EDAR de Sant Feliu de Codines:

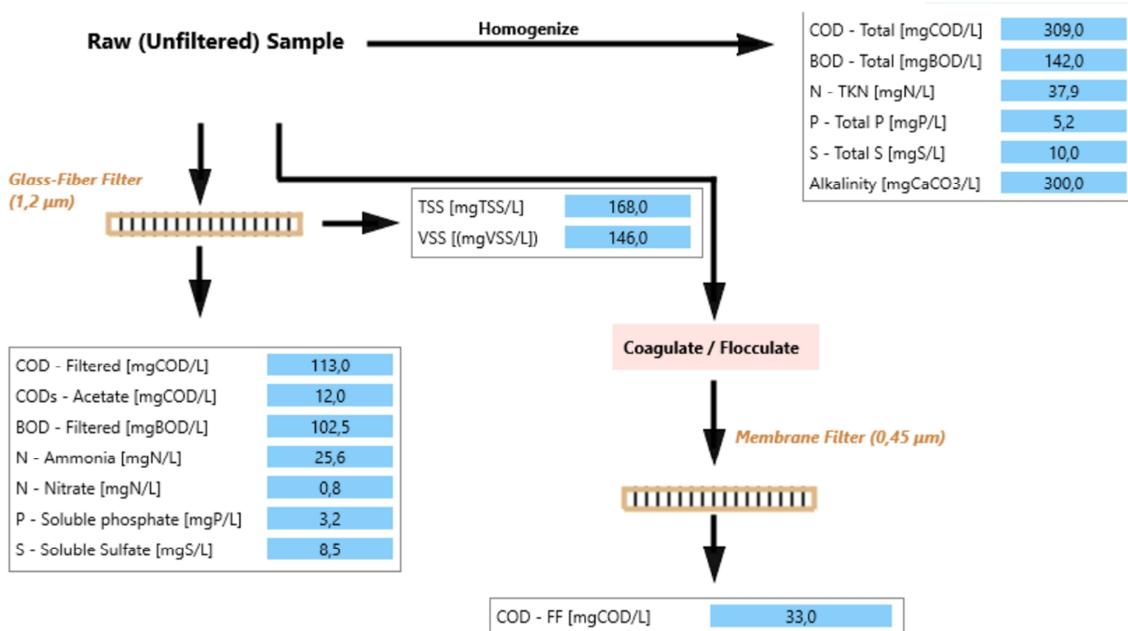


Figura 9. Validació de la caracterització d'aigua dins de BioWin. (Font: Adrián Mejías.)

Mitjançant interpolacions utilitzant el mateix Spicifer, ajustem els valors que introduirem posteriorment a "Influent Data"/ "Stoichiometric Parameters" / "Other Parameters".

Comprovant així que els valors obtinguts son o no correctes.

| Fraction / Parameter Estimates        |         |          | Fraction Calculation Results |          |            |              |
|---------------------------------------|---------|----------|------------------------------|----------|------------|--------------|
| Name                                  | Default | Estimate | Influent Values              | Measured | Calculated | Match Status |
| <b>COD Fractions</b>                  |         |          |                              |          |            |              |
| Fbs                                   | 0,1600  | 0,0259   | COD - Total                  | 309,0000 | 309,0000   | -            |
| Fac                                   | 0,1500  | 1,5000   | COD - Particulate            | 196,0000 | 196,0000   | Excellent    |
| Fxs                                   | 0,6388  | 0,7420   | COD - Filtered               | 113,0000 | 113,0000   | Excellent    |
| Fxsp                                  | 0,7500  | 0,6511   | COD - FF                     | 33,0000  | 33,0000    | Excellent    |
| Fbiomass                              | 0,0212  | 0,0212   | BOD - Total Carbonaceous     | 142,0000 | 140,6139   | Excellent    |
| Fus                                   | 0,0500  | 0,0809   | BOD - Filtered Carbonaceous  | 102,4611 | 51,6915    | Unacceptable |
| Fup                                   | 0,1300  | 0,1300   | VSS                          | 146,0000 | 140,9552   | Excellent    |
| Cellulose (Note...)                   | 0,5000  | 0,5000   | TSS                          | 168,0000 | 162,9552   | Excellent    |
| Non-Cellulose                         | 0,5000  | 0,5000   |                              |          |            |              |
| <b>COD : VSS</b>                      |         |          |                              |          |            |              |
| Particulate Biodegradable COD : VSS   | 1,6327  | 1,5000   | Influent CODp : VSS          | 1,3425   | 1,3905     | Excellent    |
| Particulate Inert COD : VSS           | 1,6000  | 1,0000   | Influent Total COD : cBOD    | 2,1761   | 2,1975     | Excellent    |
| Cellulose COD : VSS                   | 1,4000  | 1,2000   | VSS : TSS                    | 0,8690   | 0,8650     | Excellent    |
| <b>BOD Model Parameters (Note...)</b> |         |          |                              |          |            |              |
| k1 for CODc - Xsc                     | 0,5000  | 0,5000   |                              |          |            |              |
| k2 for CODp - Xsp                     | 0,5000  | 0,5000   |                              |          |            |              |

Taula 17. Validació de dades mitjançant Spicifer (Font: Adrián Mejías.)

Spicifer té un apartat anomenat Match Status (taula 17) , on ens dirà si els valors introduïts són fiables o no.

Com podem observar, el Match Status en totes ha estat excel·lent, excepte en el valor de DBO5, que es unacceptable. Per sort, en aquest cas, és un valor que no ens influeix al procés de simulació i s'ens permet continuar, tot i no ser acceptable ja que en moltes ocasions, els valors de DBO5 analitzats discrepen amb els que calculen els sistemes. A més, no influeix directament en el resultat del affluent, com per exemple altres valors com la DQO o el NT, entre d'altres.

En canvi, es necessari obtenir un Match Status com a mínim bò en paràmetres com la DQO, els Sòlids Totals Suspesos (TSS) o els Sòlids Volàtils Suspesos (VSS).

Una vegada realitzat l'ajust, obtenim un Excel on trobarem tots els valors a introduir a l'Influent Fraction de la nostra simulació (coneixent ara, que son valors vàlids) a més de multitud de paràmetres que descriuen a la perfecció la caracterització de l'aigua amb la que tractem.

Finalment, també obtenim alguns paràmetres cinètics i estequiomètrics següents.



**COD Influent Data**

| Name  | Value  |
|---|--------|
| Flow  | 702,00 |
| COD - Total mgCOD/L                         | 309,00 |
| N - Total Kjeldahl Nitrogen mgN/L           | 37,90  |
| P - Total P mgP/L                           | 5,20   |
| S - Total S mgS/L                           | 10,00  |
| N - Nitrate mgN/L                           | 0,80   |
| pH  | 8,07   |
| Alkalinity mmol/L                           | 6,00   |
| Influent inorganic suspended solids mgISS/L | 22,00  |
| Metal soluble - Calcium mg/L                | 80,00  |
| Metal soluble - Magnesium mg/L              | 15,00  |
| Gas - Dissolved oxygen mg/L                 | 0,00   |

**Paste values to:**

| Project > Para. > Stoichi. > Common   | Value |
|---------------------------------------|-------|
| Particulate Substrate COD:VSS Ratio   | 1,50  |
| Particulate Inert COD:VSS Ratio       | 1,00  |
| Cellulose COD:VSS ratio [mgCOD/mgVSS] | 1,20  |

**Paste values to:**

| Project > Para. > Other | Value |
|-------------------------|-------|
| k1 for CODc - Xsc       | 0,50  |
| k2 for CODp - Xsp       | 0,50  |

## COD Influent Fractions

| Name   |          | Raw Defaults | Value |
|--|----------|--------------|-------|
| Fbs - Readily biodegradable (including Acetate) [gCOD/g of total COD]            | 0,1600   | 0,0259       |       |
| Fac - Acetate [gCOD/g of readily biodegradable COD]                              | 0,1500   | 0,7500       |       |
| Fxsp - Non-colloidal slowly biodegradable [gCOD/g of slowly degradable COD]      | 0,7500   | 0,6608       |       |
| Fus - Unbiodegradable soluble [gCOD/g of total COD]                              | 0,0500   | 0,0809       |       |
| Fup - Unbiodegradable particulate [gCOD/g of total COD]                          | 0,1300   | 0,1300       |       |
| Fcel - Cellulose fraction of unbiodegradable particulate [gCOD/gCOD]             | 0,5000   | 0,5000       |       |
| Fna - Ammonia [gNH3-N/gTKN]  | 0,6600   | 0,6755       |       |
| Fnox - Particulate organic nitrogen [gN/g Organic N]                             | 0,5000   | 0,5000       |       |
| Fnus - Soluble unbiodegradable TKN [gN/gTKN]                                     | 0,0200   | 0,0200       |       |
| FupN - N:COD ratio for unbiodegradable part. COD [gN/gCOD]                       | 0,0700   | 0,0700       |       |
| Fpo4 - Phosphate [gPO4-P/gTP]  | 0,5000   | 0,6154       |       |
| FupP - P:COD ratio for unbiodegradable part. COD [gP/gCOD]                       | 0,0220   | 0,0220       |       |
| Fsr - Reduced sulfur [H2S] [gS/gS]   | 0,1500   | 0,1500       |       |
| FZbh - Ordinary heterotrophic COD fraction [gCOD/g of total COD]                 | 0,0200   | 0,0000       |       |
| FZbm - Methylotrophic COD fraction [gCOD/g of total COD]                         | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZao - Ammonia oxidizing COD fraction [gCOD/g of total COD]                      | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZno - Nitrite oxidizing COD fraction [gCOD/g of total COD]                      | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZaao - Anaerobic ammonia oxidizing COD fraction [gCOD/g of total COD]           | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZppa - Phosphorus accumulating COD fraction [gCOD/g of total COD]               | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZpa - Propionic acetogenic COD fraction [gCOD/g of total COD]                   | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZam - Acetoclastic methanogenic COD fraction [gCOD/g of total COD]              | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZhm - Hydrogenotrophic methanogenic COD fraction [gCOD/g of total COD]          | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZso - Sulfur oxidizing COD fraction [gCOD/g of total COD]                       | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZsrpa - Sulfur reducing propionic acetogenic COD fraction [gCOD/g of total COD] | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZsra - Sulfur reducing acetotrophic COD fraction [gCOD/g of total COD]          | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZsrh - Sulfur reducing hydrogenotrophic COD fraction [gCOD/g of total COD]      | 1,00E-04 | 0,000E+00    |       |
| FZe - Endogenous products COD fraction [gCOD/g of total COD]                     | 0,0000   | 0,0000       |       |

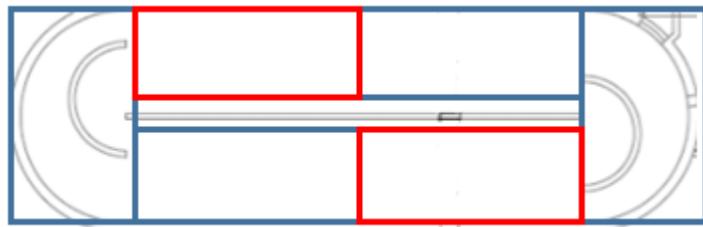
Com podem observar a la taula COD Influent Fractions, hi ha moltíssimes fraccions per caracteritzar l'input de planta, si no fos gràcies a l'ajuda del Spicifer seria realment difícil definir aquesta gran quantitat de paràmetres relacionats directament amb la DQO. (Recordem que havíem vist i analitzat 5 fraccions, en total trobem més de 25).

Una vegada introduïdes totes les dades d'Input i Paràmetres de simulació ens vam adonar que per a realitzar correctament les simulacions **estàtiques** calia redissenyar els reactors ja que, aquest tipus de simulació no té en compte els cicles de temps que havíem introduït anteriorment.



Cal que el % de Temps que el reactor està oxigenant o agitant sigui equivalent al % de Volum Total en agitació o aeració **constant**.

Per tant, com la proporció en temps d'aeració era de 1/3, es va afegir un nou reactor (6 totals) i s'han utilitzat 2 airejant de forma constant amb una consigna de 3,5mg OD/L; mentre que els altres 4 reactors fan la funció anòxica, agitant constantment amb 0mg OD/L.



Zones Vermelles (Aeració 3,6)

Zones Blaves (Agitació 1,2,4,5)

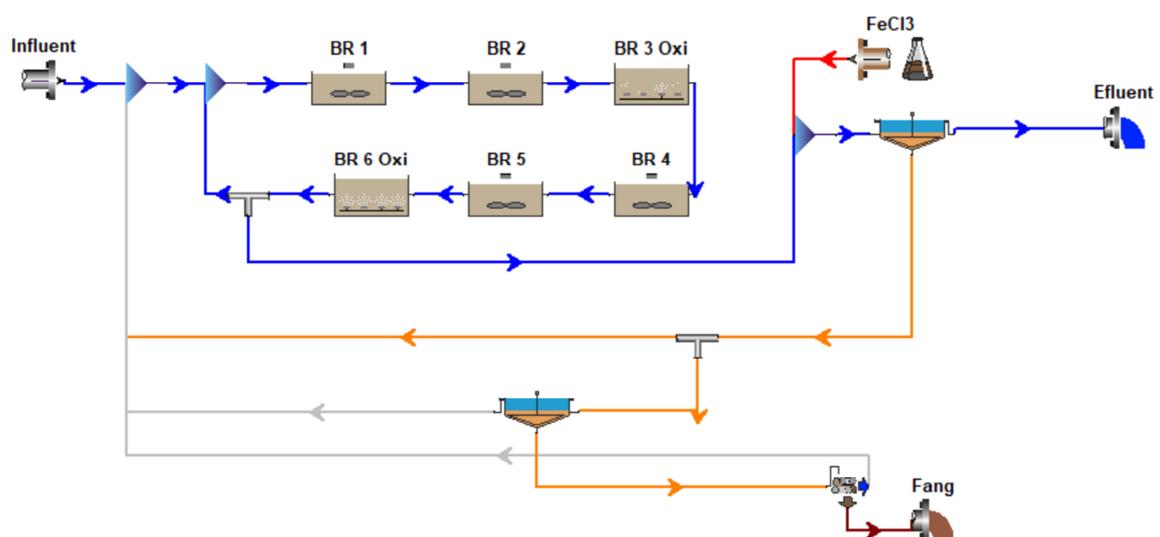


Figura 10. Model final simulació estàtica (Font: Adrián Mejías.)

### 7.3. Calibratge de dades mitjançant Simulació Estàtica

Per dur a terme el calibratge cal que la simulació flueixi sense errors com havíem esmentat anteriorment.

En aquest cas, la simulació estàtica es realitza amb èxit, i per tant podem començar a ajustar paràmetres per a aconseguir millorar la precisió del nostre model, tenint com a referència els nostres Stop Criteria:

| STOP CRITERIA                             |   |  |
|---|---|--|
| P <sub>TOT</sub> +/- 0,5mg/L<br>(1,1mg/L) | N <sub>TOT</sub> +/- 1mg/L<br>(2,9mg/L) | M <sub>LSS</sub> +/- 10%<br>(1840mg/L) |

Tant el N<sub>TOT</sub> com el P<sub>TOT</sub> fan referència al valor obtingut a l'afluent.

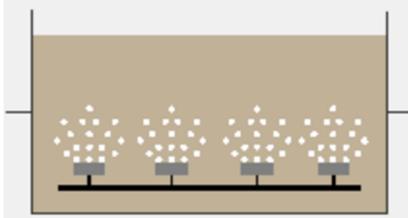
Mentre que el M<sub>LSS</sub> fa referència als sòlids que trobem al liquor mescla, dins del propi reactor.

#### 6.3.1 Calibratge de MLSS

Per aconseguir ajustar el valor de MLSS al nostre reactor, vam editar el valor de la fracció F<sub>up</sub> de la DQO total, que representa la fracció particulada no biodegradable.

Al incrementar aquest valor s'obté una major acumulació de sòlids dins del nostre reactor.

Es va ajustar aquest valor fins a aconseguir que el MLSS de la simulació fos +/- 10% MLSS respecte el real, que es de 1840mg/L. finalment, els sòlids obtinguts al reactor de la nostra simulació varen ser els següents.



| TRH del element          |            |
|--------------------------|------------|
| N Amoniacial             | 0,51 mgN/L |
| N-Nitrato                | 1,43 mgN/L |
| N-Nitrito                | 0,48 mgN/L |
| P-PO4 soluble            | 0,59 mgP/L |
| S - Soluble sulfate      | 9,73 mgS/L |
| Sòlids suspesos volàtils | 1.387 mg/L |
| Sòlids suspesos totals   | 1.781 mg/L |

Com podem observar, els valors de MLSS estan dins del rang permès per el nostre Stop Criteria.

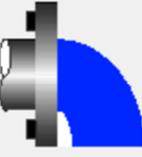
A més veiem la efectivitat de la nostre recirculació interna anomenada anteriorment, que ens ofereix un TRH de 3,4 hores.

### **6.3.1 Calibratge de Ntot**

En aquest cas ens fixarem en els valors que obtenim en el Output.

A la primera simulació realitzada vam observar com els nostres Ntot excedien per bastant el valor esperat (Stop Criteria, Valor Real). Per a poder corregir aquest valor s'han modificat alguns paràmetres cinètics anomenats AAO.

Es realitzen alguns ajusts fins aconseguir obtenir un valor de 3,9mg/L de Ntot. Valor que respecta el rang permès per el nostre Stop Criteria, establert com a (+/- 1mg/L de 2,9mg/L de Ntot).



|                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| Caudal                       | 701,48 m <sup>3</sup> /d |
| N Ammoniacal                 | 0,49 mgN/L               |
| N-Nitrato                    | 1,44 mgN/L               |
| N-Nitrito                    | 0,48 mgN/L               |
| NTK filtrado                 | 1,84 mgN/L               |
| N total                      | 3,99 mgN/L               |
| P-PO4 (Sol. complejo metal.) | 0,58 mgP/L               |
| P total                      | 0,72 mgP/L               |
| Sólidos suspendidos totales  | 4,73 mg/L                |

### **6.3.1 Calibratge de Ptot**

En aquesta EDAR l'ajust de Ptot no va ser necessari, ja que el valor obtingut a la primera simulació (0,72mg P/L) ja entra dins del rang permès per el nostre Stop Criteria (+/-0,5mgP/L de 1,1mgP/L).

Cal remarcar però, que per altres simulacions realitzades, l'ajust de Ptot si ha estat necessari, i s'ha realitzat modificant els Paràmetres Cinètics PAO (Bactèries Acumuladores de Polifosfats), amb els que podem controlar tasses de limitació i creixement de P.

| Nombre   | Defecto | Valor  | Arrhenius |
|--|---------|--------|-----------|
| Tasa. max. crecimiento espec. [1/d]                                | 0,9500  | 0,9500 | 1,0000    |
| Tasa max crecimiento espec. con limitación de P [1/d]              | 0,4200  | 0,4200 | 1,0000    |
| Coef. de media saturación (mgDQO(PHB)/mgDQO(Zbp))                  | 0,1000  | 0,1000 | 1,0000    |
| Coef. de media saturación, limitación de P [mgDQO(PHB)/mgDQO(Zbp)] | 0,0500  | 0,0500 | 1,0000    |
| Coef. media satur. de magnesio [mgMg/L]                            | 0,1000  | 0,1000 | 1,0000    |
| Coef. media satur. de catión [mmol/L]                              | 0,1000  | 0,1000 | 1,0000    |
| Coef.media satur. de calcio [mgCa/L]                               | 0,1000  | 0,1000 | 1,0000    |
| Tasa de muerte aeróbica/anóxica [1/d]                              | 0,1000  | 0,1000 | 1,0000    |
| Tasa de mantenimiento aeróbico/anóxico [1/d]                       | 0       | 0      | 1,0000    |
| Tasa de muerte anaerobiosis (1/d)                                  | 0,0400  | 0,0400 | 1,0000    |
| Tasa de mantenimiento anaeróbico [1/d]                             | 0       | 0      | 1,0000    |
| Tasa de secuestro [1/d]  | 4,5000  | 4,5000 | 1,0000    |
| Factor de crecimiento anox. [-]                                    | 0,3300  | 0,3300 | 1,0000    |

Taula 18. Paràmetres PAO dins del BioWin (Font: Adrián Mejías.)

A la taula 18 podem observar la quantitat de paràmetres que es poden modificar per ajustar els valors que hem calibrat, en concret, el que veiem representa els Paràmetres Cinètics modificables PAO.

## 8. Interpretació de resultats

El projecte s'ha desenvolupat correctament seguint les pautes descrites al treball.

S'ha obtingut un model calibrat i validat de la planta en estat estacionari amb el que podem discutir el model i els seus resultats. Els valors de Ptot i Ntot van referits al afluente (sortida de planta); mentre que els valors de MLSS es refereixen a la concentració de sòlids dins del reactor.

Els valors reals dels paràmetres establerts com a Stop Criteria son:

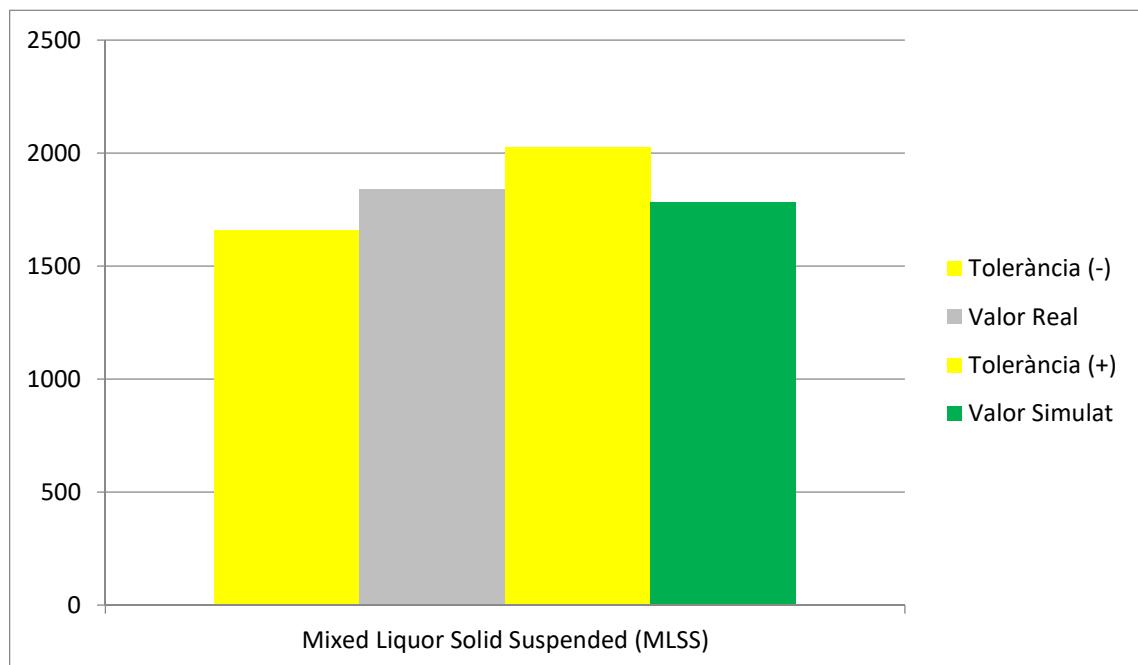
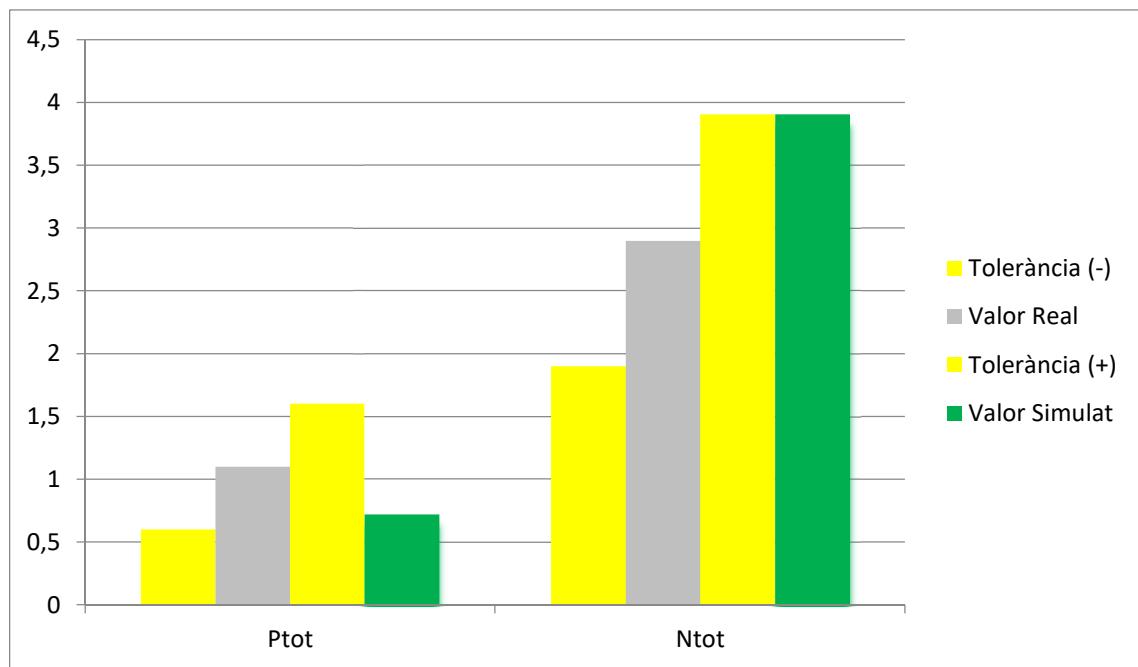
| VALORS REALS               |                            |                 |
|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| P <sub>TOT</sub> = 1,1mg/L | N <sub>TOT</sub> = 2,9mg/L | MLSS = 1840mg/L |

La tolerància permesa a la simulació estàtica es:

| TOLERÀNCIES                  |                            |              |
|------------------------------|----------------------------|--------------|
| P <sub>TOT</sub> +/- 0,5mg/L | N <sub>TOT</sub> +/- 1mg/L | MLSS +/- 10% |

Els valors obtinguts a la nostra simulació estàtica son:

| VALORS OBTINGUTS AL MODEL   |                            |                 |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------|
| P <sub>TOT</sub> = 0,72mg/L | N <sub>TOT</sub> = 3,9mg/L | MLSS = 1781mg/L |



Com podem observar, la simulació ha aconseguit que els valors simulats siguin dins del rang establert per les toleràncies. Per tant, podem considerar que el nostre model es bo.



## 9. Anàlisi de l'impacte ambiental

Per a realitzar l'anàlisi ambiental d'aquest projecte cal tindre en compte que la majoria del temps ha estat treballant des de l'ordinador, o el laboratori, i per tant, podem considerar que l'impacte d'aquest projecte es pràcticament nul.

Cal destacar però, que si realitzéssim proves amb paràmetres de planta reals (i els seus equips), l'impacte ambiental podria ser molt alt, ja que si no controllem el que aboquem al medi, podríem contaminar seriosament el medi.

L'impacte ambiental que pot tenir aquest projecte apareix si no es respecta el tractament de residus establert als laboratoris de l'empresa.

S'han tractat amb cura tant el material utilitzat al laboratori, com els residus generats a l'hora d'utilitzar els kits Hatch. Cal remarcar que, l'empresa que els fabrica, es fa directament responsable del seu correcte tractament i transport.

Per tant, s'han respectat les mesures imposades que consisteixen en guardar els kits ja utilitzats a les seves respectives caixes; per ser recollides per un transportista autoritzat.

Posteriorment aquests residus seran gestionats per la empresa fabricant.

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <b>Descripció del residu:</b> | <b>REACTIUS DE LABORATORI UTILITZATS</b> |
| <b>Classificació:</b>         | Perillós                                 |
| <b>Origen:</b>                | Anàlisi LABORATORI                       |
| <b>Codi:</b>                  | <b>160506</b>                            |

| DATA INICI<br>EMMAGATZEMATGE | DATA SORTIDA RESIDU(*) | QUANTITAT (caixes de 10kg) |
|------------------------------|------------------------|----------------------------|
| 20/09/2019                   | 09/03/2020             | 1                          |
| 09/03/2020                   | 24/09/2020             | 2                          |
| 24/09/2020                   | 25/03/2021             | 2                          |

L'impacte ambiental d'aquest projecte ha estat petit. La part experimental (ja esmentada), no ha estat agressiva per al medi, sempre que es respectin les normes de gestió ja anomenades.

Per la part del treball realitzada mitjançant ordinadors, cal destacar el consum energètic ha estat d'aproximadament 1,6kWh (6hores/dia). I 1kWh de l'aire condicionat.

A part d'aquests factors, no ha estat un projecte agressiu en quant a l'impacte ambiental.

## Cost del projecte

Es presenta en aquest document el pressupost econòmic detallat i total d'aquest treball de fi de grau. Es tenen en compte el material, costos d'enginyeria per part de l'analista de laboratori i l'encarregat de desenvolupar el modelatge i el seu posterior calibratge, cost per analítica i altres.

| MATERIAL                        |           |              |                 |
|---------------------------------|-----------|--------------|-----------------|
| Producte                        | Quantitat | Cost Unitari | Cost            |
| Ordinador HP Pavilion           | 1 u.      | 1200€/u.     | 1200€           |
| Filtres de Laboratori (0,45 µm) | 120u.     | 0,10€/u.     | 12€             |
| Kits Hatch (Pack 25)            | 30u.      | 37,78€/u.    | 1133,4€         |
| Pipetes                         | 10u.      | 80€/u.       | 800€            |
| Xeringues amb filtre            | 120u.     | 0,25€/u      | 30€             |
| <b>TOTAL</b>                    |           |              | <b>3.175,4€</b> |

| ANALÍTIQUES                  |         |           |               |
|------------------------------|---------|-----------|---------------|
| Analítica                    | Mostres | €/Mostra  | Cost          |
| Conductivitat elèctrica i pH | 200     | 1€/mostra | 200€          |
| Determinació SST i SSTV      | 200     | 4€/mostra | 800€          |
| Determinació NT              | 200     | 2€/mostra | 400€          |
| Determinació PT              | 200     | 2€/mostra | 400€          |
| <b>TOTAL</b>                 |         |           | <b>1.800€</b> |



| PERSONAL                |       |       |        |                 |
|-------------------------|-------|-------|--------|-----------------|
| Tasca Realitzada        | Hores | €/h   | Cost   |                 |
| Presa de mostres        | 100h  | 29€/h | 2.900€ |                 |
| Anàlisi de mostres      | 60h   | 29€/h | 1.740€ |                 |
| Validació de dades      | 80h   | 29€/h | 2.320€ |                 |
| Modelatge amb Biowin    | 100h  | 49€/h | 4.900€ |                 |
| Calibratge amb Biowin   | 120h  | 49€/h | 5.880€ |                 |
| Supervisió del projecte | 30h   | 60€/h | 1.800€ |                 |
| <b>TOTAL</b>            |       |       |        | <b>19.540 €</b> |

| ALTRES              |       |         |       |               |
|---------------------|-------|---------|-------|---------------|
| Concepte            | Hores | €/h     | Cost  |               |
| Biowin              | 220h  | 4,5€/h  | 990 € |               |
| Microsoft Office    | 300h  | 0,10€/h | 30 €  |               |
| Amortització Equips |       |         |       | 630 €         |
| <b>TOTAL</b>        |       |         |       | <b>1.650€</b> |

| <b>COST TOTAL DEL PROJECTE</b> |                  |
|--------------------------------|------------------|
| <b>COST MATERIAL</b>           | 3.175,4€         |
| <b>COST ANALÍTIQUES</b>        | 1.800€           |
| <b>COST PERSONAL</b>           | 19.540€          |
| <b>ALTRES</b>                  | 1.650€           |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>26.165,4€</b> |

Per tant, el cost estimat d'aquest projecte es de **26.165,4 €** amb IVA inclòs.

## Conclusions

El desenvolupament del projecte ha estat pautat per les fases descrites, això ha agilitzat molt el desenvolupament d'aquest, ja que s'ha treballat de forma ordenada i planificada.

La planificació per a l'obtenció de dades al laboratori s'ha complert. A més, les dades obtingudes al en aquestes campanyes son fiables i representatives.

L'anàlisi i la reconciliació de dades ha estat satisfactòria, ja que al disposar de la eina Spicifer del nostre programa de simulació BioWin hem pogut comprovar si la caracterització realitzada tenia coherència o no.

Els balanços de flux i massa obtinguts mitjançant Excel han donat els mateixos valors que el programa BioWin. Per tant, donem per suposat que son correctes, tant els rendiments dels equips, com els cabals i concentracions utilitzats.

Els reactors s'han representat com a reactors de tancs en sèrie, obtenint resultats similars als que obtenen els reactors reals.

Els redimensionaments aplicats a alguns dels equips s'han realitzat de forma coherent i justificada. S'ha respectat en tots els casos la proporció dels elements. En tots els casos, s'han pogut realitzar els balanços i rendiments corresponents amb les noves dimensions.

Gràcies a haver calibrat i validat la simulació estàtica, complint els valors establerts com a Stop Criteria. Podem donar per bon el calibratge del nostre model.

De cara al futur, es recomana continuar amb el projecte per tal de veure l'evolució d'aquest, i així obtenir conclusions més objectives sobre el comportament del nostre model.

A dia d'avui continua desenvolupant-se la fase 4 (simulació dinàmica), fase necessària per a poder continuar amb la fase final.



## Bibliografia

- [1] CÁRDENAS, S.; NÚÑEZ, A. Y DÍAZ-FIERROS. 1993. "Evaluación del poder depurador de una EDAR para poblaciones de pequeño tamaño". Revista Tecnología del Agua. Barcelona (España). Agosto-93. Nº113:17-33
- [2] BUENO, J.L.; SASTRE, H. Y LAVIN, A.G. 1997. "Contaminación e ingeniería Ambiental. III Contraminación de las aguas". Ed. FICYT. Madrid
- [3] MORUNO, B. Grupo Bioindicación. 2010. "La depuración de las aguas residuales". Sevilla. Disponible a: <https://www.interempresas.net/Aqua/Articulos/36895-La-depuracion-de-las-aguas-residuales.html>
- [4] EKAMA G.A, BERNARD J.L, KREBS P. (1997) Theory, Modelling, design and operation. IAWQ Scientific and Technical report Nº6, IAWQ, London.
- [5] PETER L. DOLD , CHRISTOPHER M., IMRE TAKACS. (1997) Methods for Wastewater characterization in Activated Sludge Modeling. London.
- [6] GIL RODRIGUEZ, M. (2006). Depuración de aguas residuales: Modelización de procesos de lodos activos. CSIC. Madrid.
- [7] FELIX P, MARTINEZ GARCÍA (2012). " Análisis de las teorías de sedimentación en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Estado del arte y nuevas líneas de investigación. Bases para la creación de un modelo matemático de simulación de decantadores secundarios integrados." Alicante. Disponible a: <https://iuaca.ua.es/master-agua/documentos/gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm06/tfm-felix-martinez-garcia.pdf>
- [8] VERDE R, CASAS O, MUIÑO P, PONCET J. (2017). " Optimització de l'eliminació de P en una EDAR mitjançant l'ús d'un programari de modelització de l'funcionament de la planta (BioWin)." Galicia. Disponible a: <https://docplayer.es/76709150-Optimizacion-de-la-eliminacion-de-p-en-una-edar-mediante-el-empleo-de-un-software-de-modelizacion-del-funcionamiento-de-la-planta-biowin.html>
- [9] ENEKO MENCHACA IBARRA (2016). " Modelización y optimización del funcionamiento de una EDAR con proceso biológico integrado innovador para eliminación de nutrientes". Santander. Disponible a: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/10000/Eneko%20Menchaca%20Ibarra.pdf?isAllowed=y&sequence=1>



[10] CARLOS MENDEZ GUTIERREZ, JAIME DUEÑAS MORENO (2018). "Los processos biològicos de tratamiento de aguas desde una visión no convencional". INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, VOL. XXXIX, No. 3. Cujae, Cuba.

Disponible a: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-97.pdf>

[11] WARREN WILSON, PAUL SUN. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington. (2012). 22nd edition. APHA, AWWA & WEF: 2150 –Table 1060: i 5220.

[12] Hach-Lange. United for Water Quality, Prospecte d'instruccions per als kits LCK.

[13] HENZE M., GUJER W., MINO T., VAN LOOSDRECHT M. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. Activated sludge model no. 1, p. 6-8 reprint ed. London.

[14] GUARDINO FERRÉ RAMÓN, ZORRILLA SORIANO FRANCISCO, Oms Ibérica, Egevasa (Valencia).

Disponible a:

[https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua\\_articulo/op/31/op31\\_9.htm#proceso](https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/op/31/op31_9.htm#proceso)