



Estudi i disseny d'un algoritme per a la supervisió conjunta de xarxa de distribució i clavegueram

Document:

Memòria

Autor/Autora:

Daniel Lao Burgos

Director/Directora - Codirector/Codirectora:

Ramon Pérez Magrané / Sergi Grau Torrent

Titulació:

Grau en Enginyeria Electrònica, Industrial i
Automàtica

Convocatòria:

Primavera, 2022.

TREBALL DE FI D'ESTUDIS



Resum

Aquest treball posa en manifest tota la feina realitzada per complir l'objectiu principal: el disseny d'un algoritme per a la supervisió conjunta de la xarxa d'aigua de distribució i la xarxa de clavegueram, en el marc territorial de Els Condals, situat a Manresa. Per complir amb aquest objectiu, s'han definit dos procediments diferents però relacionats alhora.

En un primer lloc, s'ha realitzat un estudi d'un conjunt de dades proporcionat per l'empresa d'aigües de Manresa. S'ha realitzat un anàlisi exploratori del conjunt de dades per comprendre què representa cada dada. Després, s'han realitzat modificacions sobre el conjunt de dades que han ajudat a trobar altres paràmetres, com per exemple les pèrdues de la xarxa de distribució d'aigua potable. Finalment, i utilitzant com a base la modificació de dades, s'han realitzat una sèrie de representacions de les dades que aportaven una ajuda visual a l'hora de identificar nous conceptes de la xarxa conjunta. Aquest tractament de dades ha resultat de gran ajuda a l'hora de definir els diferents comportaments que presenta la xarxa conjunta sota diferents estímuls, com poden ser pluges, accions humanes i pèrdues de la xarxa.

Seguidament, s'ha realitzat un conjunt de simulacions sobre un arxiu que representa el model de la xarxa de clavegueram de Els Condals, utilitzant com a entrada del model les dades reals de la xarxa de distribució i altres dades calculades a l'estudi del punt anterior, comparant el comportament de les bombes del model amb el comportament real que presenten les bombes del sistema de clavegueram. En total, s'han definit 3 simulacions: la primera ha ajudat a comprendre millor l'espai de treball sobre el que s'han realitzat les simulacions. La segona ha servit per simular el comportament de les pluges i l'efecte que tenen sobre la xarxa d'aigua. La tercera, finalment, ha confirmat que no tota l'aigua proporcionada per la xarxa de distribució arriba a les bombes de la xarxa de clavegueram.

Aquests dos procediments han ajudat, en gran mesura, a arribar a la conclusió de que és possible definir les relacions que permeten entendre de manera conjunta dues xarxes que, normalment, s'estudien en àmbits diferents.

Índex

RESUM.....	I
ÍNDEX	II
ÍNDEX DE TAULES	III
ÍNDEX DE FIGURES	III
LLISTA D'ABREVIATURES/GLOSSARI	IV
1. INTRODUCCIÓ	1
1.1 OBJECTE.....	1
1.2 ABAST	2
1.3 REQUERIMENTS	3
1.4 JUSTIFICACIÓ	4
2 ANTECEDENTS	5
3 METODOLOGIA	6
4 DESENVOLUPAMENT DE LA SOLUCIÓ	7
4.1 TRIA DEL SOFTWARE	7
4.1.1 <i>Software per modelat de clavegueram: SWMM</i>	7
4.1.2 <i>Software per manipulació de dades: Python</i>	8
4.2 CAS D'ESTUDI	9
4.2.1 <i>Els Condals</i>	9
4.2.1.1 Situació geogràfica	9
4.2.1.2 Xarxa d'aigua conjunta	10
4.2.2 <i>Xarxa proporcionada</i>	11
4.2.3 <i>Dades proporcionades</i>	12
4.2.3.1 Origen de les dades	12
4.3 USEPA SWMM	13
4.3.1 <i>Característiques</i>	13
4.3.2 <i>Conceptes</i>	14
4.3.2.1 Nodes	14
4.3.2.2 Dry Weather Inflow (DWI).....	14
4.3.2.3 Links	14
4.3.2.4 Rain Gage	14
4.4 TRACTAMENT DE DADES	15
4.4.1 <i>Anàlisi exploratori</i>	15
4.4.2 <i>Manipulació de dades</i>	16
4.4.3 <i>Representacions</i>	19
4.4.3.1 Característiques generals de la xarxa conjunta.....	19
4.4.3.2 Pèrdues de la xarxa d'aigua potable: Minimum Night Flow.....	22
4.4.3.3 Comportament de la indústria present a Els Condals.....	26
4.4.3.4 Comportament de la xarxa conjunta filtrat	27
4.5 SIMULACIÓ I VALIDACIÓ	29
4.5.1 <i>Simulació 1: primera simulació</i>	29
4.5.2 <i>Simulació 2: simulació d'un període amb presència de pluges</i>	32
4.5.3 <i>Simulació 3: comparativa cabal subministrat – cabal filtrat</i>	34
5 RESUM DEL PRESSUPOST I/O ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA	37
6 ANÀLISI I VALORACIÓ DE LES IMPLICACIONS AMBIENTALS I SOCIALS	38
6.1 EVOLUCIÓ DEL SANEJAMENT A CATALUNYA.....	38
6.2 PÈRDUES A LES XARXES D'ABASTAMENT A CATALUNYA.....	38
6.3 APORTACIÓ DEL TREBALL PRESENT	39
7 CONCLUSIONS	40
8 REFERÈNCIES	41
9 ANNEXOS.....	42

Índex de taules

Títol i número de totes les taules per ordre d'aparició en el text.

TAULA 1: DIFERENTS DATAFRAMES PROPOSATS A PARTIR DE L'ORIGINAL.....	17
---	----

Índex de figures

Títol i número de tots els gràfics per ordre d'aparició en el text.

FIGURA 1: DIAGRAMA DE LA XARXA CONJUNTA.....	6
FIGURA 2: MAPA DE ELS CONDALS (MANRESA)	9
FIGURA 3: XARXA D'AIGUA POTABLE.....	10
FIGURA 4: XARXA DE CLAVEGUERAM	10
FIGURA 5: MODEL DE ELS CONDALS	11
FIGURA 6: CONJUNT DE DADES ORIGINAL	12
FIGURA 7: DADES DELS BOMBAMENTS SUD (ESQUERRA) I NORD (DRETA)	13
FIGURA 8: DATAFRAME AMB LES DADES INICIALS	15
FIGURA 9: TIPUS DE DADES DEL DATAFRAME ORIGINAL	16
FIGURA 10: ESTADÍSTICS DESCRIPTIUS DEL DATAFRAME ORIGINAL	16
FIGURA 11: DATAFRAME AMB COLUMNES AFEGIDES	18
FIGURA 12: EXEMPLE DE SUBCONJUNT PER A DIES LABORABLES SECS	19
FIGURA 13: EVOLUCIÓ DEL VOLUM PROCESSAT PER LES DUES XARXES	20
FIGURA 14: QUANTITAT DE BOMBAMENTS PER DIA	21
FIGURA 15: EVOLUCIÓ DEL CABAL SUBMINISTRAT I IMPULSAT PER LES XARXES	22
FIGURA 16: EVOLUCIÓ DEL MINIMUM NIGHT FLOW (MNF)	23
FIGURA 17: MNF FILTRAT	24
FIGURA 18: PÈRDUES DE LA XARXA CONJUNTA	25
FIGURA 19: RENDIMENT DE LA XARXA CONJUNTA	26
FIGURA 20: OBTENCIÓ DE LA DEMANDA D'AIGUA INDUSTRIAL	27
FIGURA 21: OBTENCIÓ DEL CABAL SUBMINISTRAT FILTRAT.....	28
FIGURA 22: DATAFRAME CARREGAT A LA SIMULACIÓ 1	30
FIGURA 23: DATAFRAME AMB ELS NODES AMB DWI.....	30
FIGURA 24: BOMBAMENTS DE LA SIMULACIÓ 1.....	31
FIGURA 25: RESULTAT DE LA SIMULACIÓ 1	32
FIGURA 26: BOMBAMENTS DE LA SIMULACIÓ 2.....	33
FIGURA 27: RESULTAT DE LA SIMULACIÓ 2	34
FIGURA 28: BOMBAMENTS DE LA SIMULACIÓ 3.....	35
FIGURA 29: RESULTAT DE LA SIMULACIÓ 3	36

Llista d'abreviatures/Glossari

CFAP	Consum Filtrat d'Aigua Potable
DWI	<i>Dry Weather Inflow</i>
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
XAP	Xarxa d'Aigua Potable
XAC	Xarxa d'aigua de Clavegueram
XC	Xarxa Combinada



1. Introducció

1.1 Objecte

L'objecte d'aquest treball acadèmic és la obtenció d'un model capaç de relacionar dues xarxes d'aigua: una xarxa de distribució d'aigua potable i una xarxa de clavegueram.

Ambdues xarxes s'acostumen a definir, representar i simular per separat, i l'aportació d'aquest treball és fer-ho conjuntament. D'aquest model esmentat s'espera que tingui en consideració diferents situacions que puguin influir en el comportament de la Xarxa Conjunta (funcionament en temps sec, en època de plujes, etc.) i que es puguin extrapolar explicacions a diferents fenòmens.

En particular, l'estudi es realitzarà sobre el barri de Els Condals, situat a Manresa. Es tracta d'un barri que presenta consums de xarxa d'aigua tant de tipus domèstic com de tipus industrial (hi ha diversos polígons amb una baixa ocupació i una gran indústria, la qual cosa podria arribar a representar un consum gens negligible). Aquests consums formaran part del present estudi.

1.2 Abast

Aquest treball complirà les següents funcions:

- **Documentació:** exposició de la documentació de totes les tasques realitzades per arribar a la solució final.
- **Anàlisi de dades:** explicació en detall de tota la part d'obtenció de dades, el seu posterior tractament i, finalment, l'anàlisi dels resultats.
- **Calibratge:** el model tindrà en compte principalment el comportament de la xarxa en temps sec tot i que, si el temps així ho permet, també s'estudiaran varietat de situacions (temps de pluja, dies festius, etc.).
- **Resultats:** anàlisi dels resultats obtinguts al llarg del desenvolupament d'aquest estudi.

Aquest treball no realitzarà les següents funcions:

- **Generació dels models de simulació:** aquests models ja han sigut definits i seran lliurats amb caràcter previ al desenvolupament d'aquest projecte.
- **Generació de dades de la xarxa conjunta:** aquestes dades seran proporcionades per entitats externes amb la finalitat d'estudiar la xarxa conjunta.
- **Generació d'aplicacions:** aquest document no tracta el disseny d'una aplicació per modelar dues xarxes alhora.

1.3 Requeriments

En aquest apartat es detallen els requeriments necessaris per al desenvolupament d'aquest estudi:

- Es necessita un programari capaç de representar la xarxa de clavegueram del municipi de Els Condals. La tria d'aquest software es tracta més en detall a l'apartat 4.1.1. El software a emprar es tracta de l'EPA SWMM (*Storm Water Management Model*).
- Paral·lelament a la necessitat d'un software per modelar la xarxa de clavegueram, també es necessita el model (dissenyat prèviament al desenvolupament d'aquest estudi) que defineix la xarxa de Els Condals.
- Es requereix un conjunt de dades que defineixi el comportament de la xarxa conjunta durant un període conegut. Aquest conjunt de dades serà proporcionat per la companyia d'aigües de Manresa.
- Per tractar amb les dades proporcionades al llarg d'aquest treball (tals com, per exemple, les dades de cabal d'aigua potable subministrat per la xarxa, o les dades de cabal impulsat residual), s'utilitzaran eines capaces de tractar amb sets de dades, principalment el llenguatge de programació Python (tot i que també s'utilitzarà Excel). Dins d'aquest apartat, també s'empraran diferents llibreries de Python com:
 - NumPy: extensió de Python que permet realitzar operacions amb vectors, matrius i funcions matemàtiques d'alt nivell.
 - Pandas: biblioteca de programari utilitzada per a la manipulació i anàlisi de dades.
 - Matplotlib: llibreria utilitzada principalment per a la representació de conjunts de dades.

1.4 Justificació

En aquest apartat tractarem dos temes important que justifiquen la realització d'aquest treball: per què és interessant, i per què es pot realitzar en aquest context.

Per començar, el plantejament d'aquest projecte sorgeix de la necessitat d'obtenir un model conjunt del sistema d'aigües potables i la xarxa de clavegueram d'una localitat específica. Aquest model pot tenir diferents finalitats, tals com explicar el funcionament de la xarxa conjunta, predir comportaments i aportar respostes a possibles errors del sistema, com poden ser fuites, filtracions o usos il·legítims de la xarxa, ja que si disposem d'un model prou bo (precís, que és capaç d'explicar un comportament ideal de la xarxa, amb) i del model real, aquests comportaments poden ser detectats fàcilment. Per altra banda, la relació entre els models pot semblar molt natural, ja que la sortida del sistema d'aigües potables es podria considerar l'entrada del sistema de clavegueram.

En l'entorn de l'empresa explotadora que subministra les dades no es té coneixement d'un treball que combini el funcionament dels dos sistemes. Per tant, aquest treball és molt interessant des d'un punt de vista acadèmic. Cal destacar també que partim de la hipòtesi de que la combinació dels dos models donarà respostes a situacions que, probablement, l'estudi per separat no podria donar.

Pel que fa a la possibilitat de realitzar aquest projecte, el principal motiu és la disponibilitat de les dades per part de la companyia d'aigües de Manresa, que ofereix les dades d'ambdues xarxes ja que treballa tot el cicle integral de l'aigua, i això permet tractar amb dades de tota la xarxa conjunta, mentre que altres municipis no necessàriament tracten les dades de les dues xarxes.



2 Antecedents

Tal i com s'ha comentat a l'apartat anterior, la combinació de les dues xarxes d'aigua és una acció de la que no es disposa cap mena de documentació a dia d'avui. La relació entre la xarxa de distribució d'aigua potable i la xarxa de clavegueram pot ser, en un primer cop d'ull, natural (ja que es podria considerar la sortida de la xarxa d'aigua potable com l'entrada de la xarxa de clavegueram) però no intuïtiva. Això és degut, principalment, al fet que no tota l'aigua subministrada per la xarxa d'aigua potable arriba a la sortida de la xarxa de clavegueram per diferents motius que s'explicaran al llarg d'aquest treball acadèmic. Per tant, es podria afirmar que aquest treball és una base per a la supervisió de xarxes combinades d'aigua.

Al sector actual corresponent a la gestió de xarxes d'aigua, no es té coneixement de empreses que gestionin ambdues xarxes alhora; normalment ho fan en empreses diferents, o en el cas de que la gestió la realitzi la mateixa empresa, són diferents departaments els que s'encarreguen.

3 Metodologia

Per obtenir un model de xarxa conjunta que arribi a explicar els comportaments que aquesta xarxa presenta, s'ha decidit utilitzar dos procediments diferents, explicats a continuació:

El primer procediment consistiria en realitzar un anàlisi i manipulació de les dades de xarxa conjunta, prenent de base les dades de la xarxa d'aigua potable i de la xarxa de clavegueram, esmentades anteriorment a l'apartat 1.3 (requeriments). Fent això, es pretén trobar explicació a possibles comportaments que pugui presentar la xarxa conjunta i que siguin rellevants a l'hora de definir el seu corresponent model, mitjançant balanços (és a dir, comparar els cabals i volums processats per ambdues xarxes).

Per altra banda, i prenent de base tant les dades proporcionades com el model de simulació (també esmentat a l'apartat 1.3), el segon procediment consistiria en realitzar simulacions de la xarxa conjunta, utilitzant les dades de la xarxa d'aigua potable com a entrada de simulació, i comparant la sortida d'aquesta simulació amb les dades reals de xarxa de clavegueram. A partir d'aquest procediment, si existeix una bona correlació entre les dades reals i la simulació, es podria arribar a donar per vàlid el model de xarxa emprat.

A la figura 1 es mostra un diagrama de la xarxa real a estudiar, que ajuda a entendre, principalment, quina és la causalitat del sistema i d'on s'obtenen les dades i el model de simulació utilitzats al llarg del treball:

De manera resumida, al primer procediment comentat utilitzem únicament les dades de xarxa potable i les dades de xarxa de clavegueram (prescindint del model de clavegueram). Al segon procediment, en canvi, s'utilitzen les dades d'aigua potable, el model de clavegueram i les dades de xarxa de clavegueram.

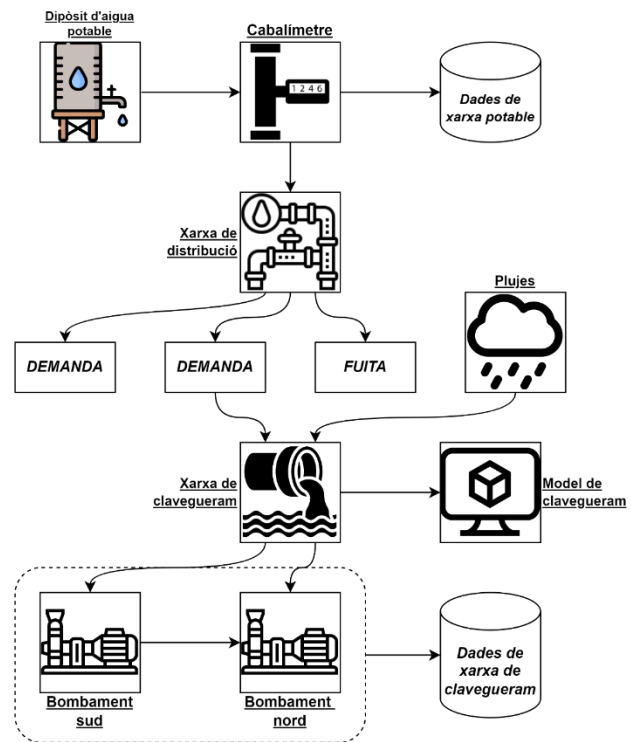


Figura 1: Diagrama de la xarxa conjunta

4 Desenvolupament de la solució

A continuació, i al llarg de tot aquest apartat que es presenta, es farà una explicació en detall de tot el procediment realitzat per arribar a la conclusió final d'aquest estudi.

El contingut del procediment descrit es pot dividir en tres apartats. Primer es definiran les bases del nostre estudi: el programari a utilitzar, les dades proporcionades, i els models emprats.

Seguidament, i utilitzant les dades proporcionades per tal de trobar el model, es realitzarà un estudi d'aquestes mateixes dades per trobar comportaments de la xarxa que es puguin tenir en compte en el model a obtenir.

Finalment, i amb la base que formen tots els resultats i conclusions dels apartats anteriors, es procedirà a trobar el model de la xarxa combinada:

4.1 Tria del software

Aquest apartat pretén descriure de manera clara quines són les eines necessàries per arribar a la conclusió final de l'estudi. Per aconseguir un model capaç de relacionar les dues xarxes d'aigua, es requereixen diferents tipus de recursos i eines. De manera resumida, les necessitats que es presenten són les següents:

- Un *software* utilitzat per modelar xarxes de clavegueram.
- El corresponent model de xarxa de clavegueram d'estudi que es pugui emprar al *software* de modelació.
- Dades característiques de la xarxa conjunta (és a dir, dades de la xarxa d'aigua potable i de la xarxa de clavegueram) que ens permetin observar i estudiar el seu comportament en un període de temps determinat, així com definir l'entrada característica de la xarxa de clavegueram.
- Un *software* amb capacitat suficient per processar les dades esmentades anteriorment. Aquest *software* s'hauria de poder utilitzar per analitzar i tractar un determinat conjunt de dades.

Com a punt extra, seria de gran ajuda que el *software* de tractament de dades i el *software* de simulació de xarxes de clavegueram fossin compatibles, per poder realitzar tot el treball en una mateixa plataforma i no haver de treballar amb diferent programari, amb la dificultat que això implica.

A banda d'aquest sumari, a continuació es farà una explicació en detall del *software* escollit (aquesta decisió ve determinada pel conjunt del model i les dades proporcionades).

4.1.1 Software per modelat de clavegueram: SWMM

El model de XAC proporcionat per realitzar aquest treball es tracta d'un model desenvolupat amb el programa **SWMM** (*Storm Water Management Model*). SWMM és un *software* desenvolupat per **EPA** (*Environmental Protection Agency*) amb la finalitat de gestionar les aigües pluvials per reduir l'escorrentia. S'utilitza arreu del món per a la planificació, anàlisi i disseny de xarxes d'aigua, principalment clavegueres sanitàries i combinades i altres sistemes de drenatge. És una opció més que bona per simular el comportament de xarxes de clavegueram, ja que permet observar el comportament d'una xarxa en un determinat temps de simulació, i pot tenir en consideració gran quantitat de variables que afecten al seu comportament (entrades d'aigua sanitària, pluges, infiltracions, pèrdues de la xarxa,

modulació d'entrades, fosa de neu acumulada, evaporació d'aigua acumulada, elements contaminants, etc.). També és molt destacable el fet de que es tracta d'un software de lliure accés.

En aquest cas, el model de xarxa de clavegueram proporcionat condiciona el software a utilitzar per realitzar aquest treball. També cal destacar que es tracta d'un programa que realitza simulacions del comportament de xarxes que treballen per gravetat (principalment xarxes de clavegueram). A banda d'aquests fets, existeixen altres alternatives per modelar xarxes d'aigua i realitzar simulacions:

Per exemple, EPANET és un *software* gratuït desenvolupat també per USEPA. En aquest cas, es tracta d'una aplicació per modelar sistemes de distribució d'aigua potable: permet analitzar sistemes, dissenyar i dimensionar estructures, adaptar infraestructures velles, optimitzar el funcionament de tancs i bombes i reduir l'energia emprada, entre altres operacions.

Per altra banda, GESTAR es tracta d'un programa utilitzat a l'enginyeria hidràulica de sistemes de reg a pressió que també permet el modelat de xarxes d'aigua, tant simples com complexes, i que disposa d'una versió gratuïta i una versió Premium amb més prestacions.

Com s'ha comentat anteriorment, ja que EPANET i GESTAR treballen amb models a pressió (models característics de les xarxes d'aigua potable i de reg, per exemple), aquests paquets de software no son compatibles amb el cas d'estudi presentat en aquest treball.

4.1.2 Software per manipulació de dades: Python

Tal i com es podrà comprovar de manera més detallada als apartats 4.2 i 4.4, les dades de la xarxa conjunta proporcionades es tracten d'un arxiu de full de càlcul de Microsoft Excel (amb extensió *.xlsx*). Per al correcte desenvolupament d'aquest treball, les dades s'exportaran a un arxiu CSV (*Comma Separated Values*) i es tractaran amb un llenguatge de programació concret. Aquesta elecció ve determinada per les llibreries que fan que SWMM sigui compatible amb certs llenguatges de programació. En concret, existeixen dos llibreries principals, anomenades **PySWMM** (McDonnell, Ratliff, Tryby, Jia Xin Wu, & Mullapudi, 2020) i **swmmr** (Leutnant, Döring, & Uhl, 2019):

PySWMM és un paquet de *software* que permet la manipulació de models de SWMM mitjançant el llenguatge de programació *Python*. També es poden realitzar simulacions, aplicar lleis de control al llarg del procés de simulació, obtenir dades en plena simulació i treballar també amb el fitxer de sortida binari SWMM (estudiar sèries temporals, per exemple).

Per altra banda, **swmmr** és un paquet de *software* dissenyat per operar amb models de SWMM a partir del llenguatge *R*, de manera similar al PySWMM.

A l'hora d'escollir quina de les dues plataformes de software és millor per al correcte desenvolupament d'aquest estudi, s'han tingut en compte dos característiques principals:

- Es considera que la quantitat de gent que treballa amb Python és superior a la quantitat de gent que treballa amb R i que, per tant, la comunitat de Python és més dedicada i disposa de més presència a Internet. És a dir, davant la presència de dubtes o problemes que es puguin presentar al llarg del desenvolupament d'aquest treball és més probable trobar solució si es decideix treballar amb Python.

- Mentre que els autors de **swmmr** van centrar el seu programa en el calibratge de models de SWMM (mitjançant la generació d'un arxiu *.inp que duplica el model, afegint redundància), **PySWMM** opera sobre el mateix arxiu *.inp, permetent a Pythonic accedir directament al model SWMM i realitzant modificacions del mateix model durant la simulació (McDonnell, Ratliff, Tryby, Jia Xin Wu, & Mullanpudi, 2020). Per tant, el control que ofereix **PySWMM** sobre el model de SWMM és superior al que ofereix **swmmr**, i això el fa millor dins d'aquest contexte.

Per tant, i amb aquestes característiques esmentades, s'ha pres la decisió de utilitzar Python com a llenguatge de programació, i com a plataforma de treball per a la realització d'aquest estudi.

Ara bé, hem de disposar també d'una llibreria amb aquesta capacitat de tractament de dades.

Una de les principals llibreries de Python que disposa de la capacitat per analitzar, manipular i representar conjunts de dades és **Pandas**: es tracta d'una eina caracteritzada per treballar amb estructures de dades anomenades **DataFrames** (DF) i **Series**. Els *DataFrames* es podrien entendre com a taules amb valors, mentre que els Series es podrien considerar com a sèries de dades. Ja que aquesta es presenta com la eina més potent i desenvolupada per al tractament de dades, la opció per portar a terme aquesta feina es realitzarà mitjançant Pandas.

4.2 Cas d'estudi

En aquesta secció del treball es presenta el cas concret d'estudi, així com el model de xarxa i les dades de xarxa conjunta proporcionades.

4.2.1 Els Condals

4.2.1.1 Situació geogràfica

La XAC i les DdXC emprades en aquest projecte son representatives del territori de Els Condals: es tracta d'un barri situat a la zona exterior de Manresa. Es troba situat a aproximadament 5 km al sud del centre de la ciutat:

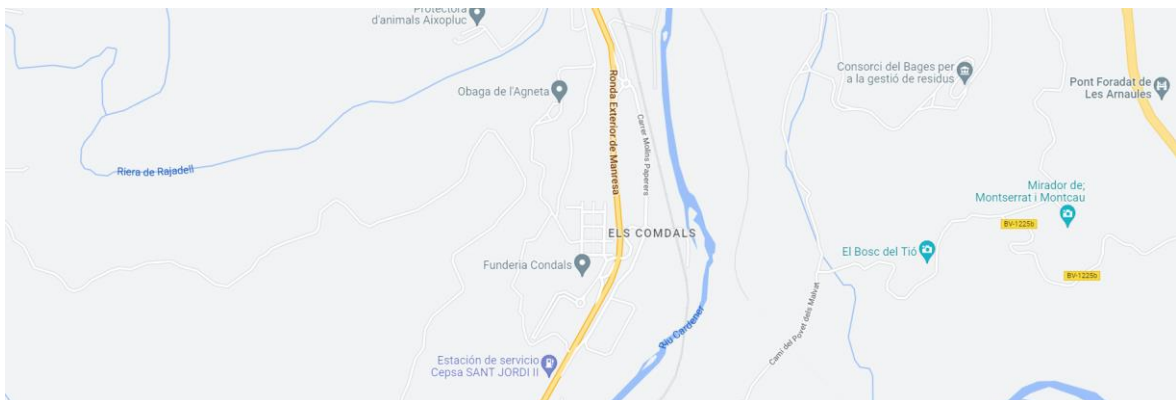


Figura 2: Mapa de Els Condals (Manresa)

4.2.1.2 Xarxa d'aigua conjunta

Els Condals disposa d'una xarxa d'aigua conjunta, formada per la xarxa d'aigua potable (XAP) i la xarxa d'aigua de clavegueram (XAC). A la figura 3 es pot observar de manera gràfica la XAP, mentre que a la figura 4 es pot apreciar la XAC de la localitat:

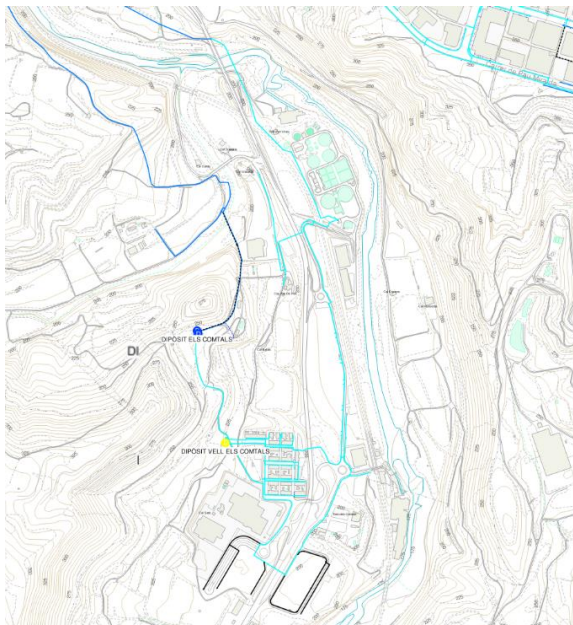


Figura 3: Xarxa d'aigua potable

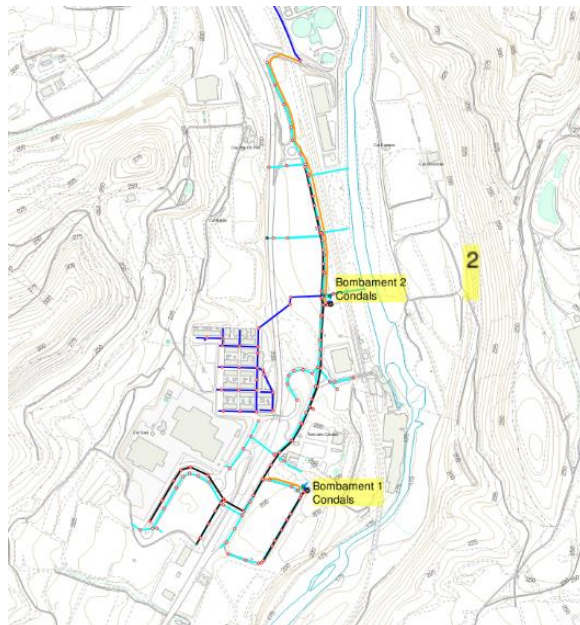


Figura 4: Xarxa de clavegueram

El sistema de clavegueram compta amb dos dipòsits i dos sistemes de bombes, instal·lats a les zones nord i sud del barri (sistema de dipòsit i 2 bombes a la zona sud i sistema de dipòsit i 2 bombes a la zona nord). Les 2 bombes de la zona sud corresponen al model FLYGT CP 3102 MT, i es troben instal·lades en estructura 1+1 (només funciona una alhora). En canvi, les 2 bombes de la zona nord són del model SULZER XFP 81 E-VX, també en estructura 1+1. Per a més informació de les bombes i els dipòsits, consulteu els annexos A, B (corbes de funcionament de les bombes), C i D (dimensions dels dipòsits).

La XAC recull l'aigua i l'envia cap a un dels dos dipòsits per acció de la gravetat. Quan els dipòsits s'omplen, les bombes s'activen i els dipòsits es comencen a buidar fins que el nivell arribi just per sobre de les bombes. El bombament de la zona sud envia l'aigua cap al sistema de la zona nord (és a dir, la zona nord realitza el bombament de l'aigua de la zona nord més l'aigua provinent del sistema de bombament sud). Cal destacar que hi ha tres escomeses d'aigua, inclosa la de l'estació depuradora d'aigües residuals, que no estan connectades en aquest sector de clavegueram, i que el seu consum representa el 5,95% del total del sector; és a dir, hi ha un consum d'aigua potable que es té en consideració en aquest treball (ja que es veu reflectit a les dades de consum d'aigua sanitària), encara que el seu impacte no es veurà reflectit a les dades de cabal impulsat pels bombaments de la XAC.

4.2.2 Xarxa proporcionada

Per poder realitzar aquest treball, un model de la XAC de Els Condals, desenvolupat en SWMM, ha sigut proporcionat (vegeu la figura 5) per la companyia. Aquest model representatiu de la xarxa compta amb les següents característiques:

- 174 *nodes*, dels quals:
 - 2 són dipòsits.
 - 24 disposen de cabal d'entrada en temps sec o *Dry Weather Inflow* (DWI, es detalla més endavant) diferent de 0.
- 169 *links*, dels quals 2 són bombes.
- 1 *rain gage*, que es pot utilitzar com a entrada de simulació de dades de pluja.

Aquest model de simulació té incorporats i ben definits tant els dipòsits com les bombes, de tal manera que es comporten com els seus corresponents reals:

Al model, les bombes comencen a funcionar quan l'alçada d'aigua a l'entrada supera un llindar (0.8m per la bomba sud i 1m per la bomba nord) i deixen de bombar quan l'aigua del dipòsit disminueix a certa alçada (0.1m per la bomba sud i 0.2m per la bomba nord).

Per altra banda, els nodes amb DWI definit es troben marcats amb color vermell (vegeu figura 5). Aquests DWI representen els consums d'aigua sanitària més importants de la xarxa d'aigua, i es troben normalitzats (és a dir, la suma de tots els valors promig de cabal d'entrada és igual a 1). Aquests DWI també es troben sota l'efecte d'un *time patern* de caràcter horari i anomenat *CONDALS*, de tal manera que el valor promig de cabal de cada node es multiplica cada hora per un factor definit a aquesta corba. Cal destacar que aquesta corba és aliena al nostre cas (aquesta corba ha sigut proporcionada per Aigües de Manresa d'acord amb els patrons de consum del barri) i que, per tant, prescindirem d'ella.

Per altra banda, el paquet de Python que integra models de SWMM, el PySWMM, disposa d'una limitació: no es pot accedir de manera directa a les dades de DWI dels models, però sí que es pot accedir, per exemple, al cabal que pateix un node en un moment determinat de la simulació. Es pot definir un inflow per a qualsevol node dins del procés de simulació tot i que, en cas de fer-ho, aquest inflow definit s'afegiria als DWI existents del model, i per tant no s'obtidria l'experiment desitjat. Ja que és necessari saber els DWI de cada node per realitzar una simulació vàlida, es requeriran dos models diferents: un model, l'original, d'on es llegiran els valors de DWI en una simulació de curta durada, i un altre model o els DWI estiguin deshabilitats per utilitzar els *inflows* definibles pel PySWMM com si fossin els inflows originals del model. Per tant, per al correcte desenvolupament del treball, i tenint en compte el fet anterior, s'utilitzaran dos models diferents per simular: un model anomenat

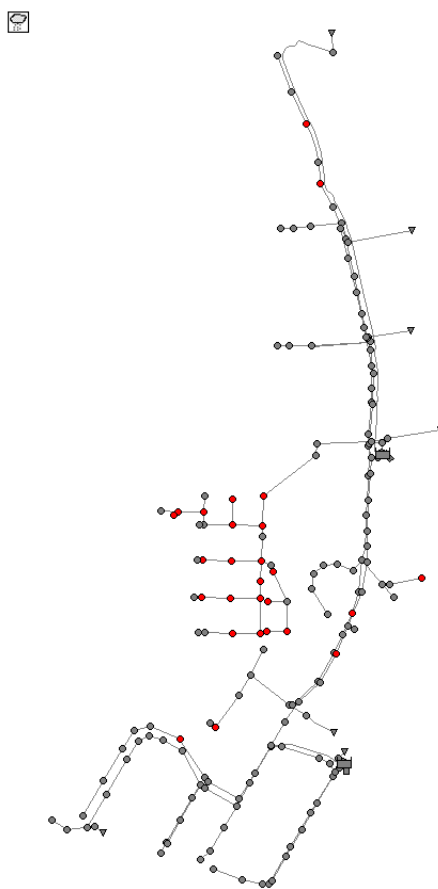


Figura 5: model de Els Condals

els_condals_residuals_v2_ceros.inp, on el *time patern* característic dels DWI es defineix constant a 0, i un altre model *els_condals_residuals_v2_unos.inp*, on el *time patern* es defineix constant a 1 (vegeu l'apartat 4.5 per a més informació).

4.2.3 Dades proporcionades

Es disposa d'un arxiu amb dades que descriuen característiques de la xarxa d'aigua de Els Condals. Concretament, defineixen el comportament dels elements més importants de la xarxa al llarg de l'any 2021 (des de l'1 de gener a les 00:00 fins al 31 de desembre a les 23:55, amb un període de mostreig de 5 minuts). Aquest arxiu s'anomena *CONDALS.x/sx* (en un llibre de càlcul de Microsoft Excel), i el seu contingut es mostra a continuació:

	A	B	C	D	E
1	DATA	IMP RESIDUAL SUD m3/h	IMP RESIDUAL NORD m3/h	CABAL AIGUA SUBMINISTRAT m3/h	INTENSITAT PLUJA (l/m2)
2	01/01/2021 0:00	0.0	0.0	3.0	0.0
3	01/01/2021 0:05	0.0	0.0	2.0	0.0
4	01/01/2021 0:10	0.0	0.0	3.0	0.0
5	01/01/2021 0:15	0.0	0.0	1.0	0.0
6	01/01/2021 0:20	0.0	0.0	2.0	0.0
7	01/01/2021 0:25	0.0	0.0	2.0	0.0
8	01/01/2021 0:30	0.0	0.0	1.0	0.0
9	01/01/2021 0:35	0.0	0.0	2.0	0.0
10	01/01/2021 0:40	0.0	30.5	1.0	0.0
11	01/01/2021 0:45	0.0	0.0	1.0	0.0
12	01/01/2021 0:50	0.0	0.0	3.0	0.0
13	01/01/2021 0:55	0.0	46.1	2.0	0.0
14	01/01/2021 1:00	0.0	0.0	2.0	0.0
15	01/01/2021 1:05	0.0	0.0	2.0	0.0

Figura 6: Conjunt de dades original

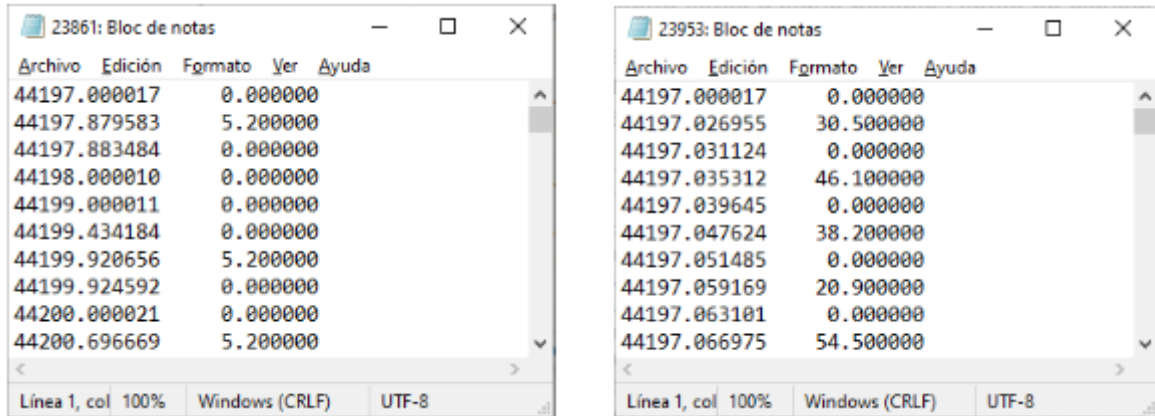
Tal i com es pot comprovar, les dades són de caràcter temporal (es troben lligades a una data i hora concretes). El significat de cadascuna de les columnes és el següent:

- **DATA:** dia, mes, any, hora i minut corresponent a la dada. Es pot observar que la freqüència de mostreig d'aquestes dades és de 5 minuts.
- **IMP RESIDUAL SUD m3/h:** cabal, en metres cúbics per hora, impulsat pel bombament sud de la xarxa de clavegueram (vegeu la figura 6). Si el valor és un 0, vol dir que la bomba està desactivada.
- **IMP RESIDUAL NORD m3/h:** cabal, en metres cúbics per hora, impulsat pel bombament nord de la xarxa de clavegueram (vegeu la figura 6). Si el valor és un 0, vol dir que la bomba està desactivada.
- **CABAL AIGUA SUBMINISTRAT m3/h:** cabal d'aigua, en metres cúbics per hora, subministrat pel dipòsit d'aigua potable de Els Condals (vegeu la figura 6).
- **INTENSITAT PLUJA (l/m2):** intensitat de la pluja, en litres per metre quadrat, a Els Condals.

De manera resumida, es podria dir que les dades representen 4 valors característics de la xarxa d'aigua de Els Condals al llarg de l'any, mostrejats cada 5 minuts, que ajuden a definir el model de relació entre xarxa d'aigua potable i xarxa de clavegueram d'aquesta zona.

4.2.3.1 Origen de les dades

Les dades d'impuls residual han sigut tractades prèviament per poder ser representades cada 5 minuts en aquest arxiu. Les dades originals d'impuls residual sud i nord es poden trobar, respectivament, als arxius anomenats 23861.txt i 23953.txt. Aquestes dades presenten la següent forma:



23861: Bloc de notes	23953: Bloc de notes
Archivo Edición Formato Ver Ayuda	Archivo Edición Formato Ver Ayuda
44197.000017 0.000000	44197.000017 0.000000
44197.879583 5.200000	44197.026955 30.500000
44197.883484 0.000000	44197.031124 0.000000
44198.000010 0.000000	44197.035312 46.100000
44199.000011 0.000000	44197.039645 0.000000
44199.434184 0.000000	44197.047624 38.200000
44199.920656 5.200000	44197.051485 0.000000
44199.924592 0.000000	44197.059169 20.900000
44200.000021 0.000000	44197.063101 0.000000
44200.696669 5.200000	44197.066975 54.500000

Figura 7: Dades dels bombaments sud (esquerra) i nord (dreta)

Les columnes del set de dades representen el següent:

- 1^a columna: data i hora corresponent a la dada, en el sistema de dates 1900 (és a dir, quantitat de dies transcorreguts des de l'1 de gener de 1900).
- 2^a columna: cabal bombat corresponent a la dada, en metres cúbics per hora.

Cal destacar que aquestes dades dels bombaments no es representen amb una freqüència fixa: s'ha realitzat una lectura cada cop que la comanda de cabal impulsat ha canviat (a la figura 7 es pot veure com la dada de cabal va alternant entre diferents valors i 0).

S'ha realitzat un estudi d'aquestes dades originals, del qual s'han extret diferents conclusions:

- Les bombes, un cop activades, funcionen durant 5 minuts i després aturen el seu funcionament.
- El valor que prenen les dades sembla ser força constant:
 - Pel que fa al bombament sud, cada cop que s'activa la bomba sembla fixar una comanda promig de 6.74 m³/h i una moda de 5.2 m³/h, i el temps de funcionament per bombament és molt constant al voltant de 330 segons.
 - Pel que fa al bombament nord, cada cop que s'activa la bomba sembla fixar una comanda constant promig de 39.2 m³/h i una moda de 34.6 m³/h, i el temps de funcionament del bombament és molt constant al voltant de 330 segons.

4.3 USEPA SWMM

A continuació es profunditza en l'entorn de desenvolupament de models de xarxa de clavegueram SWMM, posant especial èmfasi en els conceptes principals que utilitzarem en aquest projecte.

4.3.1 Característiques

Es presenten algunes de les característiques més rellevants de SWMM per al desenvolupament d'aquest treball:

- Aquest software, tal i com s'ha comentat anteriorment, disposa de llibreries en alguns llenguatges de programació (com R i Python) que permeten executar

simulacions i modificar paràmetres, ja que aquestes simulacions es poden executar pas a pas.

4.3.2 Conceptes

Els elements i els conceptes més importants del programa que s'utilitzaran en aquest projecte, i dels quals es considera de gran ajuda la seva explicació per a la correcta comprensió d'aquest, són els següents:

4.3.2.1 Nodes

Són un dels elements principals que componen les xarxes dins de SWMM. Es representen com punts al programa, i es podrien considerar com a possibles punts d'entrada d'aigua, ja siguin entrades predites (com un cabal constant d'entrada conegut, per exemple) o entrades incertes (les degudes a pluja, per exemple). Entre les característiques principals dels nodes, podem trobar la *invert elevation* o elevació invertida (una mesura de la cota del node) i l'*inflow* (mesura del cabal d'entrada al node).

Dins de la família dels nodes, podem trobar els **dipòsits**, que es podrien definir com un tipus de node amb la capacitat d'emmagatzemar aigua. Les dimensions dels dipòsits són parametrizables en gran mesura.

4.3.2.2 Dry Weather Inflow (DWI)

Aquest concepte entra a la categoria de tipus de *external inflows* que pot contemplar un *node* (existeixen altres categories, com *Direct Inflows (DI)* i *Rainfall-Dependent Infiltration/Inflow (RDII)*, que en aquest cas d'estudi no s'utilitzen). Tal i com el seu nom indica, es tracta d'entrada d'aigua en temps sec. Un exemple d'això és el consum domèstic d'aigua que va a parar a la xarxa de clavegueram o, en aquest cas particular, la sortida de la xarxa d'aigua potable (que és alhora l'entrada de la xarxa de clavegueram).

Cal destacar que els DWI es poden multiplicar per **time patterns** quan es vol simular una entrada variable en el temps. Aquests *time patterns* poden ser horaris, diaris, setmanals i mensuals.

4.3.2.3 Links

Són elements que representen les canonades d'un sistema d'aigua. Els *nodes* d'una xarxa de SWMM es connecten entre ells a través de *links*.

Dins de la família dels *links* trobem les **pumps** o bombes, que s'utilitzen per portar l'aigua (en aquest cas dels dipòsits) a alçades superiors. Les bombes defineixen el seu comportament a través de les corbes de funcionament (per aquest cas d'estudi, vegeu els annexos A i B).

4.3.2.4 Rain Gage

Els *rain gage* són elements que s'utilitzen a SWMM per simular pluges al model (cal recordar que SWMM és un programa pensat pel dimensionat de xarxes de clavegueram, i la precipitació és un dels grans motius d'estrès de la xarxa). Per tant s'ha de tenir en compte que disposem d'una eina dins de l'entorn del SWMM que ens permet simular comportaments referents a la pluja.

4.4 Tractament de dades

El conjunt de dades presentat a l'apartat 4.2.3 ha de ser analitzat i tractat per dos motius principals:

- Les dades han de ser acomodades per poder utilitzar-les com a dades d'entrada del model de SWMM en un futur.
- Es considera adient realitzar una representació de diferents situacions amb la finalitat de trobar comportaments de la xarxa parametrizables i/o simulables al model de xarxa de clavegueram.

En aquest apartat es realitzarà el sumari de tot el procediment per analitzar i tractar les dades: a la secció 4.4.1 s'explica tots els passos relacionats amb l'anàlisi preliminar de les dades (comprensió de dades, estadístics descriptius i identificació d'anomalies). Seguidament, a la secció 4.4.2, es realitza el corresponent tractament de dades (adaptació de tipus de dades, càlcul de paràmetres addicionals i separació en diferents sets de dades). Finalment, a l'apartat 4.4.3 es posen en comú diferents representacions de les dades degudament tractades, que ajudaran a definir comportaments de la xarxa interessant/importants per al desenvolupament d'aquest projecte.

4.4.1 Anàlisi exploratori

El primer que s'ha de fer és carregar el set de dades (en format .csv) a l'espai de treball de Python i visualitzar el set de dades:

	DATA	CABAL SUD (m3/h)	CABAL NORD (m3/h)	CABAL DIPOSIT (m3/h)	PLUJA (l/m2)
0	01/01/2021 0:00	0.0	0.0	3.0	0.0
1	01/01/2021 0:05	0.0	0.0	2.0	0.0
2	01/01/2021 0:10	0.0	0.0	3.0	0.0
3	01/01/2021 0:15	0.0	0.0	1.0	0.0
4	01/01/2021 0:20	0.0	0.0	2.0	0.0
...
105115	31/12/2021 23:35	0.0	0.0	2.0	0.0
105116	31/12/2021 23:40	0.0	0.0	2.0	0.0
105117	31/12/2021 23:45	0.0	0.0	2.0	0.0
105118	31/12/2021 23:50	0.0	0.0	2.0	0.0
105119	31/12/2021 23:55	0.0	0.0	4.0	0.0

Figura 8: DataFrame amb les dades inicials

El primer que es pot observar són totes les dades comentades a l'apartat 4.2.3. Disposem d'una mesura temporal (DATA) amb un període de 5 minuts, les dades d'impuls dels dos bombaments de la xarxa de clavegueram (CABAL SUD (m3/h) i CABAL NORD (m3/h)), les dades de cabal subministrat per la xarxa d'aigua sanitària (CABAL DIPOSIT (m3/h)) i una mesura de les precipitacions al llarg de tot l'any 2021 (PLUJA (l/m2)).

Per comprendre millor les dades, i com les entén l'espai de treball Python, mostrem el tipus de dades de cada columna a la figura adjunta (figura 9): es pot comprovar que totes les

dades han sigut tractades com a tipus numèric *float* de 64 bits, menys la columna DATA, que la ha tractat com a tipus *object* (concretament la tracta com a dades *string* o cadena de text). A l'apartat següent modificarem alguns tipus de dades per treballar de manera més àgil amb el conjunt de dades (vegeu la secció 4.4.2).

```
DATA                object
CABAL SUD (m3/h)   float64
CABAL NORD (m3/h)  float64
CABAL DIPOSIT (m3/h) float64
PLUJA (l/m2)       float64
dtype: object
```

Figura 9: Tipus de dades del DataFrame original

A continuació, utilitzem Python per mostrar per pantalla alguns estadístics descriptius del conjunt de dades:

	CABAL SUD (m3/h)	CABAL NORD (m3/h)	CABAL DIPOSIT (m3/h)	PLUJA (l/m2)
count	105120.000000	105120.000000	105120.000000	105120.000000
mean	0.059396	5.837444	7.777036	0.083007
std	0.608273	14.253726	4.518041	5.934519
min	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
25%	0.000000	0.000000	4.000000	0.000000
50%	0.000000	0.000000	7.000000	0.000000
75%	0.000000	0.000000	11.000000	0.000000
max	51.400000	163.600000	58.000000	1828.800000

Figura 10: Estadístics descriptius del DataFrame original

Aquesta comanda de Python mostra, per ordre: la quantitat de dades (105120 dades en tots els casos), la mitjana de les dades, la desviació estàndard, el valor mínim, els percentils 25, 50 i 75, i finalment el valor màxim.

Les primeres conclusions que es poden extrapolar del set de dades són les següents:

- Pel que fa a les dades de bombament de les zones sud i nord, com a mínim el 75% de les dades són nul·les. Això vol dir que les bombes operen com a màxim el 25% del temps.
- El valor màxim de les dades de pluja és una dada anòmla. A la següent secció (4.4.2) es procedirà a la seva correcció.

Per entendre de manera més clara les dades de bombament de clavegueram, s'exclouen les dades iguals a 0 de cadascuna de les columnes i es tornen a calcular els seus corresponents estadístics descriptius. Al fer això, es pot comprovar el següent:

- La bomba de la zona sud s'activa un total de 1107 cops durant tot l'any, mentre que la bomba de la zona nord s'activa 16877 cops.
- Els cabals que produeixen les bombes sud i nord cada cop que s'activen es troben molt concentrades al voltant dels 5.64 m³/h i dels 36.35 m³/h, respectivament.

4.4.2 Manipulació de dades

Un cop disposem del set de dades correctament carregat a l'espai de treball de Python es procedeix al tractament d'aquestes dades. Abans que res, es tracten les anomalies trobades (la dada de pluja exagerada).

Seguidament, i amb la finalitat de treballar amb el conjunt de dades de manera més àgil, es procedeix a modificar els tipus de dades necessaris. Concretament, la columna de dades DATA (que es troba guardada com a tipus *string*) s'hauria d'adaptar al tipus de dades *datetime*, que serveix per expressar dates i dades de caràcter temporal (es tracta d'un tipus de dades que utilitza Python).

L'objectiu final d'aquesta secció és separar els conjunts de dades en subconjunts, que es definiran en funció de comportaments que puguin definir funcionaments alternatius de la xarxa conjunta. Un exemple molt clar d'aquest fet és la meteorologia present: no és el mateix el comportament de la xarxa conjunta en un dia sec que el comportament de la mateixa xarxa en un dia amb moltes precipitacions, on les bombes treballaran amb més freqüència que al cas sense pluja degut a l'increment de cabal present a la xarxa de clavegueram.

Un altre exemple de comportaments alternatius el causa el comportament humà per diferents motius. Un cas particular és el cas del sector industrial present al barri de Els Condals que, com ja s'ha comentat abans, suposa una gran influència en el comportament del sistema d'aigües. En resum, es pot deduir que la xarxa conjunta no presentarà el mateix comportament un dia laborable que un dia festiu.

Amb la finalitat de tenir en compte tots aquests possibles comportaments, s'ha decidit separar el conjunt de dades principals en els diferents subconjunts derivats de l'original, tal i com mostra la taula següent:

Taula 1: Diferents DataFrames proposats a partir de l'original

DATAFRAME ORIGINAL				
		SEGONS DIA DE LA SETMANA		
		<i>Laborables</i>	<i>Dissabtes</i>	<i>Diumenges/Festius</i>
SEGONS METEOROLOGIA	<i>Sec</i>	DataFrame amb dies laborables secs	DataFrame amb dissabtes secs	DataFrame amb diumenges/festius secs
	<i>Pluja</i>	DataFrame amb laborables i pluja	DataFrame amb dissabtes i pluja	DataFrame amb diumenges/festius i plujes

Per tenir la possibilitat de trobar els diferents subconjunts disposats anteriorment, s'han de definir noves columnes al *DataFrame* original:

- Primer s'hauria de substituir la columna DATA per dues noves columnes, que podrien ser anomenades DIA i HORA, i representarien precisament aquests conceptes.

- Un altre tema és trobar una columna de dades booleanes que descriu si al llarg del dia es presenten dades de pluja positives, amb la qual cosa es consideraria que aquesta data correspon a un dia de pluja. Aquesta nova columna s'anomenarà "PLUJA"
- Per altra banda, cal definir una llista de dies festius al llarg de tot l'any per tractar-los de manera diferent als dies laborables i als dissabtes. Aquesta nova columna tornarà a tractar amb dades booleanes, que seran TRUE quan el dia sigui festiu i FALSE quan no ho sigui.
- Finalment, cal definir una columna que indiqui el número del dia dins de la setmana del 0 al 6, on 0 és dilluns i 6 és diumenge).

Un cop processat el *DataFrame* per calcular aquestes noves columnes, el resultat és el següent:

	DATA	CABAL SUD (m3/h)	CABAL NORD (m3/h)	CABAL DIPOSIT (m3/h)	PLUJA (l/m2)	DIA	HORA	PLUJA	FESTIU	WEEKDAY
0	2021-01-01 00:00:00	0.0	0.0	3.0	0.0	2021-01-01	00:00:00	False	True	4
1	2021-01-01 00:05:00	0.0	0.0	2.0	0.0	2021-01-01	00:05:00	False	True	4
2	2021-01-01 00:10:00	0.0	0.0	3.0	0.0	2021-01-01	00:10:00	False	True	4
3	2021-01-01 00:15:00	0.0	0.0	1.0	0.0	2021-01-01	00:15:00	False	True	4
4	2021-01-01 00:20:00	0.0	0.0	2.0	0.0	2021-01-01	00:20:00	False	True	4
...
105115	2021-12-31 23:35:00	0.0	0.0	2.0	0.0	2021-12-31	23:35:00	False	False	4
105116	2021-12-31 23:40:00	0.0	0.0	2.0	0.0	2021-12-31	23:40:00	False	False	4
105117	2021-12-31 23:45:00	0.0	0.0	2.0	0.0	2021-12-31	23:45:00	False	False	4
105118	2021-12-31 23:50:00	0.0	0.0	2.0	0.0	2021-12-31	23:50:00	False	False	4
105119	2021-12-31 23:55:00	0.0	0.0	4.0	0.0	2021-12-31	23:55:00	False	False	4

Figura 11: DataFrame amb columnes afegides

A partir d'aquestes noves columnes, i utilitzant les comandes de Python adients, es procedeix a trobar els subconjunts de dades característics (que també s'emmagatzemaran en forma de *DataFrame*):

Després de processar el conjunt de dades principal per trobar els 6 subconjunts, cadascun d'aquests es reorganitza de tal manera que l'índex el formi la columna 'DIA' i les columnes estiguin organitzades segons la columna 'HORA', de tal manera que, donats un dia i una hora concretes, es pugui trobar el valor que correspon a aquestes dades. A continuació (figura 12), es mostra el resultat per al cas particular de les dades de cabal impulsat (aigua sanitària) per als dies secs laborables:

CABAL DIPOSIT (m3/h)														
HORA	00:00:00	00:05:00	00:10:00	00:15:00	00:20:00	00:25:00	00:30:00	00:35:00	00:40:00	00:45:00	...	23:10:00	23:15:00	23:20:00
DIA														
2021-01-04	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	2.000000	0.000000	...	2.000000	4.000000	3.00
2021-01-05	4.000000	4.000000	1.000000	1.000000	6.000000	5.000000	5.000000	5.000000	4.000000	5.000000	...	1.000000	0.000000	0.00
2021-01-07	0.000000	0.000000	0.000000	3.000000	2.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	1.000000	...	4.000000	14.000000	2.00
2021-01-08	11.000000	11.000000	4.000000	2.000000	10.000000	3.000000	3.000000	1.000000	15.000000	11.000000	...	1.000000	1.000000	9.00
2021-01-11	11.000000	11.000000	10.000000	11.000000	11.000000	11.000000	11.000000	10.000000	10.000000	10.000000	...	9.000000	11.000000	0.00
...
2021-12-28	4.000000	5.000000	5.000000	5.000000	5.000000	5.000000	6.000000	8.000000	8.000000	5.000000	...	4.000000	3.000000	5.00
2021-12-29	6.000000	5.000000	4.000000	4.000000	3.000000	3.000000	6.000000	4.000000	3.000000	3.000000	...	3.000000	5.000000	5.00
2021-12-30	2.000000	2.000000	0.000000	0.000000	2.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	...	1.000000	3.000000	5.00
2021-12-31	5.000000	6.000000	6.000000	2.000000	2.000000	2.000000	1.000000	4.000000	3.000000	1.000000	...	9.000000	9.000000	2.00
PROMIG	6.561321	6.429245	5.882075	5.834906	6.468981	6.617925	6.820755	6.146226	6.358491	5.867925	...	6.325472	6.542463	6.25

Figura 12: Exemple de subconjunt per a dies laborables secs

Una manera d'entendre el comportament de la xarxa conjunta per a cadascun dels casos diferenciats és trobar el comportament mitjà de cada cas. Per fer-ho, a cada subconjunt de dades es calcula la mitjana de cada hora al llarg de tots els dies que formen el mate subconjunt. Per a millor comprensió d'aquest procediment, vegeu la última fila de la figura 12 (on aquesta mitjana ja es troba calculada).

4.4.3 Representacions

En el present apartat, es farà primer una descripció general de la xarxa conjunta prenent com a base les dades i les seves representacions. Després es farà èmfasi en conceptes, com les pèrdues de la xarxa d'aigua potable i el comportament industrial de Els Condals. Finalment, es calcularà el comportament de la xarxa conjunta eliminant els elements essentats (les pèrdues i el comportament industrial).

4.4.3.1 Característiques generals de la xarxa conjunta.

A continuació es mostren diferents representacions de tot el conjunt de dades que ajuden a entendre millor el comportament de la xarxa.

Aquesta part del treball comença amb una representació del volum acumulat processat per les dues xarxes, la qual es mostra a continuació:

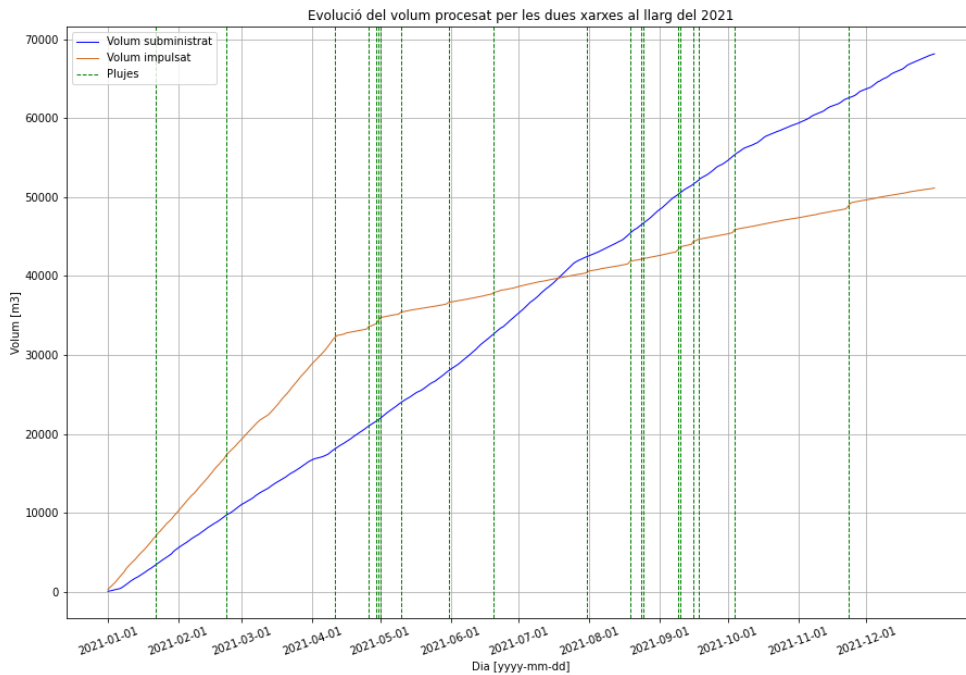


Figura 13: Evolució del volum processat per les dues xarxes

Tal i com es pot observar, es troben representats el volum subministrat processat (blau), el volum impulsat processat (marró) i els dies de pluja en forma de línies verticals discontinues (verd).

Pel que fa al volum subministrat, es poden diferenciar tres fases: una primera on el pendent és pràcticament constant i que va de gener a juny, una segona fase on el pendent incrementa des de juny fins setembre, i una tercera fase on el pendent torna al seu nivell original fins desembre.

Per altra banda, destaca el canvi de comportament al mes d'abril per part de la xarxa de clavegueram: per una banda, abans de l'abril, el volum processat per la XAC és superior al processat per la XAP (la qual cosa sembla una anomalia). A partir del mes d'abril, el pendent del volum processat per la XAC s'atenua, presentant un comportament més lògic. També es poden diferenciar punts de la corba on el volum impulsat presenta pujades sobtades, i aquestes pujades corresponen als dies de pluja més significatius (cal destacar que s'ha prescindit dels dies amb poca pluja).

Tornant a la part del canvi de comportament, es procedeix a analitzar la quantitat de bombaments de cada dia al llarg de l'any 2021, per comprovar si aquest canvi pot ser degut a un error a la obtenció de dades. A continuació es mostra la representació de la quantitat de bombaments al llarg de l'any 2021:

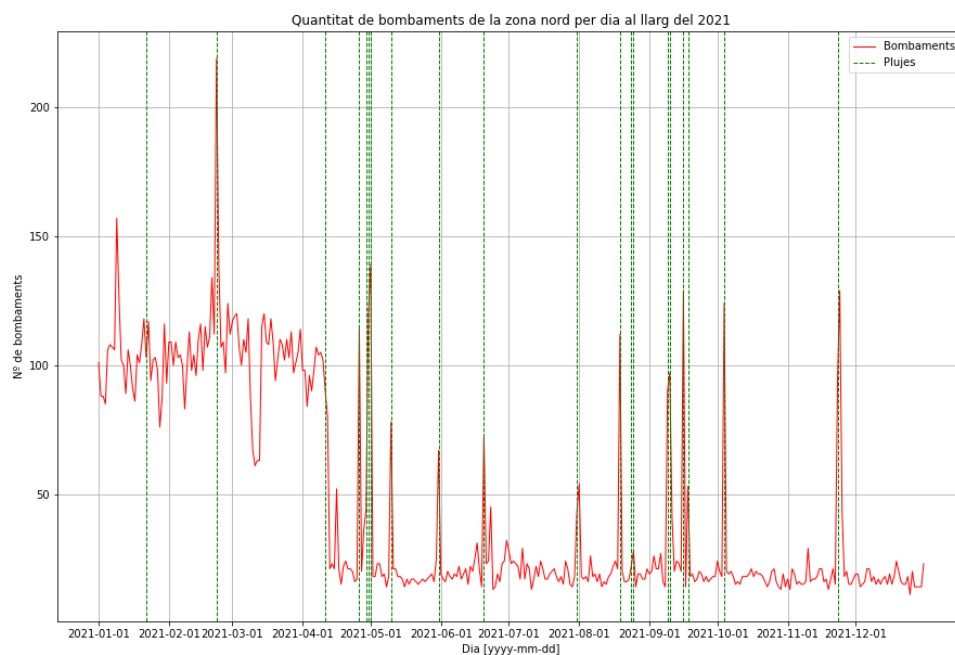


Figura 14: Quantitat de bombaments per dia

Tal i com es pot comprovar, la quantitat de bombaments es troba al voltant dels 100 diaris abans del mes d'abril, i aquesta dada baixa dràsticament a partir d'aquest mes, trobant-se al voltant dels 25 bombaments diaris i mostrant pics els dies de pluja (comportament lògic, ja que la pluja suposa un gran increment en el volum entrant a la XAC). Aquest canvi de comportament observable podria ser degut a algun tipus d'aportació que es va portar a terme fins al mes d'abril ja que, després de parlar amb la companyia d'aigües, s'ha descartat que aquest canvi de comportament sigui conseqüència d'alguna mena de canvi o reparació dels sensors i/o les impulsions.

Tornant al gràfic principal dels volums acumulats, es pot representar el volum processat cada dia per ambdues xarxes al llarg de 2021:

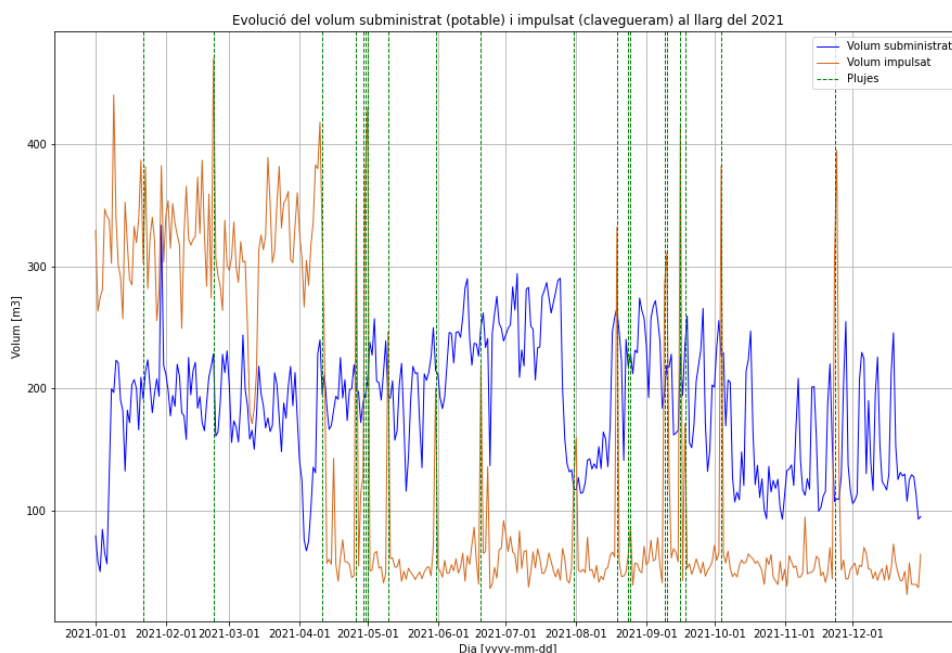


Figura 15: Evolució del cabal subministrat i impulsat per les xarxes

El comportament de la XC ja ha sigut comentat anteriorment: presenta un canvi de comportament al mes d'abril i pics de procés els dies de més pluja. Pel que fa al volum subministrat, es poden apreciar tres depressions de la corba. Tal i com s'ha comentat en apartats anteriors, un dels grans consumidors presents a la xarxa d'aigua subministrada pel dipòsit és el sector industrial present a Els Condals. Aquestes tres depressions semblen representar la primera setmana de gener (i darrera setmana de desembre), setmana santa a començaments d'abril i el mes d'agost (unes 3 setmanes): es tracten de 3 conjunts de dates on, molt probablement, la indústria es trobava parada i el consum de la xarxa es va veure reduït enormement. Precisament, més tard s'utilitzarà aquesta característica de la xarxa per obtenir el comportament industrial present a Els Condals.

4.4.3.2 Pèrdues de la xarxa d'aigua potable: Minimum Night Flow

Un dels comportaments característics de la xarxa d'aigua potable més interessants és el comportament de les pèrdues. Qualsevol xarxa d'aigua disposa de pèrdues, i el càlcul d'aquestes resulta ser de gran importància a l'hora de definir el comportament d'aquesta xarxa. Existeixen principalment dos tipus de pèrdues, les quals són:

- Pèrdues puntuals: són fàcils de detectar ja que suposen grans pèrdues per la xarxa d'aigua sanitària (com per exemple el trencament d'una canonada).
- Pèrdues difuses: representen pèrdues difícils de detectar, i la seva reparació no és eficient en termes econòmics (com per exemple infiltracions).

Una de les maneres de calcular les pèrdues és utilitzant el mètode del *minimum night flow* (MNF) que, de manera resumida, interpreta que les pèrdues es troben observant el

comportament de la xarxa a altes hores de la nit (entre les 00:00 i les 06:00), quan el consum humà és mínim.

Tal i com mostra Serafeim en el seu article sobre el MNF (Serafeim, Kokosalakis, Deidda, Karathanasi, & Langousis, 2022), aquest càlcul es realitza tenint en compte les dades de pressió de la xarxa. En el present treball, però, el càlcul es simplificarà tenint en compte només el cabal mínim obtingut entre les 00:00 i les 06:00 de cadascun dels dies del conjunt de dades (prescindint dels zeros).

A continuació es mostra la representació del MNF al llarg de l'any 2021, utilitzant com a criteri l'esmentat anteriorment:

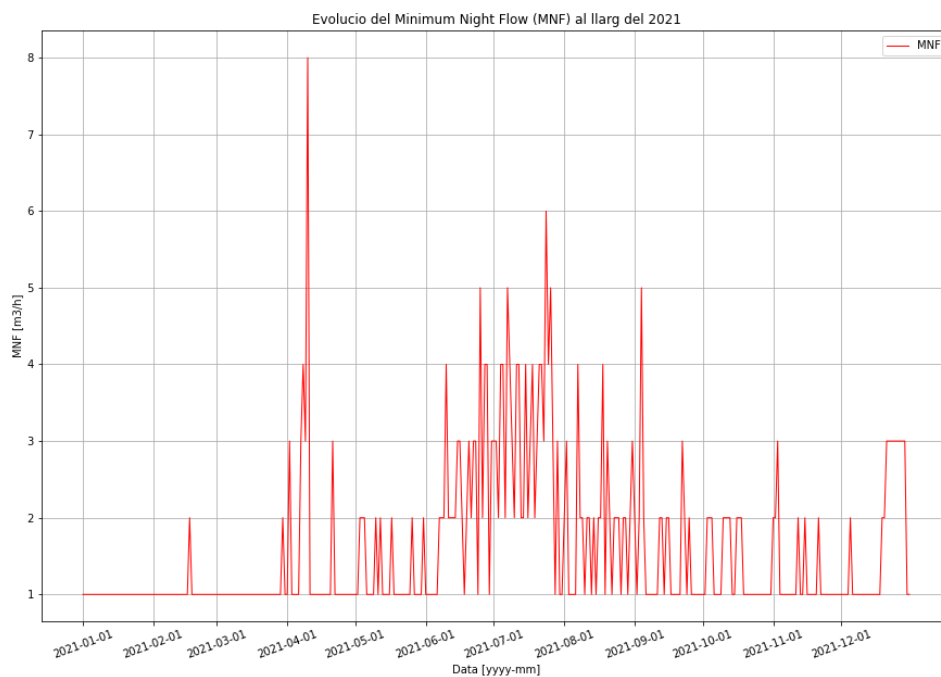


Figura 16: Evolució del minimum night flow (MNF)

Es pot comprovar que les pèrdues mostren un creixement al voltant de l'agost i que a la resta de l'any es troben al voltant de 1 i 2 m³/h. Per visualitzar millor les dades i eliminar l'efecte del soroll, s'ha realitzat un filtrat amb una finestra d'una setmana: és a dir, s'ha tornat a obtenir el MNF calculant cadascun dels nous valors com la mitjana del valor de la figura 16 amb les tres dades anteriors i les tres dades següents. A continuació es mostra el resultat d'aquest filtre aplicat:

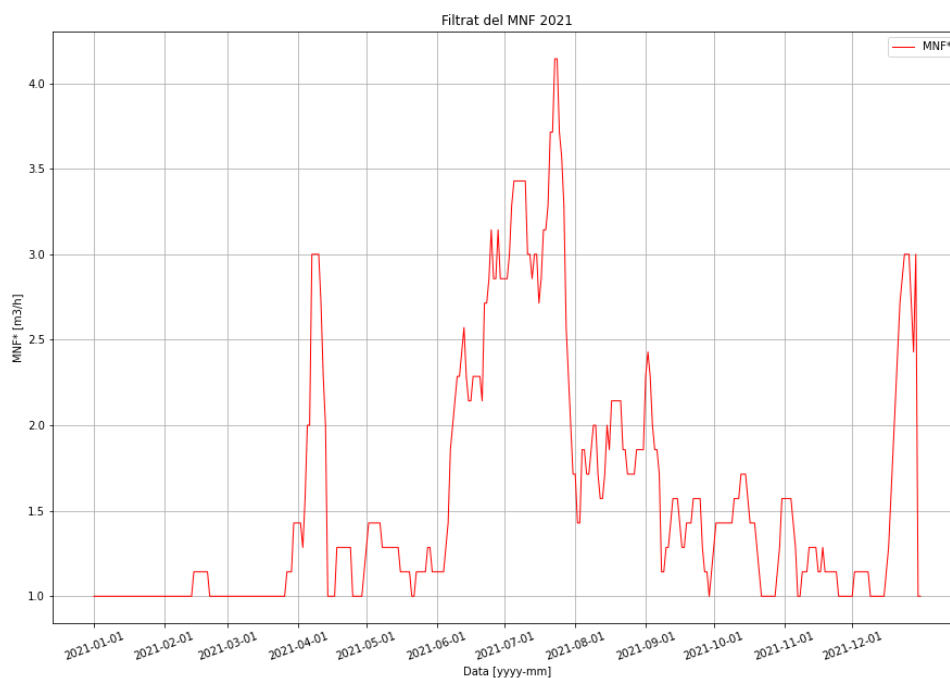


Figura 17: MNF filtrat

Tal i com es pot observar al gràfic anterior, trobem una sèrie de pujades exponencials. Aquest fet pot indicar, precisament, avaries que van ser identificades, trobades i reparades.

Per altra banda, és fàcil entendre que no tota l'aigua subministrada pel dipòsit d'aigua sanitària arribarà als bombaments de la xarxa de clavegueram, i per tant podem parlar de les pèrdues d'aigua de la xarxa conjunta, la representació de la qual és la següent:

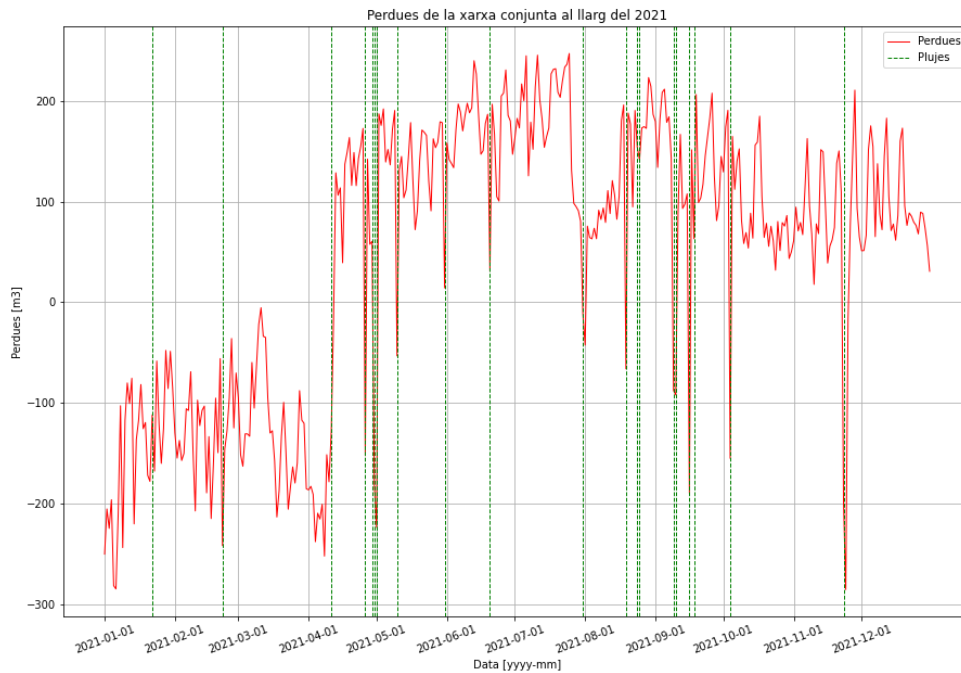


Figura 18: Pèrdues de la xarxa conjunta

Tal i com es pot veure, les pèrdues prenen valors negatius abans de l'abril (degut al comportament anòmal detectat anteriorment) i valors positius de l'ordre de 100 m³ diaris, presentant pics negatius els dies de pluja (ja que l'aigua processada per la XAC pot superar fàcilment l'aigua subministrada pel sistema d'aigua potable).

Un altre concepte interessant de calcular i representar és el concepte de rendiment de xarxa conjunta, el qual es pot obtenir realitzant el coeficient entre cabal impulsat (clavegueram) i cabal subministrat (aigua sanitària): d'aquesta manera es pot calcular de manera orientativa quina quantitat de l'aigua subministrada arriba a la xarxa de clavegueram. La representació del rendiment és la següent:

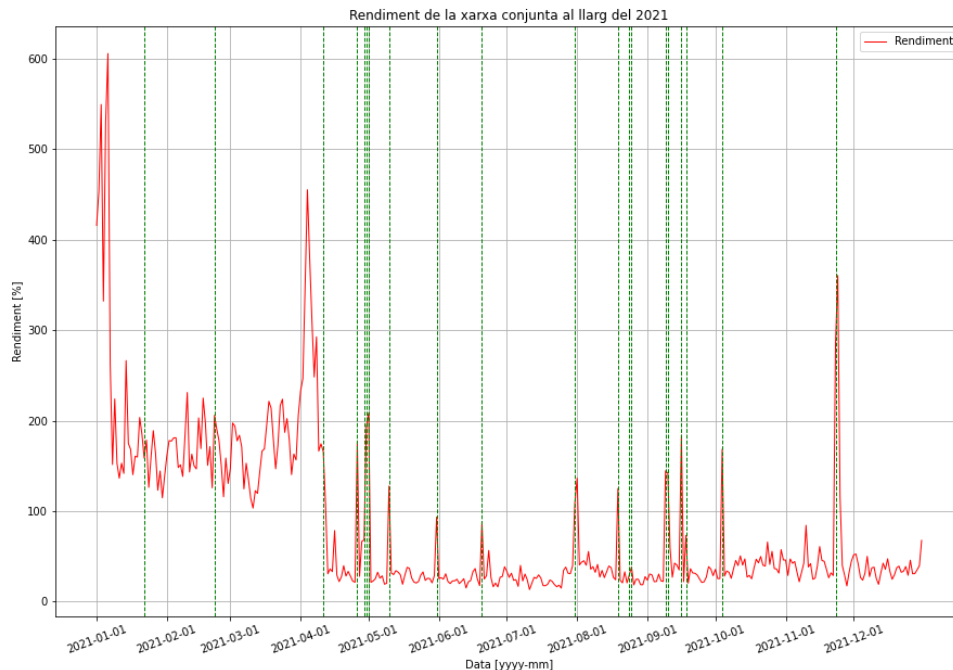


Figura 19: Rendiment de la xarxa conjunta

El rendiment mostra primer uns valors superiors al 100 % abans de l'abril (degut possiblement a l'aportació d'aigua) i valors inferiors al 100% després, presentant pics de rendiment superior els dies de pluja (si l'aigua bombada és superior a la subministrada, és normal que el rendiment sigui superior).

4.4.3.3 *Comportament de la indústria present a Els Condals*

La indústria presenta un paper molt important en el funcionament de la xarxa d'aigua de Els Condals, tal i com s'ha esmentat i explicat als apartats anteriors a aquest. Per tant, es pot considerar d'interès trobar el comportament d'aquest sector industrial per poder aïllar-lo de la resta de dades.

La manera més intuïtiva de trobar el comportament industrial present a Els Condals és comparar un període determinat d'activitat industrial amb un període determinat sense aquesta indústria present. Per fer-ho, s'ha de tornar a observar la figura 15 que, tal i com s'ha explicat, és una representació del cabal mitjà diari. Segons l'apartat 4.4.3.1, figura 15, es poden diferenciar períodes concrets on el promig de cabal pateix un decrement considerable. És intuïtiu assumir que, en aquests períodes, l'activitat de la indústria és mínima o pràcticament nul·la, ja que aquests períodes corresponen, precisament, a la última i la primera setmana de l'any, setmana santa i les primeres setmanes del mes d'agost.

Aquest apartat comença realitzant l'assumpció que, en el període corresponent als dies entre el 26 de juliol de 2021 i el 16 d'agost del mateix any, el sector industrial de Els Condals es troba en un període d'activitat mínima.

Cal recordar que el període comprès entre l'1 de gener i el 12 d'abril de 2021 presenta un comportament anòmal de les dades, i que per tant no es tindrà en compte per aquest apartat. És per aquest motiu que, com a període d'activitat normal de la indústria, s'ha decidit utilitzar el conjunt de dades comprès entre el 13 d'abril i el 24 de juliol, prescindint de dies corresponents a festius i caps de setmana, ja que es considera que en aquests dies la indústria també es troba en estat d'activitat mínima.

Com a resultat d'aquest anàlisi, i tenint en compte l'explicació anterior, el resultat de calcular el comportament industrial com la diferència entre els dies amb activitat industrial i els dies sense activitat industrial és el següent:

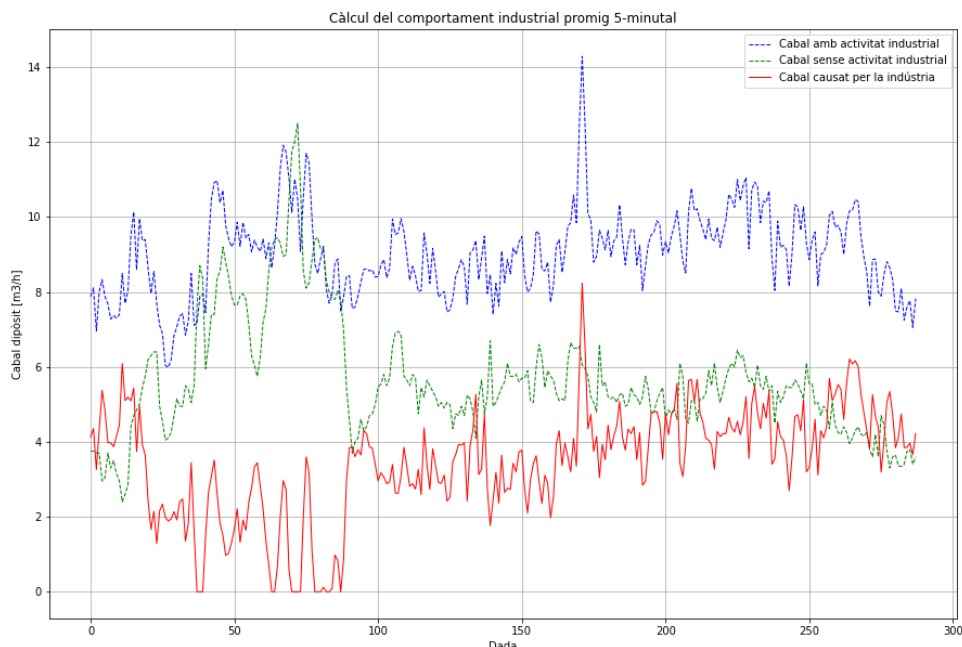


Figura 20: Obtenció de la demanda d'aigua industrial

A la figura anterior es poden veure les 3 corbes que representen el cabal promig 5-minutal amb la indústria activa (blau), el cabal promig 5-minutal amb la indústria en activitat mínima (verd) i la corba corresponent a la diferència de les dues anteriors (vermell). Cal destacar que, a l'hora de calcular el cabal generat per la indústria, s'han definit com a nuls aquells cabals que, al fer la resta dels dos cabals, resultaven en un cabal negatiu.

Tal i com es pot veure, la diferència de cabal entre les corbes blava i verda és notable. Per tant, es pot afirmar que el comportament de la indústria influeix de manera clara sobre el consum generat d'aigua potable.

4.4.3.4 Comportament de la xarxa conjunta filtrat

Per tal de poder trobar el consum d'aigua potable de Els Condals sense tenir influència de les pròpies pèrdues de la xarxa distribució d'aigua potable, ni del consum per part del sector industrial, s'ha realitzat el procediment descrit als apartats 4.4.3.2 i 4.4.3.3, respectivament. Un cop obtingudes aquestes característiques de la xarxa de distribució d'aigua potable, es pot procedir al càlcul del que a partir d'ara s'anomenarà **consum filtrat d'aigua potable (CFAP)**.

Per trobar CFAP, es prendran com a base les dades compreses entre el 13 d'abril i el 24 de juliol, eliminant els caps de setmana i els festius, per obtenir un conjunt de dades on la indústria es troba activa (tal i com s'ha explicat a l'apartat anterior). A aquestes dades s'aplicaran els dos procediments descrits a continuació:

- Per eliminar l'efecte de les pèrdues de la xarxa d'aigua potable, a totes les dades de cabal subministrat corresponents a un mateix dia se li restarà el MNF corresponent al mateix dia, segons la figura 17.

- Fent la suposició que bona part d'aquesta aigua no retorna a la xarxa de clavegueram, per eliminar l'efecte de l'activitat industrial, a totes les dades de cabal subministrat corresponents a una mateixa hora i minut se li restarà el cabal demandat per la indústria corresponent a la mateixa hora, segons la figura 20.

Un cop realitzats aquests 2 procediments descrits sobre el conjunt de dades, la comparativa entre el cabal subministrat original i el CFAP es mostra a la següent figura:

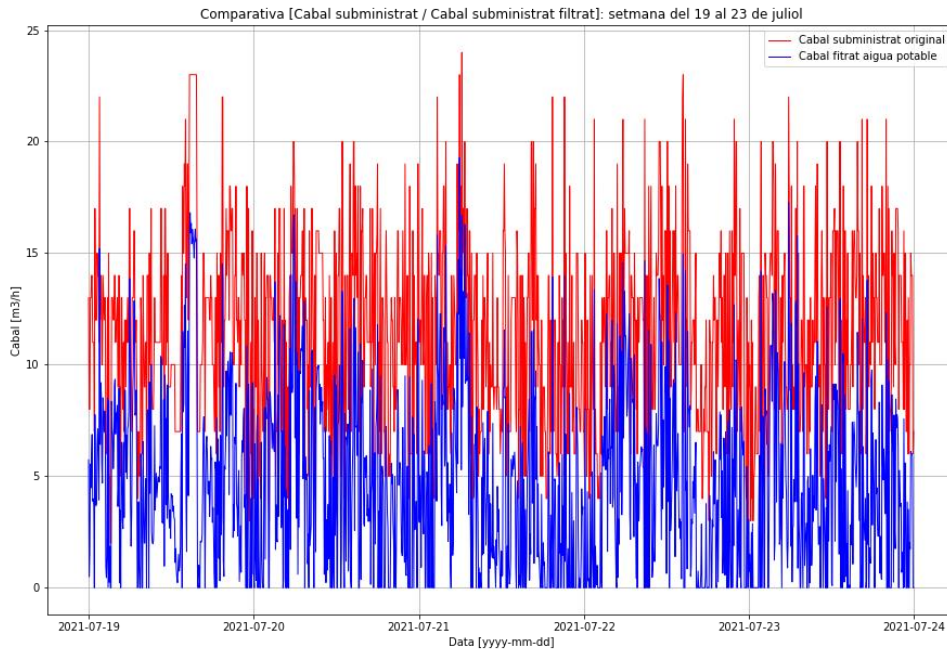


Figura 21: Obtenció del cabal subministrat filtrat

La representació ha sigut limitada al període corresponent a la setmana del 19 al 23 de juliol, per veure de manera més clara les dades.

Aquest resultat, conjuntament amb altres resultats obtinguts al llarg de l'apartat 4.4, s'utilitzaran al següent apartat (4.5) per realitzar simulacions sobre el model de SWMM i per validar aquest mateix model.

4.5 Simulació i validació

Al llarg del present apartat es realitzaran diferents simulacions que ajudaran a comprendre, calibrar i validar el model de SWMM proporcionat per aquest estudi. En concret, s'han arribat a realitzar 3 simulacions descrites a continuació:

1. **Primera simulació**, amb la finalitat de comprendre millor el funcionament de la llibreria PySWMM.
2. **Simulació d'un període amb presència de pluges**, per comprovar el comportament de les bombes de la simulació i comparar-lo amb el comportament real de les bombes, descrit a les dades proporcionades.
3. **Simulació comparativa entre el cabal subministrat i el cabal filtrat**, per comprovar si realment, el comportament del cabal filtrat s'aproxima millor a la realitat que el comportament del cabal subministrat original.

El procediment general de les simulacions serà el següent: s'executarà el model de SWMM utilitzant com a entrada el conjunt de dades corresponents al cabal d'aigua potable subministrat (dades reals), i es prendrà com a sortida de simulació el cabal impulsat pel bombament de la zona nord. Després d'executar la simulació, s'analitzarà el comportament de la sortida (dades simulades) i es compararà amb el cabal bombat de la zona nord (dades reals).

Cal recordar que, tal i com s'ha explicat a l'apartat 4.2.2, s'utilitzen dos models diferents a l'hora de realitzar simulacions:

- El primer model, *els_condals_residuals_v2_unos.inp*, que s'utilitza per trobar els valors de *dry weather inflow* (DWI) presents al model.
- El segon model, *els_condals_residuals_v2_ceros*, que s'utilitza per executar la simulació, modificant els valors de cabal d'entrada a cada pas de simulació.

4.5.1 Simulació 1: primera simulació.

La finalitat principal d'aquest apartat és explicar el procés de simulació dels models de SWMM mitjançant un exemple de programació. En aquest cas, es realitzarà una simulació del període comprès entre el 8 i el 10 d'agost de 2021, ja que no s'ha detectat la presència de pluges i la indústria de Els Condals es troba en estat d'activitat mínima.

Ja que el codi dissenyat per l'anàlisi de dades i el codi dissenyat per les simulacions han sigut creats com dos codis diferents i independents, és necessari exportar el conjunt de dades que calgui del codi d'anàlisi de dades com a arxiu *.csv per importar-lo posteriorment al codi destinat a simulacions.

El primer pas que es realitza al codi de simulació és, precisament, importar el conjunt de dades des de l'arxiu *.csv i definir-lo com a *DataFrame*, realitzant les intervencions que siguin necessàries (com, per exemple, convertir les dates a valors de tipus *datetime*). El *DataFrame* resultant és el de la figura 22:

	CABAL NORD (m3/h)	CABAL DIPOSIT (m3/h)
DATA		
2021-08-09 00:00:00	0.0	4.0
2021-08-09 00:05:00	0.0	4.0
2021-08-09 00:10:00	0.0	2.0
2021-08-09 00:15:00	0.0	5.0
2021-08-09 00:20:00	0.0	4.0
...
2021-08-15 23:35:00	0.0	2.0
2021-08-15 23:40:00	35.2	6.0
2021-08-15 23:45:00	35.2	4.0
2021-08-15 23:50:00	0.0	3.0
2021-08-15 23:55:00	0.0	3.0

Figura 22: DataFrame carregat a la simulació 1

Acte següent, es realitza una simulació curta, utilitzant com a model l'anomenat *els_condals_residuals_v2_unos.inp*, per obtenir les següents dades:

- Llista de nodes del model amb DWI.
- Llista dels valors de DWI de tots els nodes de la llista anterior.
- Llista de les bombes dins del model.

La llista de nodes i la llista de valors de DWI s'unifica en un mateix *DataFrame* amb unes línies de codi. El *DataFrame* resultant és el de la figura 23:

Tot següent, es realitza la simulació que donarà els resultats a comparar amb el volum d'aigua processat per la xarxa de clavegueram. El període de simulació es defineix del 9 al 10 d'agost (ambdós dies inclosos). El procés de simulació és el següent: per a cada *step* de simulació, s'obté la data de simulació i es troba el valor de cabal subministrat real que correspon a aquesta data mitjançant el *DataFrame* de la figura 22. A continuació, es multiplica aquest valor pel DWI de cada node, i aquest resultat s'utilitza com a cabal d'entrada del node.

Al final d'aquest procediment, es genera un arxiu anomenat *els_condals_residuals_v2_ceros.out*, que correspon a l'arxiu de sortida de simulació i del qual es poden exportar els resultats desitjats. Per obtenir els resultats, i utilitzant aquest fitxer esmentat com a base, només calen unes línies de codi que ens permeten guardar les dades del cabal de la bomba nord com a diccionari (una estructura de dades de Python) i posteriorment com a

	Node ID	Inflow
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2CEE88>	14096	0.011730
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2FBE48>	17817	0.673630
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2FBFC8>	17858	0.006139
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2FBEC8>	17859	0.004050
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2FB488>	18078	0.169107
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2FBF88>	18669	0.000939
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2FBE08>	19789	0.019634
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2FBF08>	19790	0.007452
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2EE448>	19791	0.003709
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2FBF48>	19792	0.004892
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2EE048>	19794	0.002754
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2EE148>	19796	0.001021
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2EE848>	19798	0.009120
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2FB188>	19799	0.009104
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2EE108>	19800	0.013591
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2EE208>	19801	0.020768
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2EE348>	19802	0.012409
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2EE088>	19843	0.001733
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A287808>	19848	0.007792
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2EE788>	19850	0.005313
<pyswmm.nodes.Node object at 0x000002532A2EE408>	19851	0.003207

Figura 23: DataFrame amb els nodes amb DWI

DataFrame. La representació del cabal de la bomba nord al llarg del període de simulació, comparat amb el bombament real, és el següent:

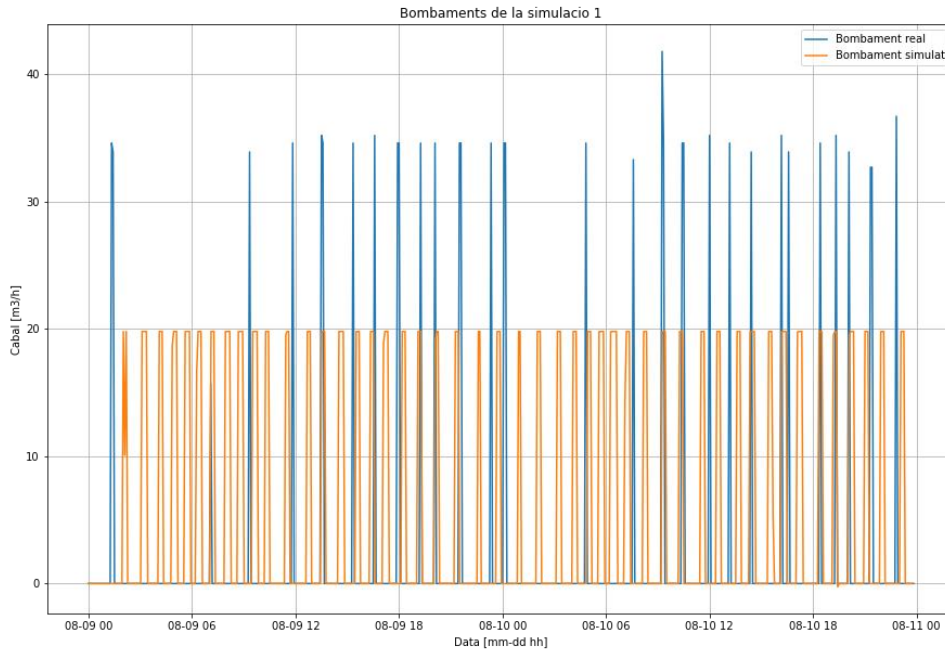


Figura 24: Bombaments de la simulació 1

Es pot comprovar una diferència de comportament entre la realitat i la simulació: la bomba real realitza menys bombaments que la simulada, però els bombaments que realitza són de major intensitat (uns 35 m³/h contra els 20 m³/h simulats). Això podria indicar que les bombes no han sigut definides correctament al model.

Per altra banda, es procedeix a representar el volum d'aigua subministrat (dades reals) i el volum impulsat per la bomba nord segons les dades (dades reals) i segons la simulació (dades simulades):

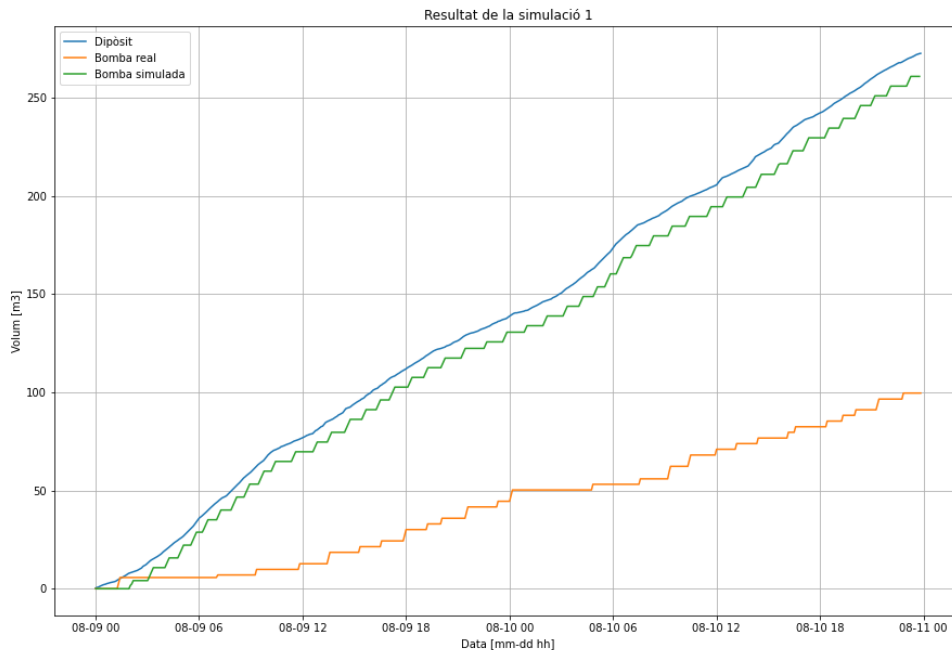


Figura 25: Resultat de la simulació 1

Tal i com es pot apreciar, el gràfic anterior indica que pràcticament tota l'aigua d'entrada arriba a la bomba nord per ser processada, mentre que realment el que passa és que existeixen pèrdues d'aigua per diferents motius. Això ens indica que el model no té en compte cap mena de pèrdues i que presenta un comportament de la xarxa ideal.

4.5.2 Simulació 2: simulació d'un període amb presència de pluges

Un cop feta la simulació 1, es procedeix a realitzar una segona simulació sobre un període amb presència de pluges. Concretament, s'ha decidit utilitzar el període comprès entre el 9 i el 10 de setembre de 2021 (en aquest cas, el sector industrial de Els Condals es troba actiu).

Tal i com s'ha procedit a la simulació 1, el primer que es fa és carregar l'arxiu amb extensió *.csv corresponent a aquest cas. Seguidament, es torna a fer una primera simulació amb el model *els_condals_residuals_v2_unos.inp* per trobar la llista de nodes amb els seus DWI i la llista de bombes. A continuació, aquest llistat de nodes s'introdueix a un *DataFrame*, i es procedeix a realitzar la segona simulació, amb el model *els_condals_residuals_v2_ceros.inp*, modificant a cada pas de simulació el cabal d'entrada als nodes necessaris. En aquest cas, però, també s'introdueix el control del *rain gage* (vegeu l'apartat 4.3.2.4 per a més informació), modificant a cada pas de simulació el valor de intensitat de pluja, de tal manera que aquest valor correspongui amb la dada de pluja real.

Un cop acabada la simulació, s'utilitza l'arxiu de sortida generat (*els_condals_residuals_v2_ceros.out*) per obtenir la sortida de simulació, tal i com s'ha realitzat a l'apartat anterior. A continuació es mostra la comparativa entre els bombaments reals i els bombaments simulats:

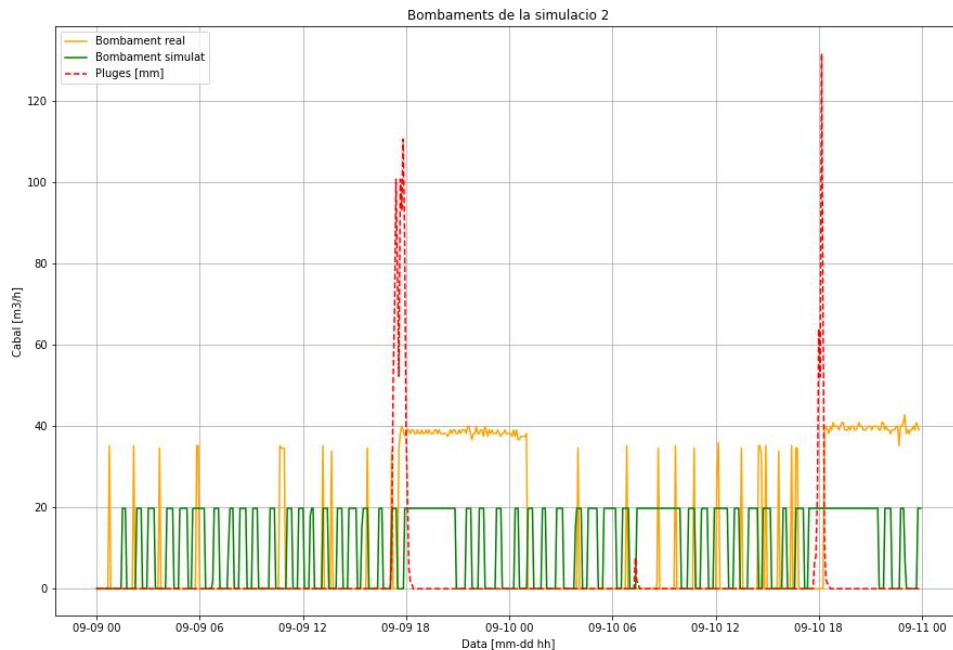


Figura 26: Bombaments de la simulació 2

Cal destacar que també s'han representat les pluges, per comprovar el comportament dels dos bombaments com a resposta a aquest fet. Es pot comprovar que la diferència entre el bombament real i el simulat ens els períodes sense pluja correspon a la trobada a l'apartat 4.5.1. Pel que fa als períodes amb pluges, sembla que el bombament real respon amb una impulsió prolongada al llarg del temps, mentre que el bombament simulat respon a les mateixes pluges amb una impulsió no tan prolongada i amb aproximadament la meitat d'amplitud. També destaca el comportament dels dos bombaments el dia 10 entre les 6 i les 12: per un pic de pluges menyspreable respecte dels altres 2 superiors als 100 mm, el comportament del bombament real no es veu afectat, mentre que el bombament simulat respon de la mateixa manera que amb els altres períodes de pluges.

Pel que fa als volums subministrats i el volum impulsat tant pel bombament real com pel simulat, la comparativa és la següent:

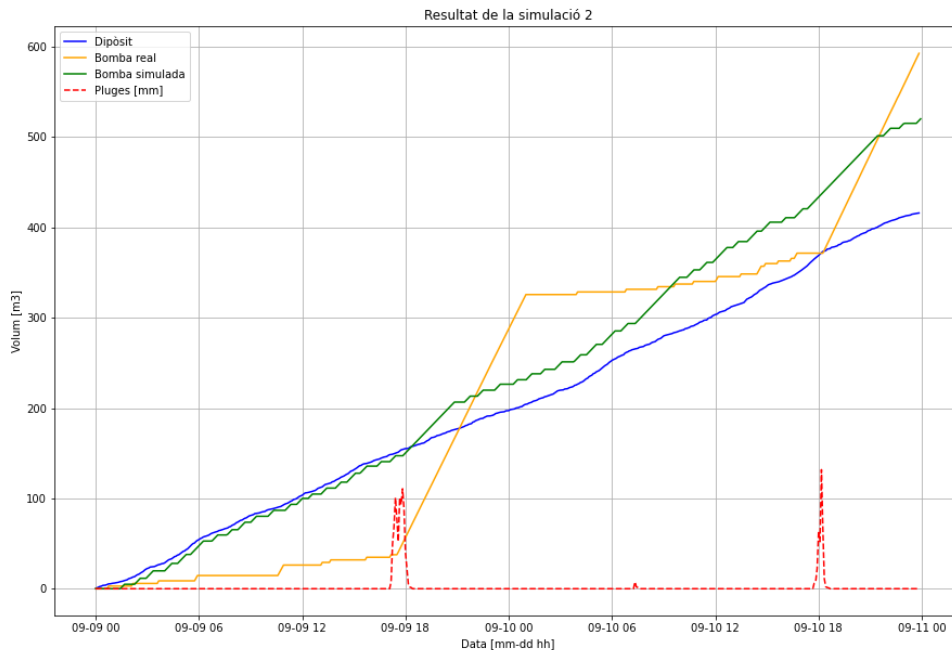


Figura 27: Resultat de la simulació 2

Mentre que la resposta a les pluges es veu molt prolongada al bombament real, el bombament simulat respon de manera més dissimulada. Per altra banda, en aquest model es veu com el bombament simulat processa tot el volum d'aigua subministrat per la XAP, ja que les dues corbes es solapen al principi de la simulació, i només es separen quan el bombament simulat ha de respondre a l'entrada de pluges. Aquesta simulació ha resultat molt didàctica a l'hora de comprendre millor el comportament de la xarxa combinada sota la influència de la pluja.

4.5.3 Simulació 3: comparativa cabal subministrat – cabal filtrat

Per últim, es realitzarà un tercer codi, amb la finalitat de comparar els cabals original i filtrat que s'han obtingut a l'apartat 4.4.3.4.

El codi comença carregant precisament el *DataFrame* que conté aquestes dades (un *DataFrame* amb els cabals subministrat, subministrat filtrat i impulsat pel bombament nord entre el 13 d'abril i el 25 de juliol, prescindint de caps de setmana i festius) i realitzant la primera simulació, amb la que s'obté el *DataFrame* amb els nodes amb DWI (i els DWI corresponents).

Ja que el procés de simulació pot arribar a resultar problemàtic per a simulacions massa llargues, s'ha decidit limitar el període màxim de simulació a 5 dies. Per tant, les simulacions que es facin en aquest apartat correspondran a una setmana laboral (de dilluns a divendres). La primera simulació es realitzarà sobre el mes de juliol, concretament entre el 12 i el 16.

Acte seguit, es realitza una segona simulació amb el model *els_condals_residuals_v2_ceros.inp*, utilitzant com a entrada de simulació el cabal subministrat real. Després s'utilitza l'arxiu de sortida generat pel SWMM per obtenir el cabal generat per la bomba simulada.

Ara es torna a realitzar tot el procediment descrit al paràgraf anterior, però **utilitzant com a entrada de simulació el cabal subministrat filtrat** (del qual s'han eliminat els efectes del sector industrial i de les pèrdues de la XAP). Un cop realitzada la simulació s'obté el nou comportament de la bomba simulada i s'introdueix en un *DataFrame*.

A continuació es mostra el primer gràfic d'aquesta simulació, on es comparen:

- El cabal impulsat per la bomba real.
- El cabal impulsat per la bomba simulada, quan l'entrada és el cabal subministrat real.
- El cabal impulsat per la bomba simulada, quan l'entrada és el cabal subministrat filtrat.

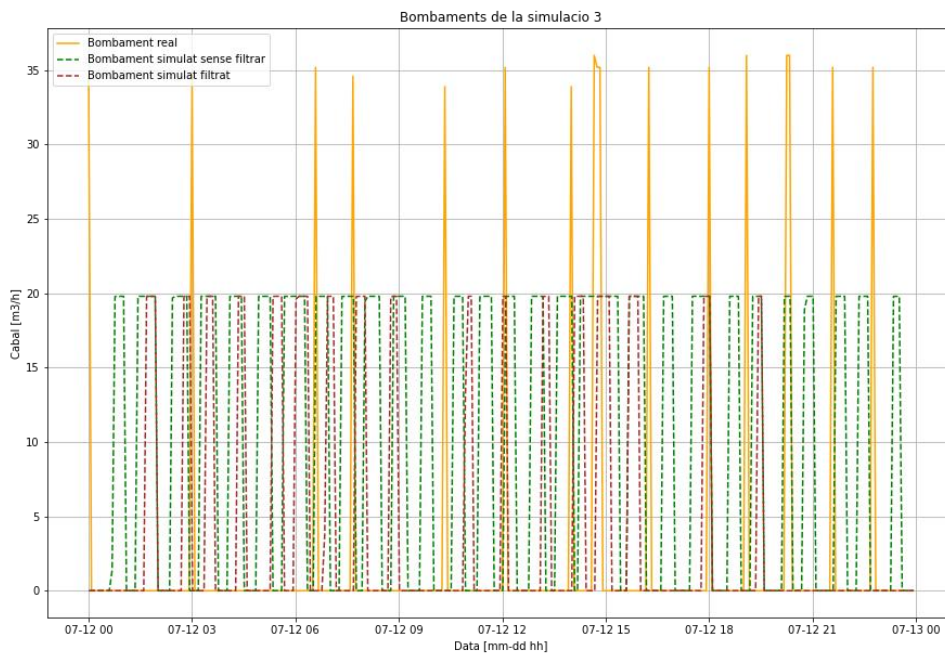


Figura 28: Bombaments de la simulació 3

Tal i com es pot comprovar, la quantitat de bombaments produïts per la bomba simulada quan l'entrada és el cabal subministrat original és superior a la quantitat de bombaments que es produeixen quan l'entrada és el cabal subministrat filtrat (fet que era l'esperat, ja que el cabal subministrat filtrat és inferior al cabal subministrat original).

Ara bé, el que interessa d'aquesta simulació és comprovar si la corba produïda per l'entrada filtrada s'aproxima més al comportament real que la corba produïda per l'entrada original. És per aquest motiu que, a la següent representació, es comparen els volums corresponents a les corbes de la figura XXX:

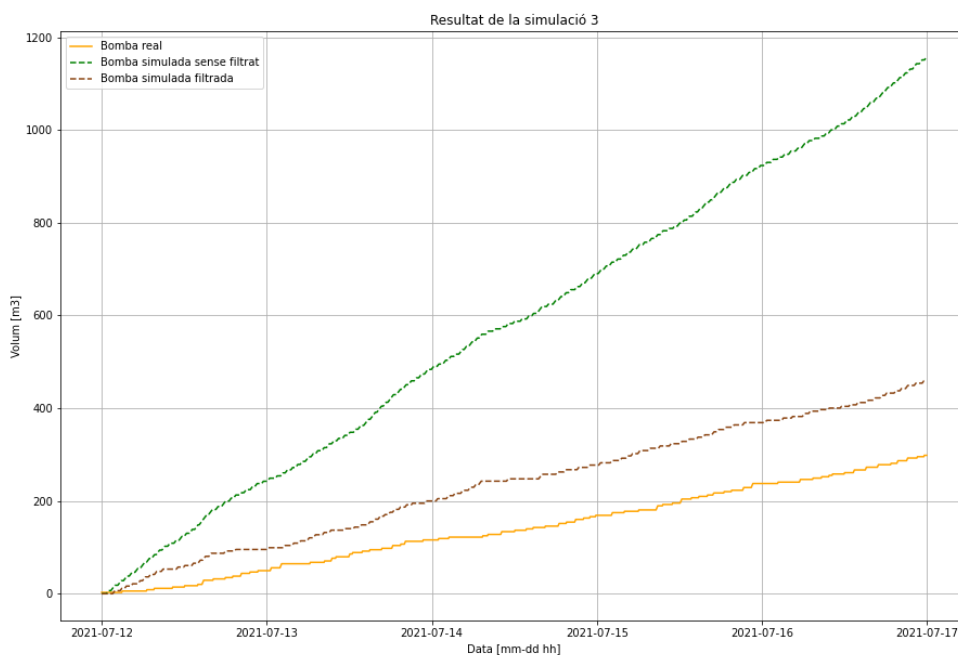


Figura 29: Resultat de la simulació 3

Al gràfic anterior es pot comprovar que, efectivament, el volum impulsat quan l'entrada és el cabal subministrat filtrat és més proper a la realitat que el volum impulsat quan l'entrada és el cabal subministrat original, tot i que la correlació no és perfecta. Això indica que encara hi ha una part del cabal que, a la realitat, entra a la xarxa combinada però no arriba a la sortida d'aquesta xarxa (és a dir, al bombament de la zona nord) i que no s'ha tingut en compte. Aquest error entre el volum bombat real i el volum bombat simulat, segons la figura anterior, és d'aproximadament el 30 %.

5 Resum del pressupost i/o estudi de viabilitat econòmica

Ja que aquest treball no suposa l'elaboració d'un projecte, com a pressupost només es té en consideració els honoraris professionals de l'estudiant. Per fer un pressupost estimatiu, s'ha tingut en compte un salari de 10 €/hora:

Partida	Descripció	Quantitat d'hores	Preu (€/hora)	Total (€)
1	Elaboració del <i>project charter</i>	20	10	200
2	Investigació prèvia	40	10	400
3	Anàlisi de dades	120	10	1200
4	Simulació	120	10	1200
5	Elaboració de documentació	100	10	1000
Cost total dels honoraris professionals:				4000

6 Anàlisi i valoració de les implicacions ambientals i socials

De tota l'aigua que hi ha al planeta, l'ésser humà només troba disponible un 0,007% per al seu consum: el 97% es tracta d'aigua salada, un altre 1,74% el forma l'aigua congelada als pols, i de la resta s'ha d'eliminar la corresponent a l'aigua atmosfèrica, la que forma part dels éssers vius i la de constitució dels sòls. Per tant, quan es tracta amb xarxes d'aigua, és de gran interès determinar les pèrdues amb la finalitat de reduir-les al màxim possible.

6.1 Evolució del sanejament a Catalunya

Segons indica un informe de l'Agència Catalana de l'Aigua (500 Depuradores, 2016), l'evolució del sanejament en el marc de la comunitat catalana ha sigut un avanç constant: mentre que a finals de la dècada dels anys 70 la majoria de ciutats abocaven l'aigua sense sanejar al medi (tret d'alguns casos en els que s'utilitzaven procediments primaris per separar el residu sòlid de l'aigua), actualment es tracten les aigües residuals del 97% de la població a Catalunya.

Aquesta millora ha sigut possible a partir de la generació del primer Pla de Sanejament, presentat al llarg dels anys 80 i aprovat al llarg dels anys 90. A l'any 1990 ja es disposava de 100 estacions depuradores d'aigua residual, i aquesta xifra ha augmentat fins les 500 depuradores que es troben en funcionament a dia d'avui a tota Catalunya, que tracten les aigües residuals dels municipis de més de 2000 habitants i donen servei al 97% de la població.

Per arribar al 100% del tractament de les aigües residuals de la resta de municipis, l'Agència Catalana de l'Aigua va treballar per tancar el cicle de l'aigua. Es van plantejar més de 1000 actuacions (tals com depuradores noves i col·lectors).

6.2 Pèrdues a les xarxes d'abastament a Catalunya

Un dels principals objectius de les agències que gestionen les xarxes d'aigua és reduir al màxim les pèrdues presents. Tal i com indica un altre informe de l'Agència Catalana de l'Aigua (Informe sobre les pèrdues a les xarxes d'abastament a Catalunya, 2005), el fet que les pèrdues atrauen l'atenció mediàtica i la informació proporcionada de les xarxes és molt tècnica i difícil d'interpretar, generen l'aparició de titulars erronis com, per exemple, que el 25% de l'aigua es perd a les canonades.

Segons aquest mateix informe, es poden diferenciar les xarxes entre xarxes en alta (que venen l'aigua principalment als municipis) i les xarxes en baixa (que aporten subministrament d'aigua als abonats d'un municipi), i cadascuna d'aquestes xarxes presenta pèrdues.

En general, les pèrdues de les xarxes en alta són senzilles de determinar, ja que el nombre de sortides de la xarxa és relativament petit. En canvi, les pèrdues de les xarxes en baixa són de major magnitud, i es poden separar en tres conceptes:

- **Fuites** degudes a la presència de punts febles a la xarxa que deixen escapar l'aigua. S'estima que no es poden reduir per sota del 3 o 4%.
- **Consums no controlats**, que es diferencien en consums propis de l'explotació (com la neteja dels dipòsits) i consums externs (com regs i jardins), i acostumen a suposar un 10% del consum total de les ciutats.
- **Subcomptatge**, deguts a que els comptadors presenten un llindar de sensibilitat que fa que no marquin cabals molt petits.

El rendiment mitjà de les pèrdues a Catalunya és del 75% (s'acostuma a considerar un rendiment òptim el 85%), tot i que aquest 25% restant no és degut únicament a fuites, sinó



també a consums no controlats i a subcomptatge. S'ha demostrat també que el rendiment és proporcional a la mida de la població: 1 de cada 5 xares analitzades presentava un rendiment inferior al 60%, i per poblacions amb un nombre d'habitants inferior a 500, un rendiment inferior al 50% era normal.

6.3 Aportació del treball present

Aquest treball ha arribat a demostrar la possibilitat d'analitzar conjuntament la xarxa de subministrament d'aigua potable i la xarxa de clavegueram. Aquest estudi conjunt podria determinar diferències de comportaments entre ambdues xarxes, per exemple. Aquest present projecte també aporta informació, tant a l'estudi de pèrdues de les xarxes com a la gestió de plantes residuals.

7 Conclusions

El principal objectiu d'aquest treball era comprovar si es podien relacionar dues xarxes que normalment s'estudien de manera independent: la xarxa de distribució d'aigua potable i la xarxa de clavegueram. Es pot afirmar que ha quedat demostrada la possibilitat de relacionar el comportament descrit per ambdues xarxes.

Per una banda, amb l'anàlisi de les dades descriptives de les dues xarxes, s'han trobat explicacions a diferents comportaments. Un dels comportaments que més afecta, per exemple, al rendiment de la xarxa conjunta és la presència de pluges, ja que s'ha pogut comprovar com aquesta presència no té repercussió sobre el cabal d'aigua subministrat per la xarxa d'aigua potable, però sí que afecta de manera clara al cabal impulsat per la xarxa de clavegueram, provocant una diferència notable de funcionament de la xarxa conjunta respecte altres dies amb absència de pluges. També s'ha pogut observar l'efecte del sector industrial sobre Els Condals, i l'impacte que suposa aquest sector sobre el consum d'aigua potable.

Per altra banda, mitjançant el model de la xarxa de clavegueram, i utilitzant les dades reals de cabal subministrat per la xarxa d'aigua potable com a entrada d'aquest model, s'han arribat a realitzar 3 simulacions. A la primera d'elles s'ha comprovat que, efectivament, no tota l'aigua subministrada per la xarxa d'aigua potable arriba a clavegueram. A la segona s'ha aconseguit simular el comportament de les bombes amb presència de pluges, tot i que hi ha diferència entre la bomba simulada i la bomba real. Finalment, a la tercera simulació s'ha pogut verificar que existeixen un conjunt de variables, com poden ser les pèrdues de la xarxa d'aigua potable i el comportament industrial, que afecten a la quantitat d'aigua que arriba a clavegueram i que permeten ajustar millor el model de simulació. Concretament, si tenim en consideració aquests dos conceptes esmentats a la simulació, s'arriba a obtenir un volum simulat que representa una diferència d'aproximadament el 30 % respecte del volum real. Aquest 30 % del volum que realment no arriba als bombaments pot ser degut a diferents motius, com poden ser regs, omplert de piscines, un comportament industrial calculat incorrectament, fuites de la xarxa de clavegueram, errors de mesura de la instrumentació, o brutícia present a la xarxa de clavegueram, que obstruiria el pas de fluid i podria afectar al comportament de les bombes.

De manera paral·lela a la redacció d'aquesta memòria del projecte, s'ha realitzat la elaboració d'arxius amb el codi que proporciona els resultats dels apartats 4.4 i 4.5. Aquests arxius permeten reproduir els resultats obtinguts (el tractament de dades i l'execució de les tres simulacions descrites), i també són un resultat d'aquest estudi, que permetrà l'elaboració de treballs posteriors.

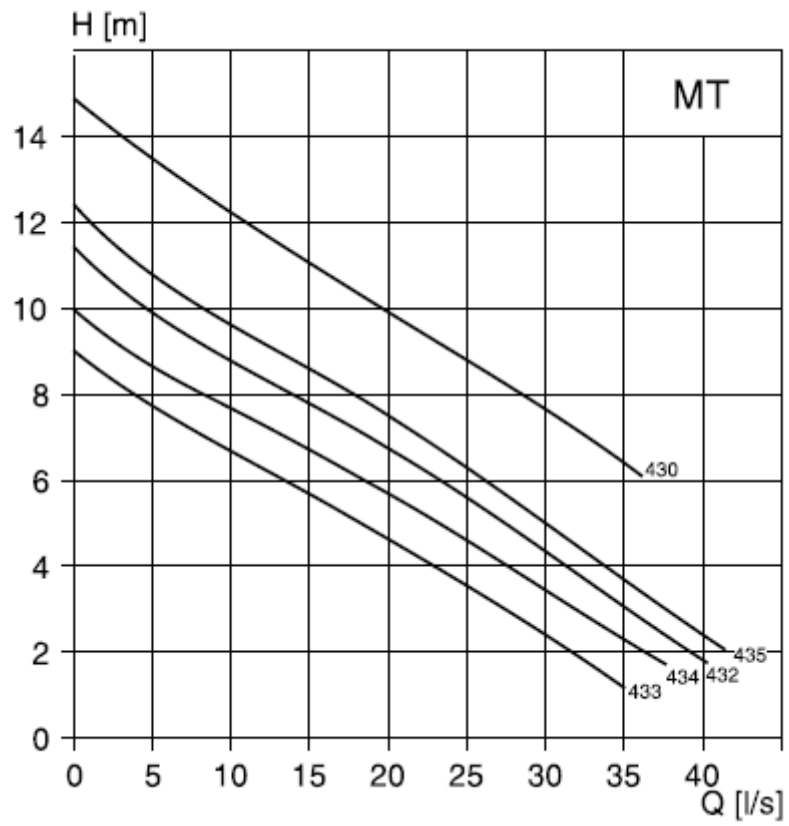
Per tant, aquest treball ha resultat ser de gran utilitat per definir una nova base sobre el modelat de xarxes conjuntes. Com a recomanacions, es considera que es podria realitzar una continuació d'aquest treball intentant ajustar el model de simulació proporcionat, o realitzant aquest treball sobre una altra localitat diferent.

8 Referències

- (2016). *500 Depuradores*. Generalitat de Catalunya, Agència Catalana de l'Aigua.
- datetime - Basic date and time types*. (2022). Consultat el 18 / 03 / 2022, a Python.org: <https://docs.python.org/3/library/datetime.html>
- Els Comdals (Manresa)*. (08 / 02 / 2021). Consultat el 26 / 02 / 2022, a Viquipèdia: [https://ca.wikipedia.org/wiki/Els_Comdals_\(Manresa\)](https://ca.wikipedia.org/wiki/Els_Comdals_(Manresa))
- EPANET*. (01 / 02 / 2022). Consultat el 25 / 02 / 2022, a United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- GESTAR - Diseño y gestión de regadíos*. (sense data). (Universidad de Zaragoza) Consultat el 25 / 02 / 2022, a GESTAR: <http://www.acquanalyst.com/contenido.php?modulo=faq&cat=1>
- (2005). *Informe sobre les pèrdues a les xarxes d'abastament a Catalunya*. Generalitat de Catalunya, Agència Catalana de l'Aigua.
- Leutnant, D., Döring, A., & Uhl, M. (2019). *swmmr - an R package to interface SWMM. Urban Water Journal*, 16(1), 68-76. doi:<https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1611889>
- matplotlib.pyplot - Matplotlib 3.5.2 documentation*. (2022). Consultat el 25 / 03 / 2022, a Matplotlib.org: https://matplotlib.org/stable/api/_as_gen/matplotlib.pyplot.html
- McDonnell, B. E., Ratliff, K., Tryby, M. E., Jia Xin Wu, J., & Mullapudi, A. (04 / 08 / 2020). PySWMM: The Python Interface to Stormwater Management Model (SWMM). (K. Barnhart, Ed.) *The Journal of Open Source Software*, 5(52). Recollit de pyswmm.
- NumPy: The fundamental package for scientific computing with Python*. (2022). Consultat el 26 / 02 / 2022, a NumPy: <https://numpy.org/>
- OpenWaterAnalytics/pyswmm: Python Wrappers for SWMM*. (sense data). Consultat el 11 / 03 / 2022, a GitHub: <https://github.com/OpenWaterAnalytics/pyswmm>
- Pandas*. (sense data). Consultat el 26 / 02 / 2022, a Pandas: <https://pandas.pydata.org/>
- Rossmann, L. A. (Setembre / 2015). *U. S. Environmental Protection Agency*. Consultat el 16 / 02 / 2022, a https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/epaswmm5_1_manual_master_8-2-15.pdf
- Sefareim, A. V., Kokosalakis, G., Deidda, R., Karathanasi, I., & Langousis, A. (04 / 01 / 2022). Probabilistic Minimum Night Flow Estimation in Water Distribution Networks and Comparisson with the Water Balance Approach: Large-Scale Application to the City Center of Patras in Western Greece. (F. De Paola, Ed.) *Water*, 14(98).
- Storm Water Management Model (SWMM)*. (26 / 04 / 2022). Consultat el 16 / 02 / 2022, a United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

9 Annexos

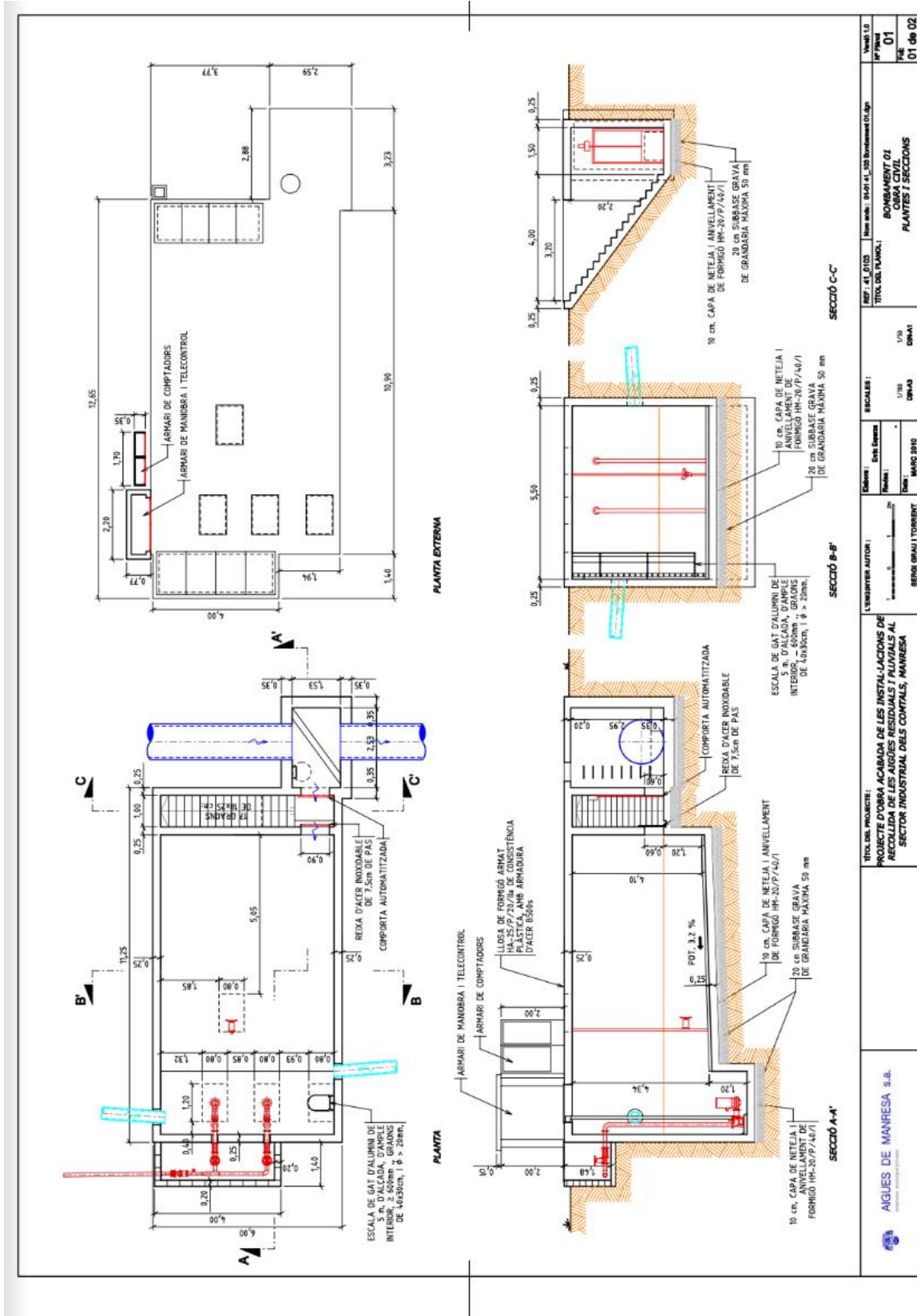
Annex A: corba de funcionament de la bomba sud FLYGT CP 3102 MT (corba 430):



Annex B: corba de funcionament de la bomba nord SULZER XFP 81 E-VX:



Annex C: dimensions del dipòsit de la zona sud:



<p>AGÜES DE MANRESA S.A. <small>MANRESA S.A. (I+D+D) S.L.</small></p>	<p>TÍTOL DEL PROJECTE: PROJECTE D'OBRA ACABADA DE LES INSTAL·LACIONS DE RECOL·LIDA DE LES AIGÜES RESIDUALS I FUNDALS AL SECTOR INDUSTRIAL DELS COMTALS, MANRESA</p>	<p>LESSEMPER AUTOR: SERGI GRAU I TORRENT</p>	<p>ESCALA: 1/50 DWA3</p>	<p>TÍTOL DEL PLANO: BOMBAMENT D'OBRA CIVIL PLANTES I SECCIONS</p>	<p>FECHA: 01 de 02</p>
---	---	--	---	--	--

Annex D: dimensions del dipòsit de la zona nord:

