



Projecte final

MÀSTER EN ENGINYERIA INFORMÀTICA

Oscar Galera i Alfaro

*Disseny i implementació de xarxes i sistemes
distribuïts*

1 de maig de 2018

Índex

1	Problema	4
1.1	Propietats de la xarxa de distribució d'aigua	4
1.2	Propietats dels sensors	4
2	Anàlisi d'eines	5
2.1	EPANET	5
2.2	TEVA-SPOT Toolkit	6
2.2.1	Dependències	7
3	EPANET	8
3.1	Instal·lació	8
3.2	Configuració bàsica de l'entorn	9
3.3	Implementació d'una nova xarxa de distribució (Exemple.net)	11
3.3.1	Eines	11
3.3.2	Disseny	11
3.4	Anàlisi simple (Net3.net)	15
3.4.1	Status report	15
3.4.2	Energy report	15
3.4.3	Balanç	16
3.4.4	Taula de resultats	16
3.4.5	Full report	17
3.5	Període variant	18
3.6	Propietats	21
3.6.1	Algorismes utilitzats en l'anàlisi	21
3.6.2	Format dels fitxers d'exportació	21
3.6.3	Interpretació dels errors	22
3.7	Altres exemples	23
3.8	Conclusió d'EPANET	23
4	TEVA-SPOT Toolkit	24
4.1	Instal·lació	24
4.1.1	Línia de comandes	24
4.1.2	Interfície gràfica	24
4.2	Metodologia de posicionament de sensors	24
4.3	Estructura de dades	25
4.4	Exemple	26

4.4.1	Definir l'estructura del projecte	26
4.4.2	Simulació d'incidents contaminants	26
4.4.3	Computar l'impacte dels contaminants	29
4.4.4	Configuració de l'anàlisi	30
4.4.5	Posicionament de sensors	32
4.5	Notes	32
5	Versions utilitzades	33
6	Documentació utilitzada	34
A	Annex	36
A.1	Xarxa 1	36
A.2	Report complet d'estat de la xarxa	41

Índex de figures

1	EPANET	5
2	Sandia National Laboratories	6
3	Establir les unitats del sistema internacional.	10
4	Configuració de les propietats dels components gràfics.	10
5	Eines disponibles per la creació de xarxes.	11
6	Diagrama sense connexions.	12
7	Diagrama amb connexions.	13
8	Bomba, diposit, sortidor i vàlvula	13
9	Creació d'una nova corba.	14
10	Execució correcta.	15
11	Taula d'energia de les bombes.	16
12	Balanç de la demanda.	16
13	Taula de resultats de l'execució.	17
14	Configuració dels intervals de temps.	18
15	Configuració del patró pel temps.	19
16	Configuració d'un node	19
17	Configuració global	20
18	Representació dels components d'EPANET	21
19	Exemple de xarxes extretes d'Internet.	23
20	Estructura de dades de TEVA-SPOT.	25
21	Nou ensamblat.	26
22	Importar la xarxa creada amb EPANET.	27
23	Configuració dels contaminants.	29
24	Execució.	30
25	Fi de l'execució.	31
26	Configuració de l'anàlisi.	31

1 Problema

El problema a resoldre, és l'obtenció del posicionament i tipologia de sensors (respectant un cost màxim) en una xarxa de distribució d'aigua.

La finalitat d'aquesta simulació és controlar la qualitat de l'aigua maximitzant la informació proporcionada per aquests sensors amb el mínim cost possible.

1.1 Propietats de la xarxa de distribució d'aigua

La xarxa de distribució d'aigua que es vol analitzar, compleix amb els següents punts.

- Hi ha un conjunt de productors (dipòsits d'aigua, injectors de productes químics, etc).
- Hi ha un conjunt de consumidors.
- L'aigua circula direccionalment des dels productors fins als consumidors.
- La qualitat de l'aigua ve determinada per n mètriques.
- Es coneix la qualitat de l'aigua en els productors.
- L'aigua de diferents productors es poden barrejar en alguns dels nodes de la xarxa, alterant la qualitat de l'aigua resultant.
- Es modelarà la qualitat de l'aigua en funció de l'edat d'aquesta.

1.2 Propietats dels sensors

Els sensors a utilitzar tenen les següents característiques.

- Cost conegut.
- Conjunt de mètriques que poden mesurar.
- Precisió en què mesuren les mètriques.

2 Anàlisi d'eines

En aquest apartat es descriuen algunes de les eines considerades per resoldre el problema plantejat en la *secció 1*.

2.1 EPANET

EPANET és un software per realitzar simulacions del comportament hidràulic de la qualitat de l'aigua en xarxes de distribució a pressió per la plataforma *Microsoft Windows*.¹



Figura 1: EPANET

Les xarxes estan compostes per:

- Canonades.
- Connexions entre canonades (nusos).
- Bombes.
- Vàlvules.
- Dipòsits.

Permet saber (en funció del temps):

- Caudal que circula per cada una de les canonades.

¹Aquesta eina també es pot utilitzar en altres plataformes com GNU/Linux utilitzant una plataforma de simulació com el *Wine*

- Pressió que hi ha en cada nus.
- El nivell d'aigua que hi ha en cada dipòsit.
- Concentració de component químic que hi ha a la xarxa.

Els resultats proporcionats per aquesta eina es poden representar en gran varietat de formats

- Plànols de xarxes amb codis de colors.
- Taules de dades.
- Gràfics amb evolució temporal.
- Plànols amb corbes de nivell.

2.2 TEVA-SPOT Toolkit

TEVA-SPOT toolkit és una eina de posicionament de sensors per la seguretat de l'aigua, desenvolupada per l'agència de seguretat pel medi ambient dels estats units d'Amèrica en col·laboració amb els laboratoris *Sandia National Laboratories* i diverses universitats.



Figura 2: Sandia National Laboratories

Aquesta eina està dotada d'una interfície de comandes i una interfície gràfica per optimitzar el posicionament de sensors en una xarxa de distribució d'aigua. El sistema d'anàlisi que proporciona aquesta eina es basa majoritàriament en dues fases:

- Fase de modelatge, que inclou:
 1. Definició de les característiques que tenen els sensors a distribuir.
 2. Definició del sistema distribuït d'aigua (EPANET).
 3. Selecció de les mesures que impactaran en el disseny.
 4. Planificar les possibles respostes dels sensors.
 5. Identificació d'una possible posició per cada sensor.
- Fase de presa de decisions.

2.2.1 Dependències

TEVA-SPOT es basa en les següents eines externes:

- EPANET
- Acro
- Python (versions 2.5 - 2.7)

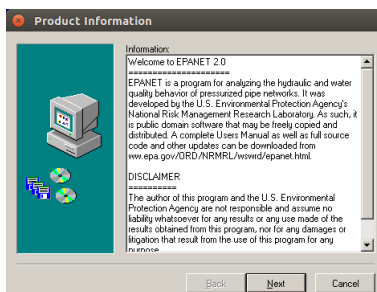
3 EPANET

En aquest apartat es mostrarà com es pot crear una nova xarxa de distribució d'aigua utilitzant l'eina EPANET.

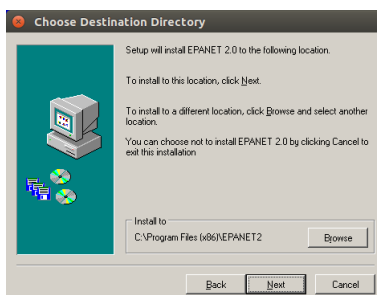
3.1 Instal·lació

Aquest programa està disponible en format executable, i per tant, la seva instal·lació es redueix als següents passos.

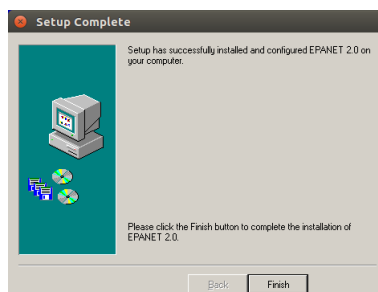
1. Descarregar l'executable.
2. Doble clic sobre l'executable.
 - Acceptar els termes i condicions.



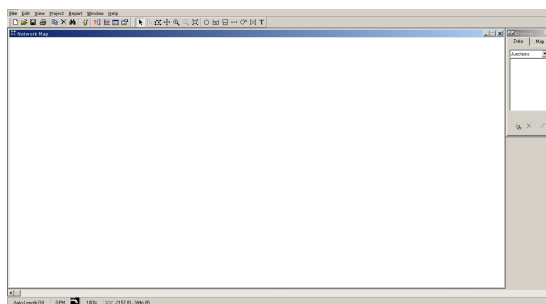
- Elegir el directori d'instal·lació (típicament C:\Program Files)



- Finalitzar la instal·lació.



- Iniciar el programa.



3.2 Configuració bàsica de l'entorn

El primer que cal fer per crear una xarxa utilitzant l'eina EPANET és configurar el *layout* del projecte perquè treballi amb les unitats del sistema internacional (litres, metres, segons, etc).

Per això cal anar a **Menu/Projects/Defaults** i en la pestanya *Hydraulics* establir les unitats de flux a LPS (Litros por segundo).

La representació gràfica dels components es pot modificar des de **Menu/View/Options**

El límit de coordenades (marge inferior esquerra i el marge superior dret) es pot configurar des del menú **Menu/View/Dimensions**

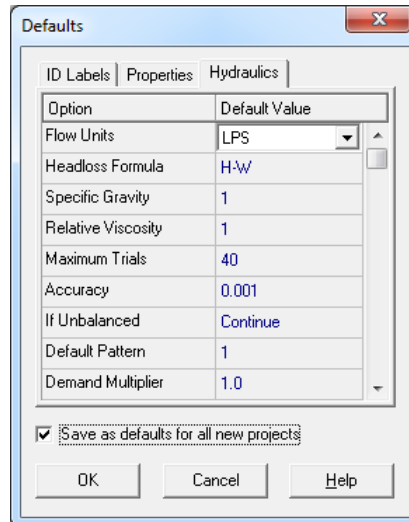


Figura 3: Establir les unitats del sistema internacional.

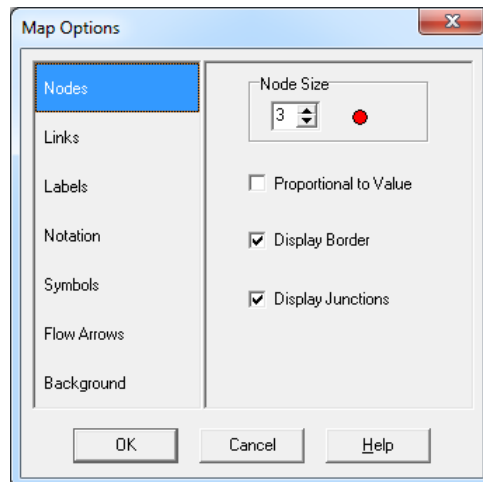


Figura 4: Configuració de les propietats dels components gràfics.

3.3 Implementació d'una nova xarxa de distribució (Exemple.net)

En aquest apartat es mostrarà un exemple bàsic de creació d'una xarxa de distribució d'aigua.

3.3.1 Eines

Per crear una nova xarxa s'utilitzen els components de la barra d'eines del planol². Algunes de les eines més importants són

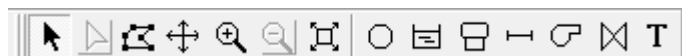


Figura 5: Eines disponibles per la creació de xarxes.



Tanc.



Nus.



Sortidor.



Canonada.



Bomba d'aigua.



Vàlvula.

3.3.2 Disseny

En primer lloc, s'ha de repartir els componen que componen la xarxa, en aquest exemple disposem de:

- 1 diposit (1)
- 8 nodes (2-9)

²Si aquesta barra d'eines no està visible es pot activar des de **Menu/View/Toolbars/Map**

- 1 tanc (10)
- 1 Bomba (8)
- 2 Vàlvules (10-11)

Aquesta representació quedarà de la següent manera.



Figura 6: Diagrama sense connexions.

Ara toca connectar els components a través de canonades, per això, s'apliquen les següents connexions 1-2, 3-4, 4-9, 3-5, 5-6, 5-7³, 6-7, 4-6.

Tot seguit, es connecten els nodes 2-3 amb una bomba i els nodes 4-9 i 7-8 amb una vàlvula.

L'estructura de la xarxa hauria de ser similar a la de la següent imatge

³Com que aquesta connexió no és recta, cal resseguir el camí per representar la corba de la canonada.

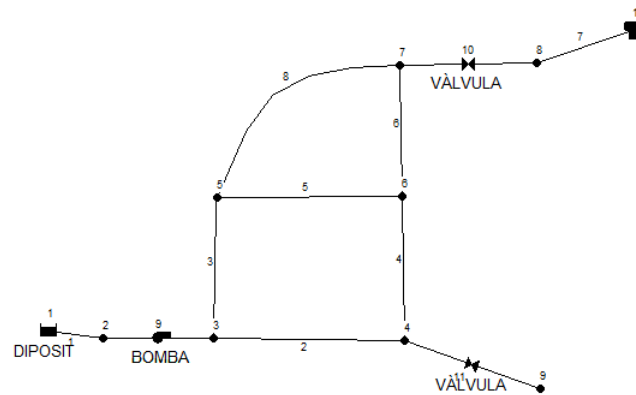


Figura 7: Diagrama amb connexions.

Un cop es té la distribució dels components, cal assignar les propietats que caracteritzen a cada component, per això s'ha de fer doble clic sobre el component i canviar els seus valors.

Per aquest exemple, es canvien les següents propietats:

Property	Value	Property	Value	Property	Value	Property	Value
*Pump ID	9	*Reservoir ID	1	*Tank ID	10	*Valve ID	11
*Start Node	2	*X Coordinate	-3950.89	*X Coordinate	4703.39	*Start Node	4
*End Node	3	*Y Coordinate	5220.34	*Y Coordinate	9457.63	*End Node	9
Description		Description		Description		Description	
Tag		Tag		Tag		Tag	
Pump Curve	1	*Total Head	0.5	*Elevation	38	*Diameter	12
Power		Head Pattern		*Initial Level	5.25	*Type	PRIV
Speed		Initial Quality		*Minimum Level	2	*Setting	0
Pattern		Source Quality		*Maximum Level	7	Loss Coeff.	0
Initial Status	Open	Net Inflow	#N/A	*Diameter	20	Fixed Status	None
Effic. Curve	1	Elevation	#N/A	Minimum Volume		Flow	#N/A
Energy Price		Pressure	#N/A	Volume Curve		Velocity	#N/A
Price Pattern		Quality	#N/A	Mixing Model	Mixed	Headloss	#N/A
Flow	#N/A			Mixing Fraction		Quality	#N/A
Headloss	#N/A			Reaction Coeff.		Status	#N/A
Quality	#N/A			Initial Quality			
Status	#N/A			Source Quality			
				Net Inflow	#N/A		
				Elevation	#N/A		
				Pressure	#N/A		

Figura 8: Bomba, diposit, sortidor i vàlvula

Per crear la configuració de la corba característica de la bomba, es selecciona “curve” del desplegable del “browser”.

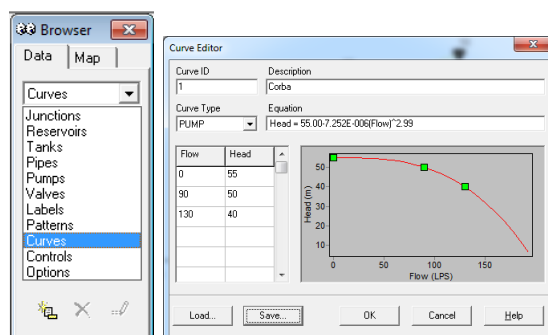


Figura 9: Creació d'una nova corba.

3.4 Anàlisi simple (Net3.net)

Un cop s'ha modelat la xarxa, es pot realitzar una anàlisi hidràulic de règim permanent⁴. El primer que s'ha de fer és guardar el model⁵, seguidament, per executar-lo cal fer clic al botó **Menu/Project/Run Analysis**.

Si tot ha anat bé i el model és correcte, hauria de sortir la següent finestra informativa.

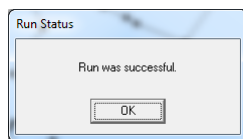


Figura 10: Execució correcta.

Aquesta acció genera diferents resultats accessibles des de **Menu/Report**. Alguns d'aquests resultats són:

3.4.1 Status report

S'hi pot accedir des de **Menu/Report/Status** i conté el log de tots els esdeveniments generats durant la simulació. El resultat per aquesta simulació es pot veure en l'**annex A.2**.

3.4.2 Energy report

S'hi pot accedir des de **Menu/Report/Energy** i conté una taula amb el comportament de les bombes en la simulació.

⁴Les necessitats dels diferents nusos no varien en funció del temps

⁵El format d'emmagatzemament per defecte dels projectes és binari (.net).

Energy Report						
Table Chart						
Pump	Percent Utilization	Average Efficiency	Kw-hr /Mgal	Average Kwatts	Peak Kwatts	Cost /day
10	58.33	75.00	313.57	62.06	62.76	0.00
335	28.74	75.00	394.08	309.38	310.79	0.00
Total Cost						0.00
Demand Charge						0.00

Figura 11: Taula d'energia de les bombes.

3.4.3 Balanç

S'hi pot accedir des de **Menu/Report/Graph** seleccionant *System Flow* com a tipus de graf.

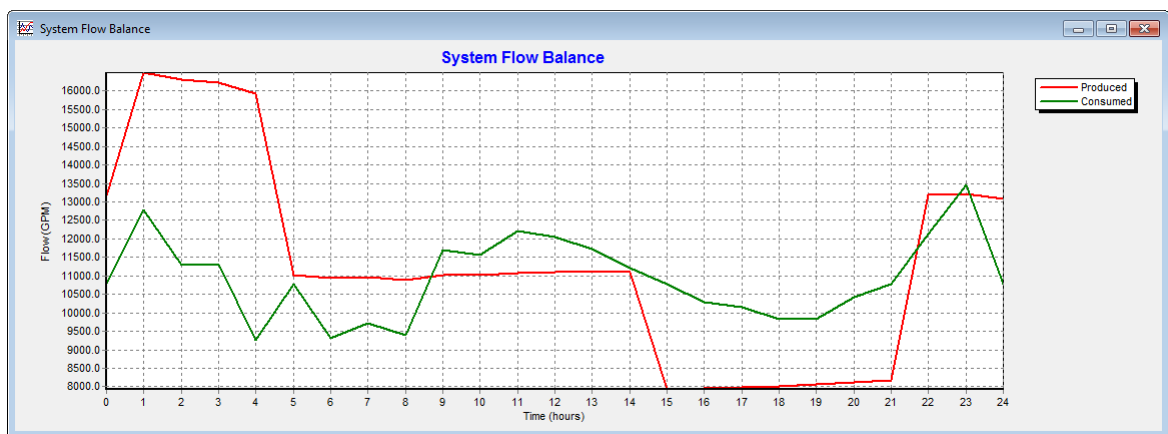


Figura 12: Balanç de la demanda.

3.4.4 Taula de resultats

S'hi pot accedir des de **Menu/Report/Table** i conté una taula amb el valor dels paràmetres indicats en funció del temps.

The screenshot shows the EPANET 2 software interface. The title bar reads "EPANET 2 - Net3.net - [Network Table - Nodes at 0:00 Hrs]". The menu bar includes File, Edit, View, Project, Report, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations, editing, and viewing. The main window displays a table with the following columns: Node ID, Demand GPM, Head ft, Pressure psi, and Trace Lake percent. The table lists data for 25 nodes, from Junc 10 to Junc 125. The status bar at the bottom shows "Auto-Length Off", "GPM", a small icon, "100%", and "X,Y: 2,25, 32,61".

Node ID	Demand GPM	Head ft	Pressure psi	Trace Lake percent
Junc 10	0.00	145.52	-0.64	0.00
Junc 15	620.00	125.81	40.65	0.00
Junc 20	0.00	158.00	12.57	0.00
Junc 35	1637.00	145.74	57.73	0.00
Junc 40	0.00	145.00	5.68	0.00
Junc 50	0.00	140.00	10.18	0.00
Junc 60	0.00	209.01	90.56	0.00
Junc 601	0.00	302.45	131.05	0.00
Junc 61	0.00	302.45	131.05	0.00
Junc 101	254.53	145.52	44.86	0.00
Junc 103	178.49	145.49	44.41	0.00
Junc 105	181.40	146.83	51.27	0.00
Junc 107	73.22	146.82	54.09	0.00
Junc 109	310.08	145.49	54.25	0.00
Junc 111	190.20	146.11	58.98	0.00
Junc 113	26.81	146.15	62.46	0.00
Junc 115	69.81	146.92	57.59	0.00
Junc 117	157.73	150.03	59.12	0.00
Junc 119	236.01	157.55	67.40	0.00
Junc 120	0.00	155.12	67.21	0.00
Junc 121	55.78	161.01	70.63	0.00
Junc 123	0.00	165.47	66.93	0.00
Junc 125	61.10	160.43	64.75	0.00

Figura 13: Taula de resultats de l'execució.

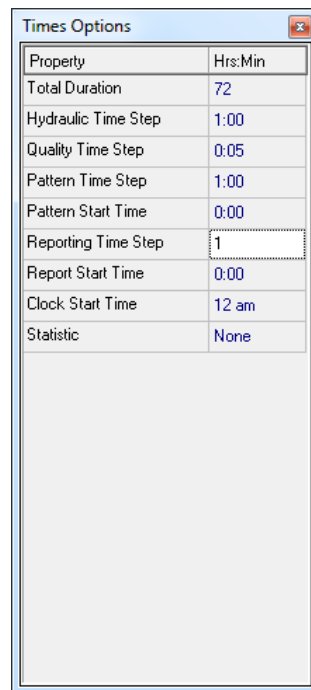
3.4.5 Full report

S'hi pot accedir des de **Menu/Report/Full** i genera un fitxer *.rep* que es pot obrir amb altres eines com el *Crystal reports viewer*[6] de *SAP* per interpretar el seu contingut.

3.5 Període variant

Per fer el model més realista, es pot adaptar perquè la demanda dels nodes variï en funció del temps, això s'aconsegueix gràcies a un patró que s'assigna als components.

Per posar un exemple, es configura la xarxa de tal manera que la simulació tingui una durada de 72 hores i que el patró dels components canviï cada hora. Per a establir aquesta configuració s'ha de seleccionar l'opció **Browser/Options/Time** i assignar un valor de 72 a la variable *Total duration* i un valor d'1 a la variable *Pattern time step*.



The image shows a 'Times Options' dialog box with a table of configuration parameters. The table has two columns: 'Property' and 'Hrs:Min'. The parameters are as follows:

Property	Hrs:Min
Total Duration	72
Hydraulic Time Step	1:00
Quality Time Step	0:05
Pattern Time Step	1:00
Pattern Start Time	0:00
Reporting Time Step	1
Report Start Time	0:00
Clock Start Time	12 am
Statistic	None

Figura 14: Configuració dels intervals de temps.

Un cop es té configurada la freqüència de variació, cal configurar el grau de demanda a cada interval, per fer això s'han de crear patrons i es pot fer des de **Browser/Options/Patterns**.

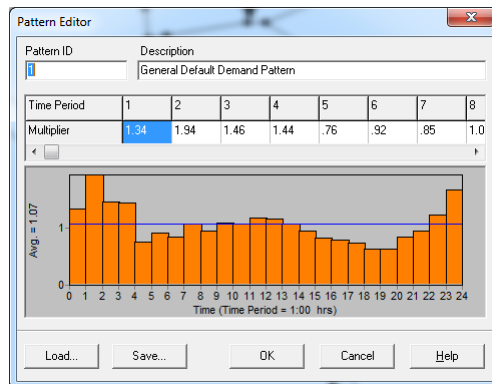


Figura 15: Configuració del patró pel temps.

Un cop es té creat el patró, s'ha d'assignar, per a fer això hi ha dues opcions:

- Configurar cada node amb el patró (permet tenir nodes amb diferents patrons).

Junction 101	
Property	Value
Junction ID	101
X-Coordinate	13.81
Y-Coordinate	22.94
Description	
Tag	
Elevation	42
Base Demand	189.95
Demand Pattern	1
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	254.53
Total Head	145.52
Pressure	44.86
Quality	0.00

Figura 16: Configuració d'un node

- Establir una configuració global per tots els nodes des de **Menu/Project/Defaults.../Hydraulics**.

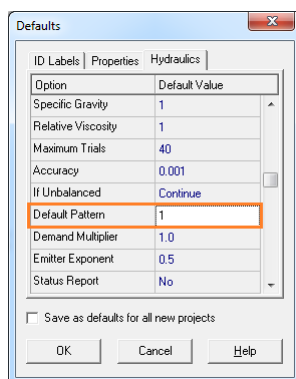


Figura 17: Configuració global

Configurada la xarxa, es pot executar i obtenir uns resultats, on aquest cop, varien les propietats dels components en funció del temps.

3.6 Propietats

En aquest apartat es descriuen algunes de les propietats del programa.

3.6.1 Algorismes utilitzats en l'anàlisi

En el manual d'usuari[2] es descriuen detalladament els algorismes utilitzats en l'informe de resultats de la qualitat de l'aigua.

3.6.2 Format dels fitxers d'exportació

Els fitxers d'exportació que es generen des de *EPANET* i que llavors es poden importar a altres eines, estan definits per un seguit de capçaleres juntament amb les seves propietats, on cada capçalera correspon a un component representable. En la següent imatge es llisten els components disponibles.

<i>Componentes de la Red</i>	<i>Funcionamiento del Sistema</i>	<i>Calidad del Agua</i>	<i>Opciones e Informes</i>	<i>Plano y Etiquetas de Red</i>
[TITLE]	[CURVES]	[QUALITY]	[OPTIONS]	[COORDINATES]
[JUNCTIONS]	[PATTERNS]	[REACTIONS]]	[VERTICES]
[RESERVOIR S]	[ENERGY]	[SOURCES]	[TIMES]	[LABELS]
[TANKS]	[STATUS]	[MIXING]	[REPORT]	[BACKDROP]
[PIPERES]	[CONTROLS]			[TAGS]
[PUMPS]	[RULES]			
[VALVES]	[DEMANDS]			
[EMITTERS]				

Figura 18: Representació dels components d'EPANET

Per exemple, per exportar la xarxa desenvolupada en la secció 3.3 (Exemple.net) s'ha d'accedir a **Menu/Export/Map** i seleccionar el format en que es vol exportar, en aquest cas s'exportarà la xarxa sencera, i per això, es selecciona *Network...* Aquest procés generarà un fitxer amb extensió *.inp* que inclou totes les propietats de la xarxa.

El contingut de l'arxiu per aquesta xarxa es pot veure en l'**annex A.1**.

3.6.3 Interpretació dels errors

En el moment d'executar la simulació, es poden produir diversos errors en l'anàlisi, alguns exemples són:

- **error 101:** Anàlisi interromput per falta de memòria.
- **error 110:** Anàlisi interromput degut a que les equacions hidràuliques establertes no es poden resoldre.
- **error 202:** Valor numèric il·legal assignat a una propietat.

El llistat complet dels errors es pot consultar en l'annex B del manual d'usuari[2].

3.7 Altres exemples

Alguns exemples de models de xarxes extretes d'Internet.

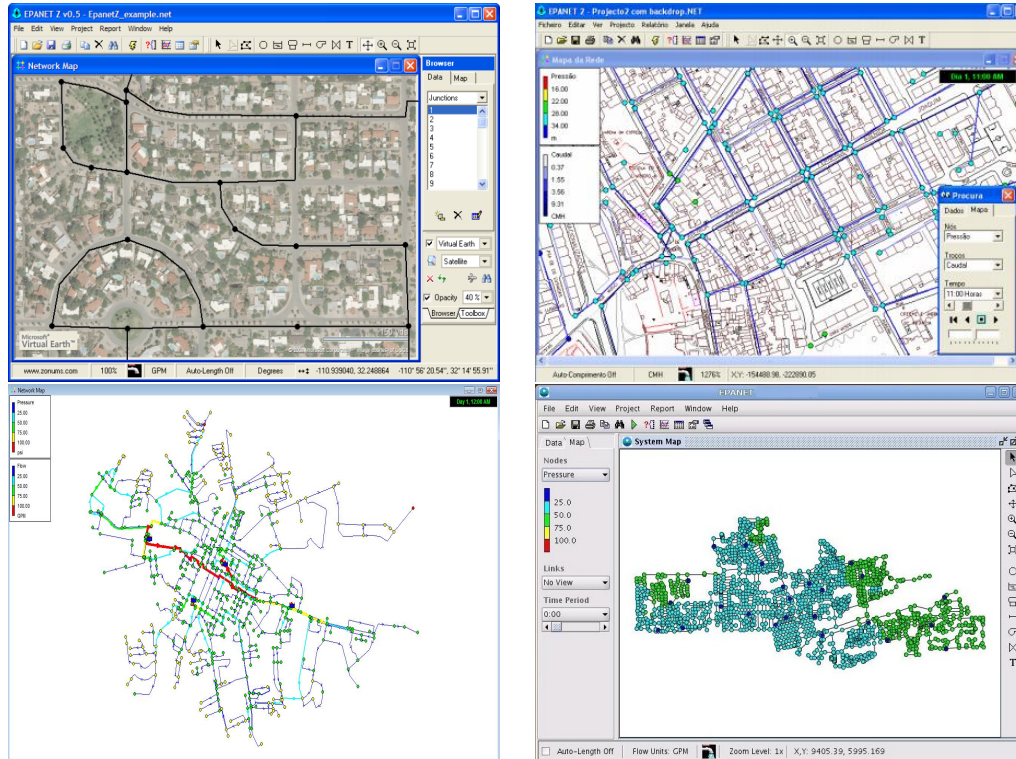


Figura 19: Exemple de xarxes extretes d'Internet.

3.8 Conclusió d'EPANET

L'eina EPANET és intuïtiva i senzilla d'utilitzar, pot carregar models que estan en diferents formats, i de cara al problema plantejat en la secció 1 pot ser útil a l'hora de modelar la xarxa que s'ha d'analitzar.

4 TEVA-SPOT Toolkit

En aquesta secció es mostra com es pot modelar un problema de posicionament de sensors sobre una xarxa de distribució d'aigua, utilitzant l'eina TEVA-SPOT.

És important assegurar que el model a utilitzar s'executa correctament utilitzant l'eina *EPANET*.

4.1 Instal·lació

Aquesta eina disposa d'una línia de comandes i d'una interfície gràfica, segons les necessitats de cada usuari es pot utilitzar una versió del programa o un altre.

4.1.1 Línia de comandes

Descarregar els binaris del programa [4].

4.1.2 Interfície gràfica

L'eina TEVA-SPOT Toolkit també disposa d'una interfície gràfica[5] per facilitar i agilitzar la seva utilització. En aquest document i en la mesura que sigui possible, s'utilitzarà aquesta eina.

Per poder utilitzar-la, cal disposar de:

- Java Developement Kit (JDK) 1.6 actualització 20 o superior.
- Python 2.6 o superior.

Aquestes dependències, cal que estiguin instal·lades abans de començar la instal·lació de TEVA-SPOT.

4.2 Metodologia de posicionament de sensors

Hi ha diferents metodologies per resoldre el problema del posicionament de sensors⁶, la metodologia utilitzada per TEVA-SPOT Toolkit és l'optimització

⁶Metodologies basades en l'opinió d'experts, mètodes de ranking, optimització, etc.

on l'objectiu és trobar una configuració de sensors que minimitzi el risc dels contaminants.

4.3 Estructura de dades

L'estructura de dades que utilitza TEVA-SPOT és jeràrquica, i es pot representar en el següent esquema.

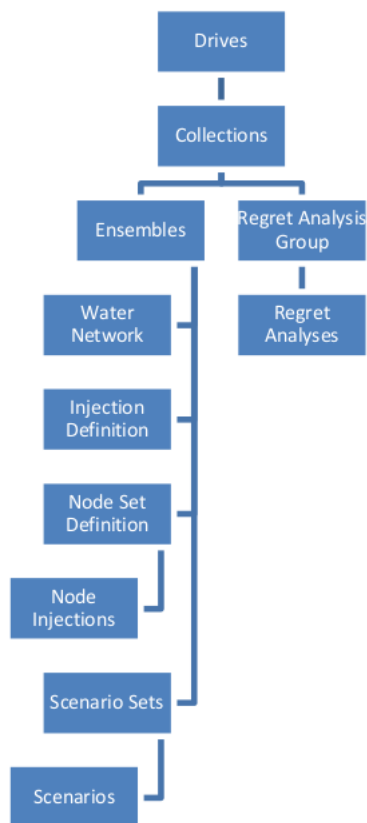


Figura 20: Estructura de dades de TEVA-SPOT.

TEVA-SPOT té dos modes de treball.

- *Ensamble analysis mode*: és el mode a utilitzar per fer l'anàlisi de vulnerabilitat dels contaminants i el disseny de la xarxa de sensors.

- *Regret analysis mode*: és el mode a utilitzar per analitzar la xarxa de sensors.

4.4 Exemple

Per veure el funcionament d'aquesta eina, s'analitzarà una de les xarxes que ja ve com a exemple amb el programa. Aquesta xarxa és la *Net3* i compta amb 97 nodes.

En aquesta secció es seguiran 5 passos.

1. Definir l'estructura del projecte.
2. Simulació d'incidents contaminants.
3. Computar l'impacte dels contaminants.
4. Configuració de l'anàlisi.
5. Posicionament de sensors.

4.4.1 Definir l'estructura del projecte

El primer que cal fer per començar a treballar amb TEVA-SPOT és definir un ensamblat, per això cal anar a **Ensamble/New** i donar-li un nom, aquest procés crearà un nou ensamblat.

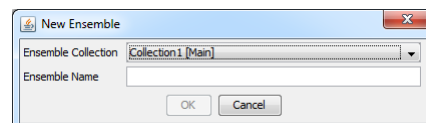


Figura 21: Nou ensamblat.

Fet això, s'ha d'importar la xarxa generada amb EPANET des de **Ensamble/Import EPANET .inp File...**

4.4.2 Simulació d'incidents contaminants

Un cop importada la xarxa, s'han de definir els contaminants, per això cal obrir el menú **Ensamble/Execution Control** i editar l'escenari (*Scenarios*).

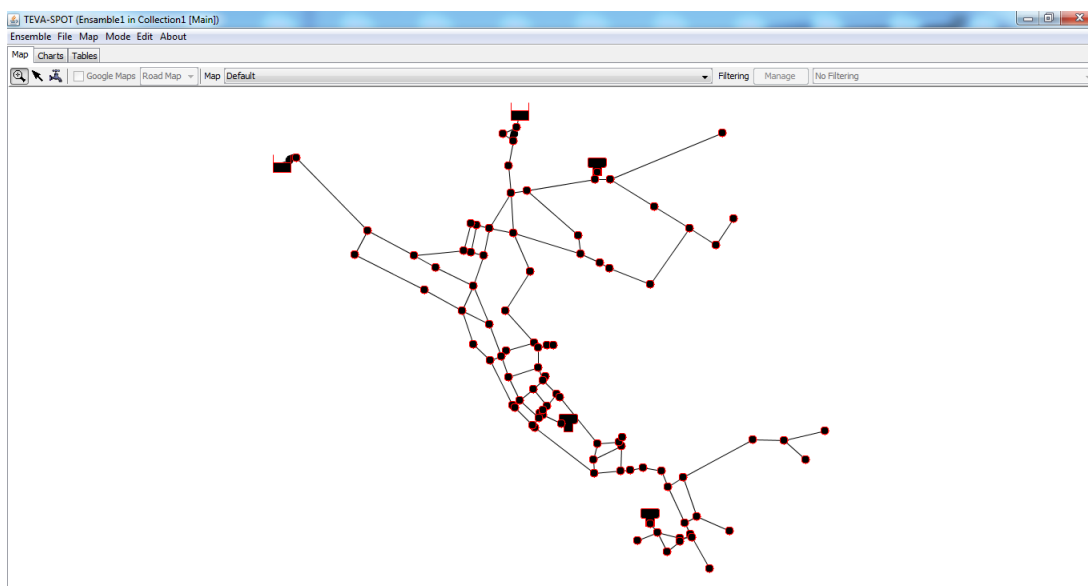
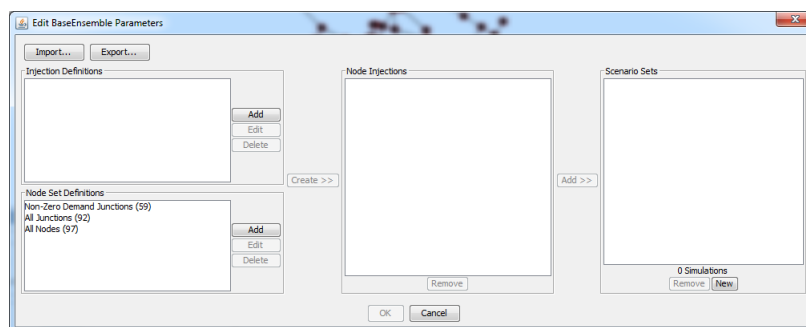
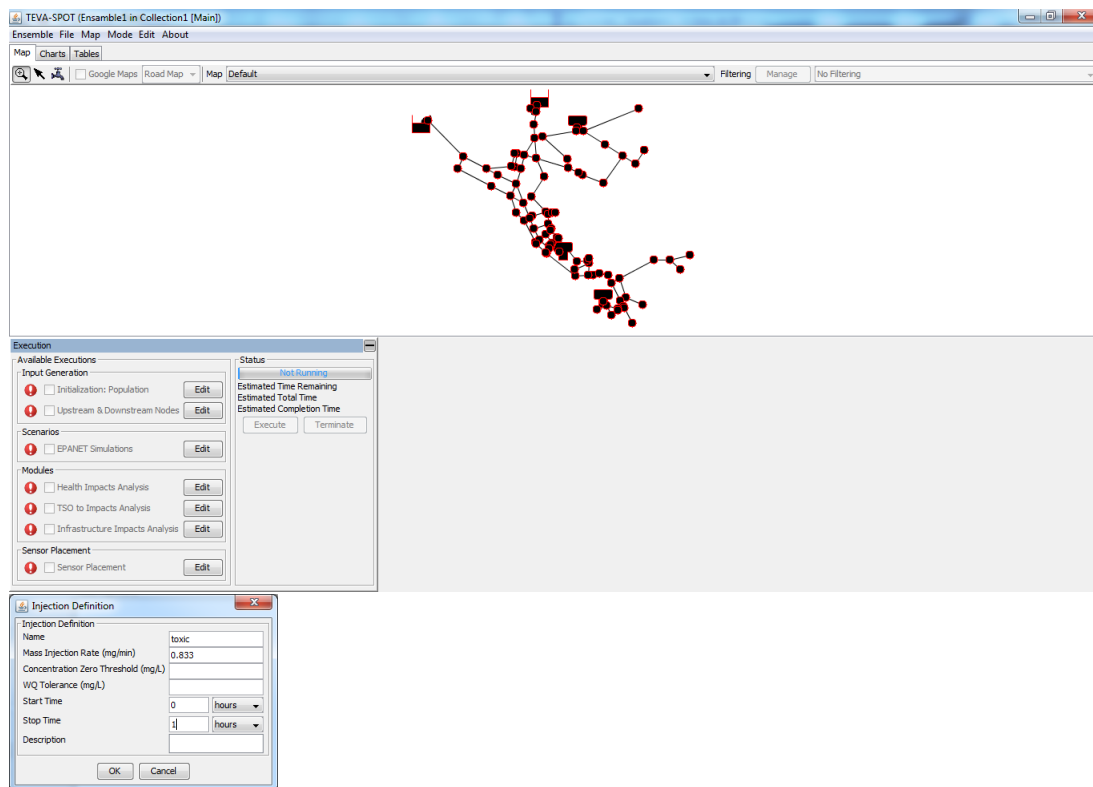


Figura 22: Importar la xarxa creada amb EPANET.





Aquest contaminant es pot evocar en:

- Non-Zero Demand Junction.
- All Junctions.
- All Nodes.
- Nova configuració creada des del botó *Add*

A partir del contaminant i l'estratègia de distribució, es crea un *Node Injection*. Finalment es crea un *Scenario Set*, que no és res més que una carpeta que defineix un conjunt d'*injection nodes* o *scenarios*, la configuració ha de quedar de la següent manera.

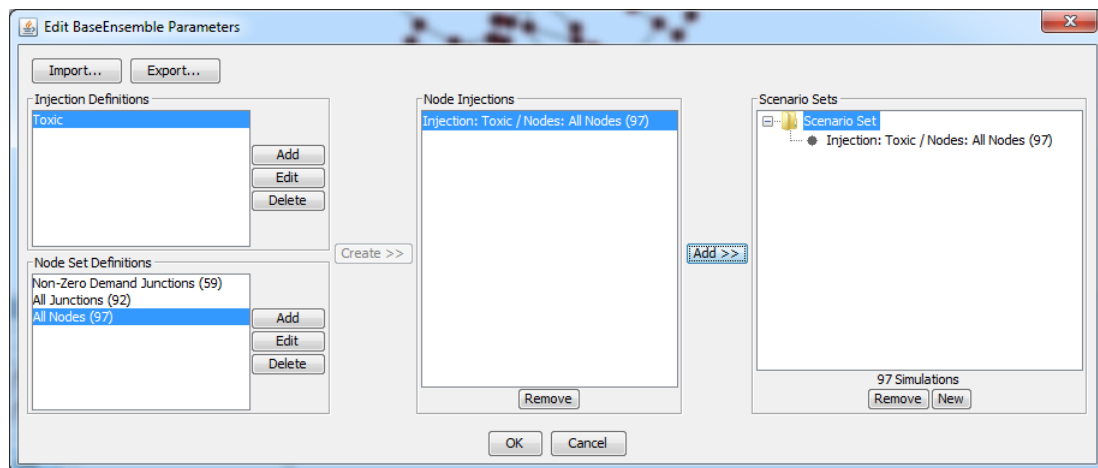


Figura 23: Configuració dels contaminants.

4.4.3 Computar l'impacte dels contaminants

En base a la configuració dels contaminants que s'ha fet en la secció 4.4.2, es segueix amb l'execució de la simulació per veure com afecta el contaminant a la xarxa.

Per això es selecciona l'escenari (*EPANET Simulations*) i s'executa (*Execute*).

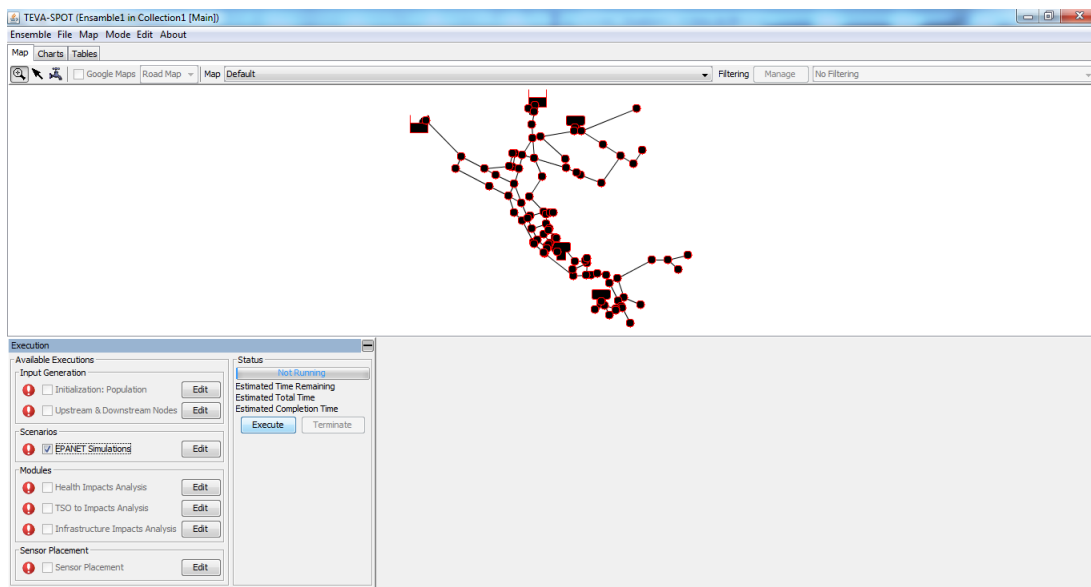


Figura 24: Execució.

En finalitzar l'execució, s'ha de veure un check verd al costat de *EPANET Simulations*

4.4.4 Configuració de l'anàlisi

En la secció *Health Impact Analysis* es pot fer la configuració per analitzar els resultats.

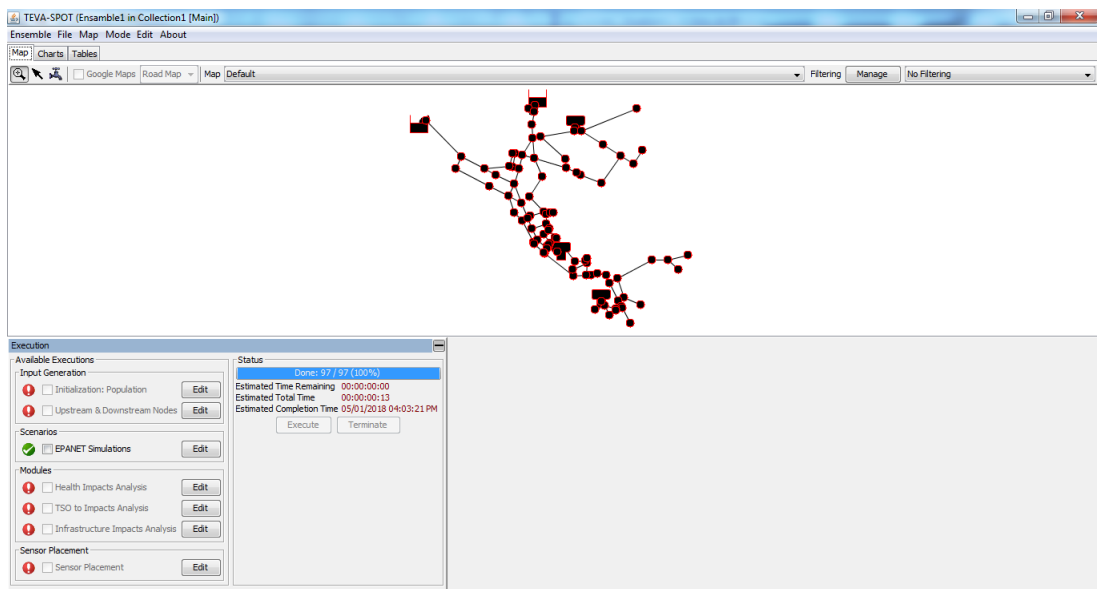


Figura 25: Fi de l'execució.

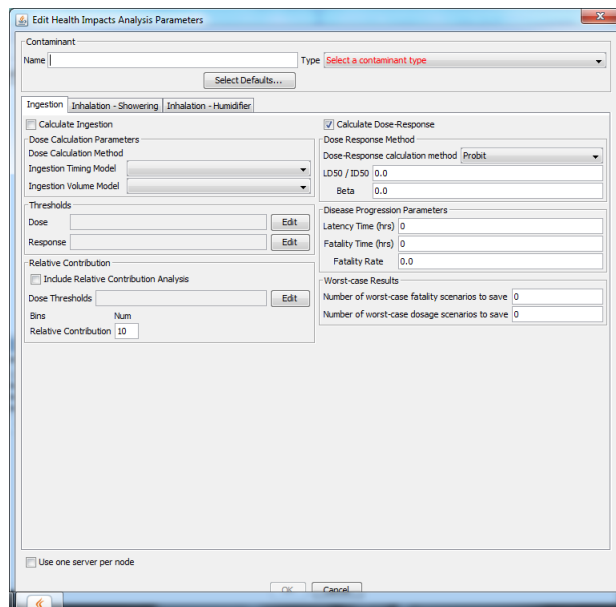


Figura 26: Configuració de l'anàlisi.

4.4.5 Posicionament de sensors

Finalment per configurar el posicionament de sensors, cal editar l'opció *Sensor Placement* i s'obrirà la següent finestra.

4.5 Notes

S'ha considerat que la configuració de l'anàlisi i el posicionament de sensors es treballa a un nivell molt tècnic i s'ha decidit no entrar-hi en detall. Tota aquesta documentació està disponible en el manual d'usuari. [5]

5 Versions utilitzades

Les versions dels programes que s'han utilitzat per desenvolupar aquest projecte són:

- EPANET 2.00.12
- TEVA-SPOT 2.3.2-MSX Beta 20170110
- JDK 1.8.0_111 (Oracle Corporation)
- Python 2.7.14

6 Documentació utilitzada

La documentació disponible i que s'ha seguit per elaborar aquest manual és:

- Manual d'usuari d'EPANET (/docs/EPANET.pdf).
- Manual d'usuari del TEVA-SPOT Toolkit (/docs/TEVA-SPOT.pdf).
 - Introducció.
 - Utilització bàsica.
 - Formulació a utilitzar per presentar un problema de posicionament de sensors.
 - Incidents contaminants i impacte de les mesures.
 - Solvers disponibles.
 - Format de les dades.
- Manual d'usuari per utilitzar la interfície gràfica de TEVA-SPOT Toolkit (/docs/TEVA-SPOT-GUI.pdf).

Referències

- [1] *EPANET*:
<https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- [2] *Documentació EPANET*:
<http://epanet.info/manuales/>
- [3] *TEVA-SPOT*:
<https://software.sandia.gov/trac/spot/wiki>
- [4] *TEVA-SPOT EXECUTABLE*:
<https://software.sandia.gov/trac/spot/downloader>
- [5] *TEVA-SPOT Interfície gràfica*:
https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?subject=Homeland\%20Security\%20Research&dirEntryId=257684
- [6] *Crystal Reports Viewer*:
www.crystalreports.com/crystal-viewer

A Annex

A.1 Xarxa 1

En aquest annex es mostra el contingut del fitxer per la xarxa desenvolupada en aquest document.⁷

```
1 [TITLE]
2
3
4 [JUNCTIONS]
5 ;ID          Elev          Demand          Pattern
6 2            .5            0
7      ;
8 3            3            10
9      ;
10 4            2            5
11     ;
12 5            0.5          5
13     ;
14 6            4            20
15     ;
16 7            17           0
17     ;
18 8            17           0
19     ;
20 9            2            40
21     ;
22
23 [RESERVOIRS]
24 ;ID          Head          Pattern
25 1            0.5
26 11           0
27
28 [TANKS]
29 ;ID          Elevation    InitLevel    MinLevel
30      MaxLevel Diameter    MinVol       VolCurve
31 10          20           38           5.25        2           7
32      0           0
33 12          50           0            10          0           20
34      0           0
35
36 [PIPES]
```

⁷Aquest mateix fitxer es pot trobar en `/xarxes/primer.a.inp`

```

26 ;ID          Diameter      Node1      Node2      Length
27   1          0.3          1          2          1
28   2          0.25         3          4          500
29   8          0.15         5          7          750
30   3          0.25         3          5          500
31   5          0.15         5          6          500
32   6          0.2          6          7          500
33   4          0.2          4          6          500
34   7          0.3          8          10         500
35   0.3          0.012         0          0          0
36 [PUMPS]
37 ;ID          Node1          Node2          Parameters
38   9          2            3            HEAD 1 ;
39
40 [VALVES]
41 ;ID          Node1          Node2          Diameter
42   10         Type Setting      MinorLoss
43   11         PRV  0          7          8          12
44   11         PRV  0          4          9          12
45   11         PRV  0          0          0          0
46
47 [TAGS]
48
49 [DEMANDS]
50 ;Junction      Demand      Pattern      Category
51
52 [STATUS]
53 ;ID          Status/Setting
54
55 [PATTERNS]
56 ;ID          Multipliers
57 ;Exemple de patro de temps
58   1          0.5          1.3          1          1.2
59
60 [CURVES]

```

```

59 ;ID                      X-Value      Y-Value
60 ;PUMP: Corba
61   1                      0              55
62   1                      90              50
63   1                      130             40
64
65 [CONTROLS]
66
67 [RULES]
68
69 [ENERGY]
70   Global Efficiency      75
71   Global Price           0
72   Demand Charge         0
73   Pump 9                 Efficiency 1
74
75 [EMITTERS]
76 ;Junction               Coefficient
77
78 [QUALITY]
79 ;Node                   InitQual
80
81 [SOURCES]
82 ;Node                   Type           Quality      Pattern
83
84 [REACTIONS]
85 ;Type                   Pipe/Tank      Coefficient
86
87
88 [REACTIONS]
89   Order Bulk             1
90   Order Tank             1
91   Order Wall             1
92   Global Bulk            0
93   Global Wall            0
94   Limiting Potential     0
95   Roughness Correlation  0
96
97 [MIXING]
98 ;Tank                   Model
99
100 [TIMES]
101   Duration               72
102   Hydraulic Timestep     1:00
103   Quality Timestep       0:05

```

```

104 Pattern Timestep      6
105 Pattern Start        0:00
106 Report Timestep      1:00
107 Report Start         0:00
108 Start ClockTime      12 am
109 Statistic            None
110
111 [REPORT]
112 Status                No
113 Summary               No
114 Page                  0
115
116 [OPTIONS]
117 Units                 LPS
118 Headloss              H-W
119 Specific Gravity      1
120 Viscosity             1
121 Trials                40
122 Accuracy              0.001
123 CHECKFREQ            2
124 MAXCHECK              10
125 DAMPLIMIT            0
126 Unbalanced           Continue 10
127 Pattern              1
128 Demand Multiplier    1.0
129 Emitter Exponent      0.5
130 Quality               None mg/L
131 Diffusivity           1
132 Tolerance             0.01
133
134 [COORDINATES]
135 ;Node                 X-Coord      Y-Coord
136 2                     -2771.19     5118.64
137 3                     -1211.86     5118.64
138 4                     1483.05      5084.75
139 5                     -1161.02     7101.69
140 6                     1449.15      7118.64
141 7                     1415.25      8966.10
142 8                     3347.46      9000.00
143 9                     3398.31      4406.78
144 1                    -3550.85      5220.34
145 10                   4703.39      9457.63
146
147 [VERTICES]
148 ;Link                 X-Coord      Y-Coord

```


149	8	-754.24	8033.90	
150	8	-381.36	8542.37	
151	8	127.12	8813.56	
152	8	737.29	8932.20	
153	3	-1177.97	7016.95	
154	6	1415.25	8898.31	
155				
156	[LABELS]			
157	;X-Coord	Y-Coord	Label & Anchor Node	
158	-4025.42	5067.80	"DIPOSIT"	
159	1855.93	8847.46	"VALVULA"	
160	-2364.41	4983.05	"BOMBA"	
161	1923.73	4593.22	"VALVULA"	
162				
163	[BACKDROP]			
164	DIMENSIONS	0.00	0.00	10000.00
		10000.00		
165	UNITS	None		
166	FILE			
167	OFFSET	0.00	0.00	
168				
169	[END]			

A.2 Report complet d'estat de la xarxa

En aquest annex es mostra el contingut del fitxer generat per epanet de l'estat de la xarxa durant la simulació.

```
1      Page 1                      Tue May 01 14:00:23
2      2018
3
4      *****
5      *                           E P A N E T
6      *                           Hydraulic and Water Quality
7      *                           Analysis for Pipe Networks
8      *                           Version 2.00.12
9      *
10     *****
11
12     Analysis begun Tue May 01 14:00:23 2018
13
14     Hydraulic Status:
15
16     0:00:00: Balanced after 5 trials
17     0:00:00: Reservoir River is emptying
18     0:00:00: Reservoir Lake is closed
19     0:00:00: Tank 1 is filling at 13.10 ft
20     0:00:00: Tank 2 is emptying at 23.50 ft
21     0:00:00: Tank 3 is filling at 29.00 ft
22
23     1:00:00: Pump 10 changed by timer control
24     1:00:00: Balanced after 7 trials
25     1:00:00: Reservoir Lake is emptying
26     1:00:00: Pump 10 changed from closed to open
27
28     2:00:00: Balanced after 3 trials
29     2:00:00: Tank 2 is filling at 20.90 ft
30
31     3:00:00: Balanced after 2 trials
```

31
 32 4:00:00: Balanced after 3 trials
 33
 34 4:13:33: Pump 335 changed by Tank 1 control
 35 4:13:33: Pipe 330 changed by Tank 1 control
 36 4:13:33: Balanced after 4 trials
 37 4:13:33: Pipe 330 changed from closed to open
 38 4:13:33: Pump 335 changed from open to closed
 39
 40 5:00:00: Balanced after 3 trials
 41 5:00:00: Tank 3 is emptying at 34.30 ft
 42
 43 6:00:00: Balanced after 3 trials
 44 6:00:00: Tank 3 is filling at 34.12 ft
 45
 46 7:00:00: Balanced after 3 trials
 47
 48 8:00:00: Balanced after 2 trials
 49
 50 9:00:00: Balanced after 3 trials
 51 9:00:00: Tank 3 is emptying at 35.15 ft
 52
 53 10:00:00: Balanced after 2 trials
 54 10:00:00: Tank 1 is emptying at 22.20 ft
 55
 56 11:00:00: Balanced after 3 trials
 57 11:00:00: Tank 2 is emptying at 27.70 ft
 58
 59 12:00:00: Balanced after 2 trials
 60 12:00:00: Tank 2 is filling at 27.64 ft
 61
 62 13:00:00: Balanced after 3 trials
 63 13:00:00: Tank 1 is filling at 21.73 ft
 64
 65 14:00:00: Balanced after 3 trials
 66
 67 15:00:00: Pump 10 changed by timer control
 68 15:00:00: Balanced after 5 trials
 69 15:00:00: Reservoir Lake is closed
 70 15:00:00: Tank 1 is emptying at 21.98 ft
 71 15:00:00: Tank 2 is emptying at 28.20 ft
 72 15:00:00: Pump 10 changed from open to closed
 73
 74 16:00:00: Balanced after 3 trials
 75

76 17:00:00: Balanced after 2 trials
77
78 18:00:00: Balanced after 3 trials
79
80 19:00:00: Balanced after 2 trials
81
82 20:00:00: Balanced after 3 trials
83
84 21:00:00: Balanced after 2 trials
85
86 21:19:39: Pump 335 changed by Tank 1 control
87 21:19:39: Pipe 330 changed by Tank 1 control
88 21:19:39: Balanced after 5 trials
89 21:19:39: Tank 1 is filling at 17.10 ft
90 21:19:39: Tank 3 is filling at 29.68 ft
91 21:19:39: Pipe 330 changed from open to closed
92 21:19:39: Pump 335 changed from closed to open
93
94 22:00:00: Balanced after 3 trials
95 22:00:00: Tank 1 is emptying at 17.30 ft
96
97 23:00:00: Balanced after 3 trials
98
99 24:00:00: Balanced after 4 trials
100 24:00:00: Tank 1 is filling at 15.79 ft
101
102 Analysis ended Tue May 01 14:00:23 2018