



Projecte final

MÀSTER EN ENGINYERIA INFORMÀTICA

Oscar Galera i Alfaro

*Disseny i implementació de xarxes i sistemes
distribuïts*

15 d'abril de 2018

Índex

1	Problema	3
1.1	Propietats de la xarxa de distribució d'aigua	3
1.2	Propietats dels sensors	3
2	Anàlisi d'eines	4
2.1	EPANET	4
2.2	TEVA-SPOT Toolkit	5
2.2.1	Dependències	6
3	EPANET	7
3.1	Instal·lació	7
3.2	Configuració bàsica de l'entorn	8
3.3	Implementació d'una nova xarxa de distribució	9
3.3.1	Eines	10
3.3.2	Disseny	10
3.4	Anàlisi simple	12
3.5	Anàlisi de període variant	14
3.6	Anàlisi de la qualitat de l'aigua	15
3.7	Propietats	16
3.7.1	Algorismes utilitzats en l'anàlisi	16
3.7.2	Format dels fitxers	16
3.7.3	Interpretació dels errors	17
3.8	Conclusió d'EPANET	18
3.9	Altres exemples	18
4	TEVA-SPOT Toolkit	19
4.1	Instal·lació	19
4.1.1	Linia de comandes	19
4.1.2	Interfície gràfica	19
4.1.3	Configuració	19
4.2	Metodologia de posicionament de sensors	19
4.3	Exemple	19
5	Documentació utilitzada	20
A	Xarxa 1	22

Índex de figures

1	EPANET	4
2	Sandia National Laboratories	5
3	Establir les unitats del sistema internacional.	9
4	Configuració de les propietats dels components gràfics	9
5	Configuració de les dimensions de l'escenari.	10
6	Eines disponibles per la creació de xarxes.	10
7	Diagrama sense connexions.	11
8	Diagrama amb connexions.	11
9	Creació d'una nova corba.	12
10	Execució correcte.	12
11	Taula de resultats de l'execució.	13
12	Configuració dels intervals de temps.	14
13	Configuració del patró pel temps.	15
14	Representació dels components d'EPANET	17
15	Exemple de xarxes extretes d'Internet	18

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 vola 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:

- Tuberies.
- Connexions entre tuberies (nusus).
- Bombes.
- Vàlvules.
- Dipòsits.

EPANET permet saber (en funció del temps):

- Caudal que circula per cada una de les tuberies.

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 mediambient dels estats units d'amèrica amb col·laboració amb els laboratoris *Sandia National Laboratories* i diverses universitats.



Figura 2: Sandia National Laboratories

Aquesta eina està dotada d'una interfície de comandament 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)

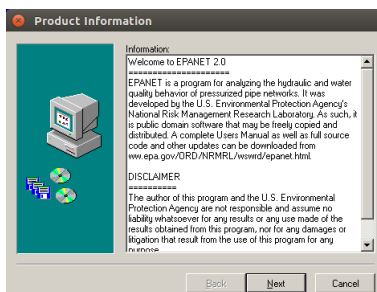
3 EPANET

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

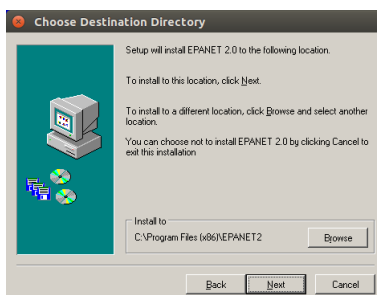
3.1 Instal·lació

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

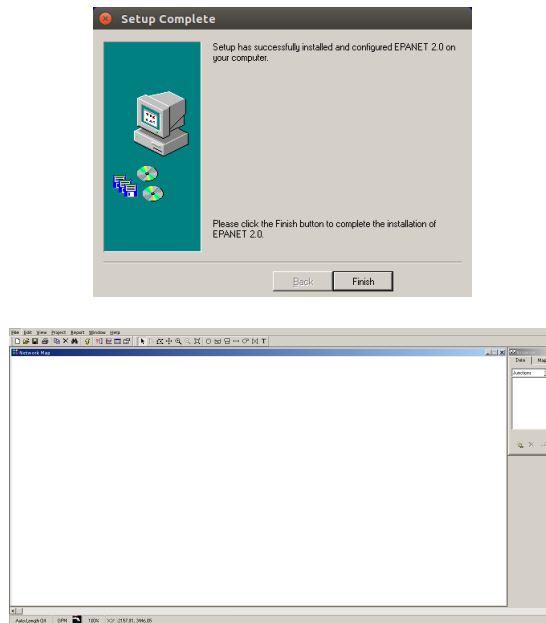
- Descarregar l'executable.
- Doble clic sobre l'executable.
 - Acceptar els termes i condicions.



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



- Finalitzar l'instal·lació.
- Iniciar el programa.



3.2 Configuració bàsica de l'entorn

El primer que cal fer per analitzar una xarxa utilitzant l'eina EPANET és configurar el *layout* del projecte per a que 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 fluxe 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**

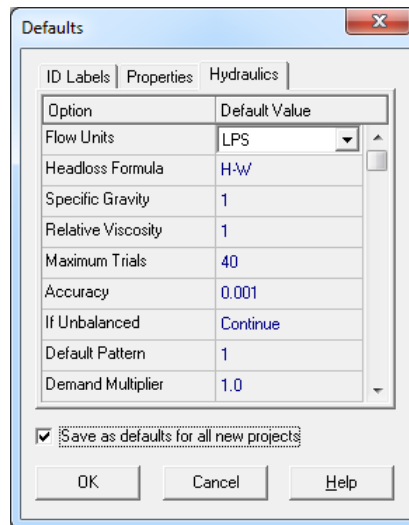


Figura 3: Establir les unitats del sistema internacional.

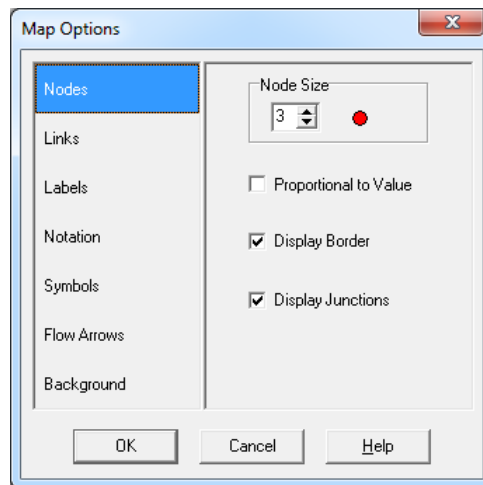


Figura 4: Configuració de les propietats dels components gràfics

3.3 Implementació d'una nova xarxa de distribució

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

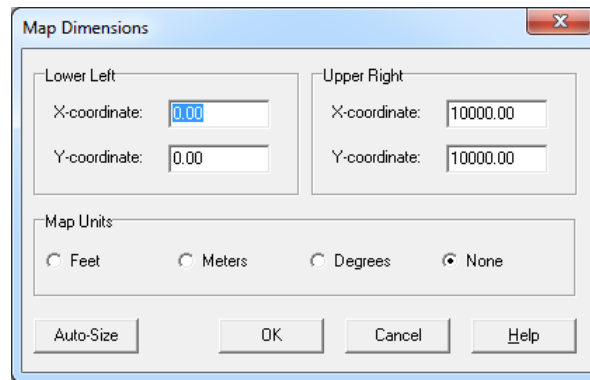


Figura 5: Configuració de les dimensions de l'escenari.

3.3.1 Eines

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

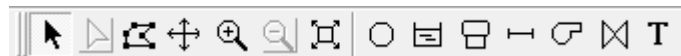


Figura 6: Eines disponibles per la creació de xarxes.

3.3.2 Disseny

En primer lloc repartim els components que componen la xarxa, en aquest disposem de:

- 1 diposit (1)
- 8 nodes (2-9)
- 1 tanc (10)

Aquesta representació quedarà de la següent manera. Ara toca connectar els components a través de tuberies, per això, fem les següents connexions 1-2, 3-4, 4-9, 3-5, 5-6, 5-7³, 6-7, 4-6.

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

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



Figura 7: Diagrama sense connexions.

Tot seguit connectem 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. Un cop es té la distribució dels components, cal assignar les propietats que

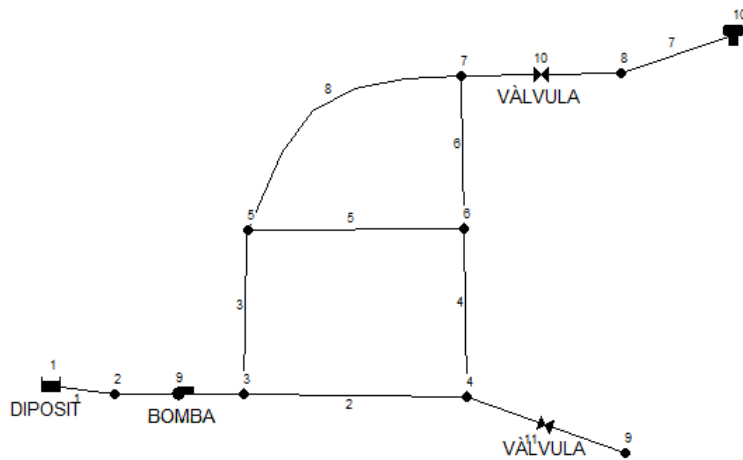


Figura 8: Diagrama amb connexions.

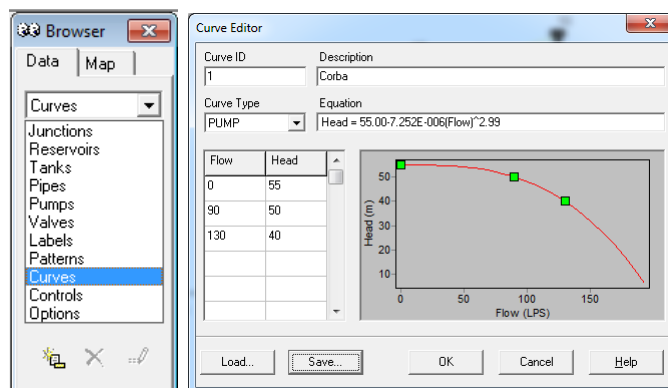


Figura 9: Creació d'una nova corba.

caracteritzen a cada component, per això s'ha de fer doble clic sobre el component i canviar els seus valors.

Per aquest exemple canviarem les següents propietats. Diposit

Tanc

Bomba

Configuració de la corba característica de la bomba, per això seleccionem "curve" del desplegable del "browser" i creem una nova corba.

3.4 Anàlisi simple

Arribats a aquest punt, ja disposem de suficient informació per realitzar un anàlisi hidràulic de regim permanent. El primer que farem és guardar el model⁴, seguidament, per executar el model cal fer clic al botó **Menu/Project/Run Analysis**. Si tot ha anat bé hauria de sortir la següent finestra informativa. Per veure els resultats de l'execució en format de taula, es pot

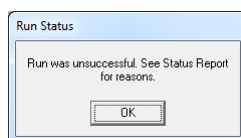
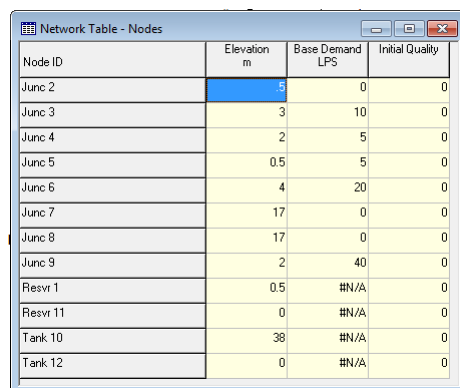


Figura 10: Execució correcte.

⁴El format d'emmagatzemament per defecte dels projectes és binari.

accedir a través de **Menu/Report**, en la següent taula es pot veure el resultat de l'execució per aquest model.



Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Initial Quality
Junc 2	15	0	0
Junc 3	3	10	0
Junc 4	2	5	0
Junc 5	0.5	5	0
Junc 6	4	20	0
Junc 7	17	0	0
Junc 8	17	0	0
Junc 9	2	40	0
Resvr 1	0.5	#N/A	0
Resvr 11	0	#N/A	0
Tank 10	38	#N/A	0
Tank 12	0	#N/A	0

Figura 11: Taula de resultats de l'execució.

3.5 Anàlisi de període variant

Per fer el model més realista, es pot adaptar per a que la demanda dels nodes variï de forma periòdicament en funció del temps, això es farà gràcies a un patró que assignarem com a corba de modulació.

Per aquest exemple, configurarem la xarxa de tal manera que la **necessitat dels nodes variï 4 vegades durant el dia** (cada 6 hores) i la **simulació duri 3 dies** (72 hores). 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 de 6 a la variable *Pattern time step*. Un cop te-

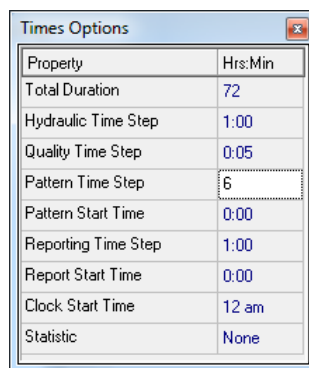


Figura 12: Configuració dels intervals de temps.

nim configurada la freqüència de variació, cal configurar el grau de demanda a cada interval, com que tenim quatre intervals, calen quatre valors que en aquest cas seran [0.5, 1.3, 1.0, 1.2] pels corresponents intervals. Per fer aquesta configuració crearem un patró, i per fer això, anem a **Browser/Options** i els valors assignats han de quedar com en la següent imatge. Un cop es té creat el patró, s'ha d'assignar com a corba de modulació, per a fer això hi ha dues opcions:

- Configurar cada noda amb el patró (3.5).
- Establir una configuració global per tots els nodes (**Menu/Project/Defaults.../Hydraulics**, 3.5).

En aquest punt, tornem a executar el model des de

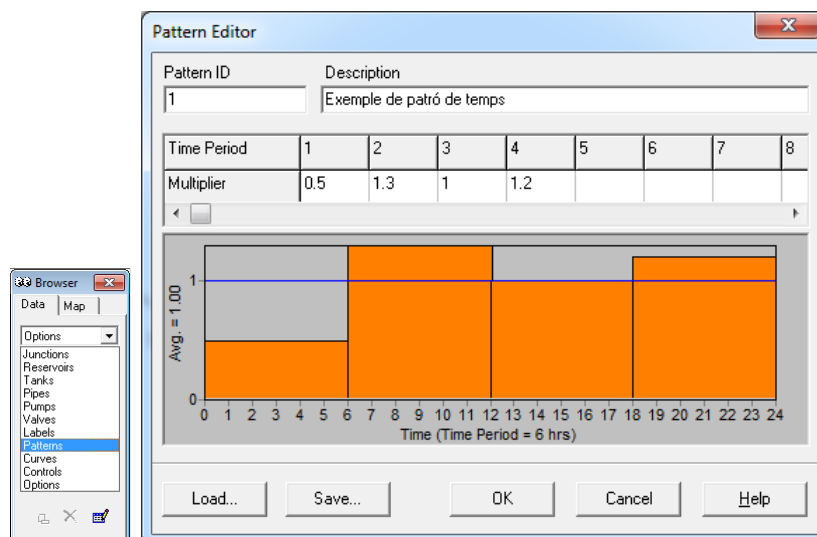
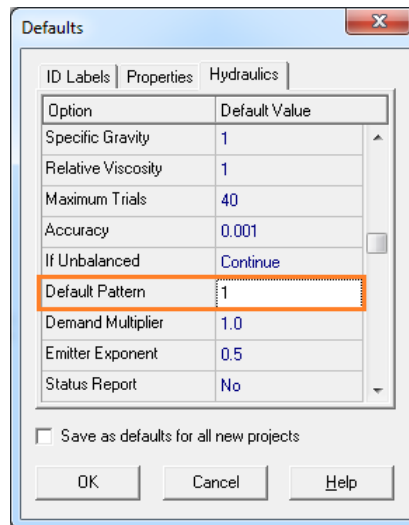


Figura 13: Configuració del patró pel temps.

Junction 3	
Property	Value
*Junction ID	3
X-Coordinate	-1211.86
Y-Coordinate	5118.64
Description	
Tag	
*Elevation	3
Base Demand	10
Demand Pattern	1
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

3.6 Anàlisi de la qualitat de l'aigua

Per veure com es comporta l'aigua a mesura que es distribueix per la xarxa, s'ha implementat una xarxa més senzilla on hi ha un dipòsit d'on surt l'aigua, ha de passar per un node amb una demanda de 5 LPS i finalment arriba al



tanc.

3.7 Propietats

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

3.7.1 Algorismes utilitzats en l'anàlisi

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

3.7.2 Format dels fitxers

Text ASCII Els fitxers de tipus text que es poden importar i exportar des de EPANET estan definits per un seguit de capçaleres i les seves propietats, on cada capçalera correspon a un component representable. En la següent imatge es llisten els components disponibles. Per exemple, per exportar la xarxa desenvolupada en la secció 3.3 s'ha d'accedir a **Menu/Expor/Map** i seleccionar el format que volem exportar, en aquest cas exportarem la xarxa sencera, i per això, seleccionem *Network...* i li assignem un nom. El contingut del arxiu per aquesta xarxa es pot veure en l'annex A.

<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]
[RESERVOIRS]	[ENERGY]	[SOURCES]	[TIMES]	[LABELS]
[TANKS]	[STATUS]	[MIXING]	[REPORT]	[BACKDROP]
[PIPES]	[CONTROLS]			[TAGS]
[PUMPS]	[RULES]			
[VALVES]	[DEMANDS]			
[EMITTERS]				

Figura 14: Representació dels components d'EPANET

3.7.3 Interpretació dels errors

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

- 101: Anàlisi interromput per falta de memòria.
- 110: Anàlisi interromput degut a que les ecuacions hidràuliques establertes no es poden resoldre.
- 202: Valor numèric ilegal assignat a una propietat.

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

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.

3.9 Altres exemples

Alguns exemples de models de xarxes extrets d'Internet.

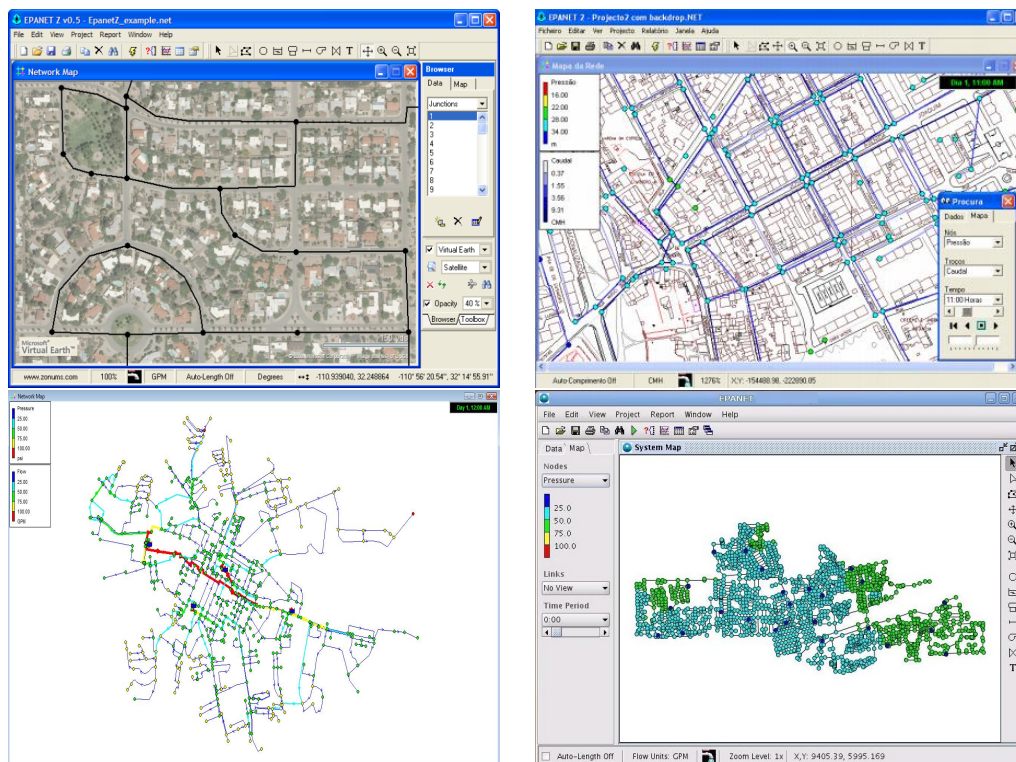


Figura 15: Exemple de xarxes extretes d'Internet

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.

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 una 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.

4.1.3 Configuració

4.2 Metodologia de posicionament de sensors

Hi ha diferents metodologies per resoldre el problema del posicionament de sensors⁵, la metodologia utilitzada per TEVA-SPOT Toolkit és l'optimització on l'objectiu és trobar una configuració de sensors que minimitzi el risc dels contaminants.

4.3 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.

⁵Metodologies basades en l'opinió d'experts, mètodes de ranking, optimització, etc.

5 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](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?subject=Homeland\%20Security\%20Research&dirEntryId=257684)

A Xarxa 1

En aquest annex es mostra el contingut del fitxer per la xarxa desenvolupada en aquest document.⁶

```

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
29 [TANKS]
30 ;ID          Elevation    InitLevel    MinLevel
31 ;MaxLevel    Diameter     MinVol       VolCurve
32 10           20           38           5.25       2           7
33 ;
34 12           50           0            10         0           20
35 ;
36
37 [PIPES]
38 ;ID          Node1        Node2        Length
39 ;Diameter    Roughness    MinorLoss    Status

```

⁶Aquest mateix fitxer es pot trobar en /xarxes/primera.inp

```

27 1          1          2          1
28      0.3      0.0012      0      Open      ;
29 2          3          4          500
30      0.25      0.0012      0      Open      ;
31 8          5          7          750
32      0.15      0.0012      0      Open      ;
33 3          3          5          500
34      0.25      0.0012      0      Open      ;
35 5          5          6          500
36      0.15      0.012      0      Open      ;
37 6          6          7          500
38      0.2      0.012      0      Open      ;
39 4          4          6          500
40      0.2      0.0012      0      Open      ;
41 7          8          10          500
42      0.3      0.012      0      Open      ;
43
44 [PUMPS]
45 ;ID          Node1          Node2          Parameters
46 9          2          3          HEAD 1      ;
47
48 [VALVES]
49 ;ID          Node1          Node2          Diameter
50      Type      Setting      MinorLoss
51 10          7          8          12
52      PRV      0          0          ;
53 11          4          9          12
54      PRV      0          0          ;
55
56 [TAGS]
57
58 [DEMANDS]
59 ;Junction          Demand          Pattern          Category
60
61 [STATUS]
62 ;ID          Status/Setting
63
64 [PATTERNS]
65 ;ID          Multipliers
66 ;Exemple de patro de temps
67 1          0.5          1.3          1          1.2
68
69 [CURVES]
70 ;ID          X-Value          Y-Value
71 ;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]			