



5. ESTUDI DE CABALS ACTUALS

5.1. CABALS CAPTATS SUBMINISTRATS

El SMA, de MIAG, disposa de comptadors a la sortida de les captacions indicades a l'inventari de la xarxa.

Les dades dels volums captats i subministrats diferenciats per municipi en els darrers anys es recull a la taula següent:

Xarxa MIAG	Any 2019	Any 2020	Any 2021	Any 2022	Any 2023
Cabal subministrat (m3/any)	509.562	662.624	617.170	643.282	524.071
Garriguella	24.611	126.075	162.134	163.441	112.912
Vilajuïga	95.570	98.007	108.369	101.609	90.875
Pau	42.547	37.890	66.894	78.081	58.740
Palau-Saverdera	214.548	220.183	230.837	225.746	219.572
Pedret i Marzà	0	0	41.909	46.014	36.014

Taula 11. Cabal subministrat en m3 per municipis. Font. AGBAR

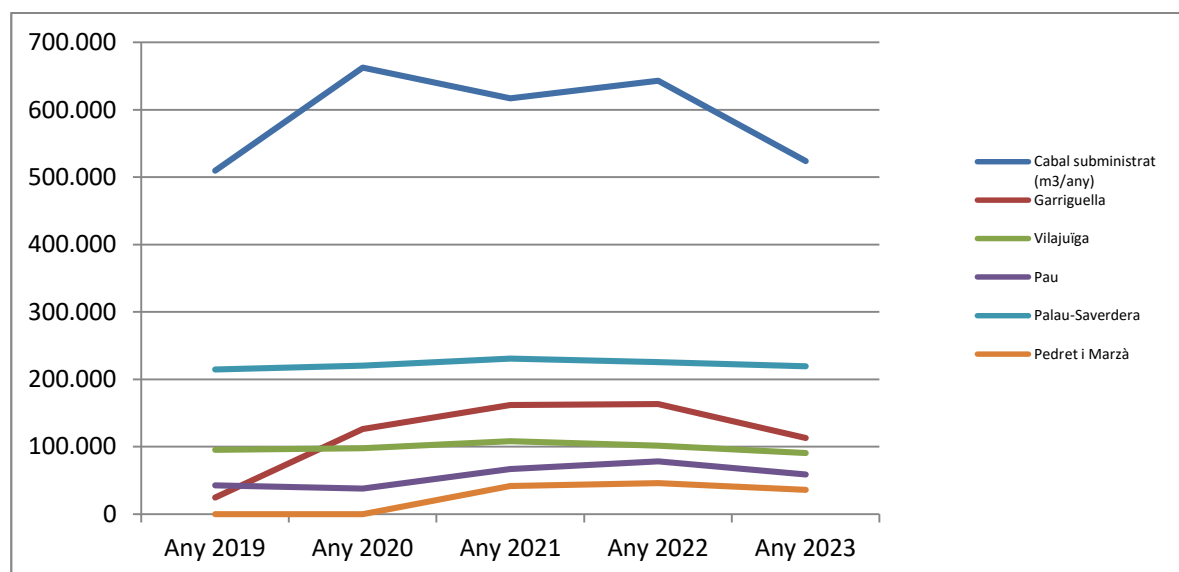


Figura 23. Cabal subministrat en m3 per municipis. Font. AGBAR

L'aigua subministrada prové íntegrament dels pous Peralada (2022, 2023 i 2024), tot i que cal remarcar que es disposa de dues fonts més auxiliars d'abastament que són aigua de la Mancomunitat de les Alberes i connexió a la xarxa del Consorci de la Costa Brava a la conducció de Llançà. L'any 2019 l'aigua provinent de les captacions auxiliars va ser de 32.878 m3/any, representant un 6% de l'aigua subministrada.

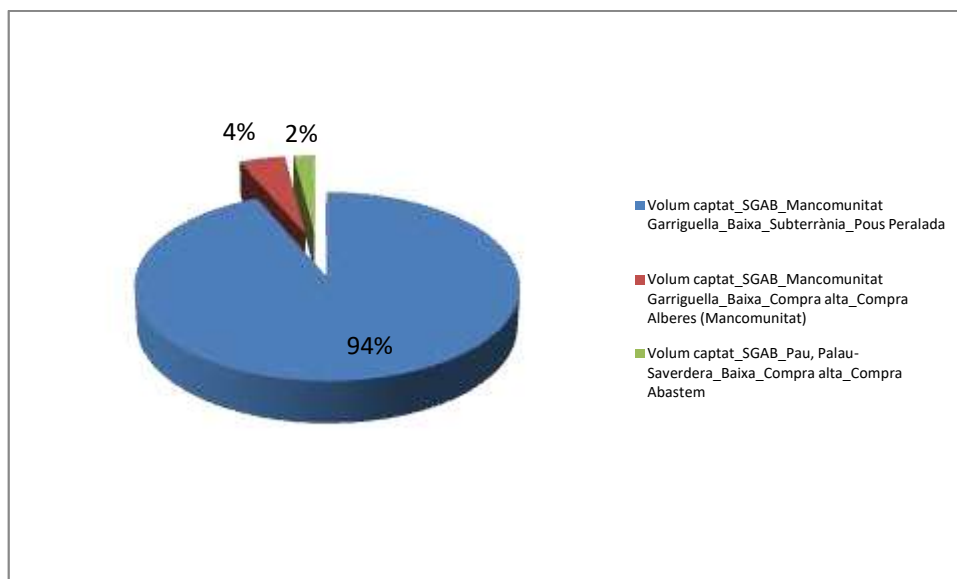


Figura 24. Cabal subministrat any 2019 en m3 per fonts de subministre. Font. AGBAR

Pel que fa al municipi de Pau la evolució del total del cabal subministrat es recull a la taula següent:

Xarxa MIAG	Any 2019	Any 2020	Any 2021	Any 2022	Any 2023
Cabal subministrat (m3/any)	509.562	662.624	617.170	643.282	524.071
Pau	42.547	37.890	66.894	78.081	58.740

Taula 12. Cabal subministrat en m3. Font. AGBAR

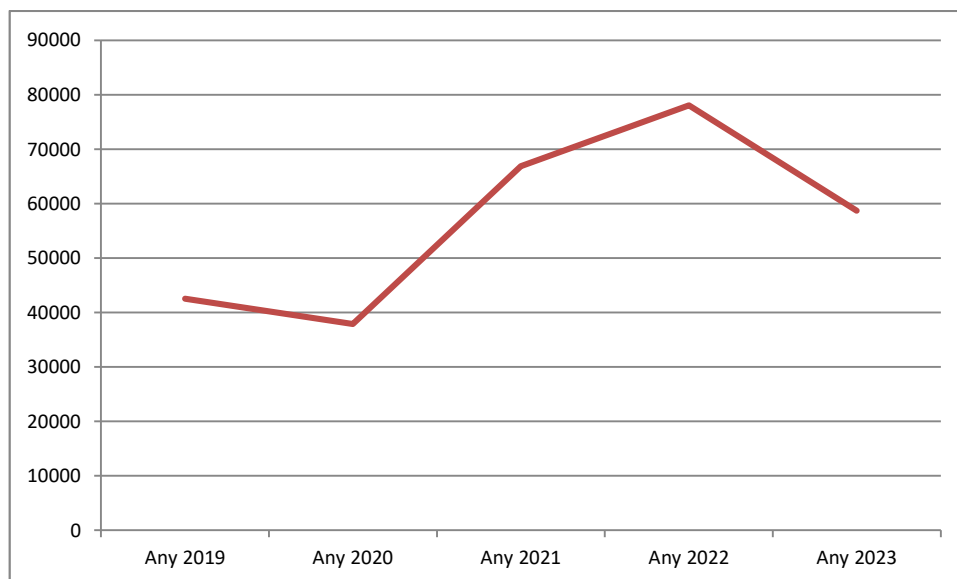


Figura 25. Evolució cabals subministrats Pau

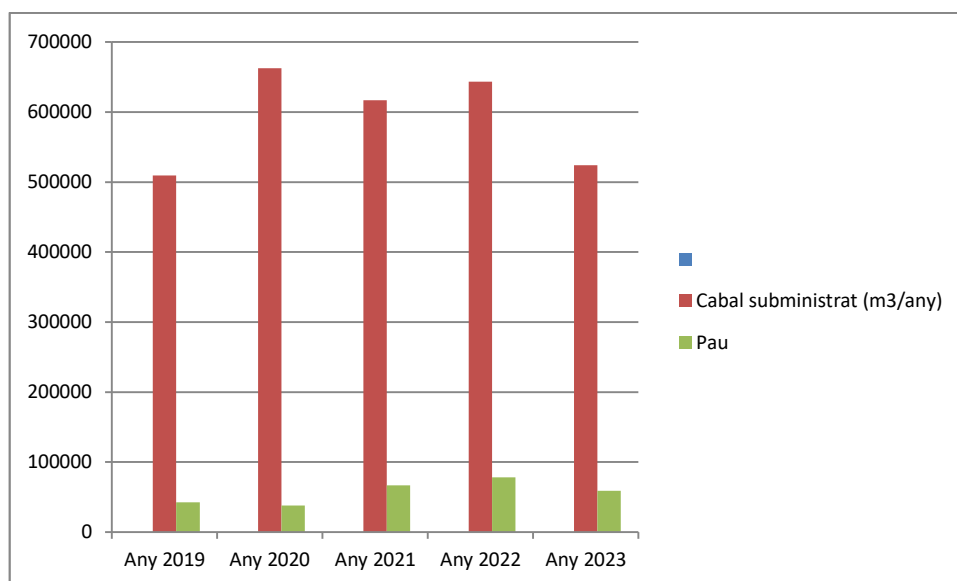


Figura 26. Evolució cabals subministrats Pau

Cal remarcar que les dades corresponents als anys 2019 i 2020 segurament hi ha un error de comptatge perquè els cabals són inferiors als cabals consumits. El cabal subministrat a Pau suposa aproximadament el 11,42% del total del MIAG. Per aquest càlcul no s'han tingut en compte els valors dels anys 2019 i 2020,

Com es visualitza a la gràfic els cabals són molt variables al llarg dels darrers anys, amb una baixada molt significativa l'any 2023 motivat probablement pels efectes de la sequera.

5.2. CABALS REGISTRATS I FACTURATS

Existeixen comptadors individuals per a tots els abonats al SMA.

Els consums registrats pels comptadors en baixa del SMA expressats en m³ dels darrers cinc anys, queden expressats a la taula següent:

Xarxa MIAG	Any 2019	Any 2020	Any 2021	Any 2022	Any 2023
Cabal consumit (m3/any)	367.048	330.671	360.695	372.767	320.870
Garriguella	93.187	76.452	85.455	85.213	74.215
Vilajuïga	76.888	76.010	73.820	79.403	62.451
Pau	58.850	54.045	60.562	61.357	56.156
Palau-Saverdera	119.696	107.431	122.368	128.354	111.405
Pedret i Marçà	18.427	16.733	18.490	18.440	16.643

Taula 13. Cabal consumits en m³. Font. AGBAR



A continuació, es pot observar l'evolució en els darrers cinc anys del consum general, on s'observa davallada del consum durant episodi de pandèmia al 2019:

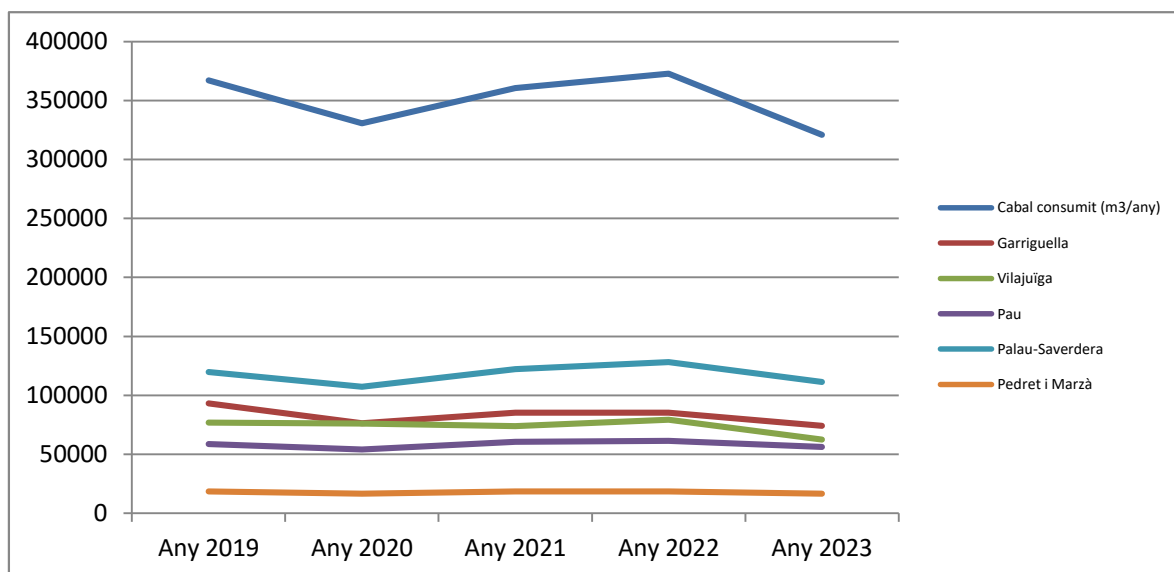


Figura 27. Evolució cabals consumits.

Pel que fa al municipi de Pau la evolució del total del cabal consumit es recull a la taula següent:

Xarxa MIAG	Any 2019	Any 2020	Any 2021	Any 2022	Any 2023
Cabal consumit (m3/any)	367.048	330.671	360.695	372.767	320.870
Pau	58.850	54.045	60.562	61.357	56.156

Taula 14. Cabal consumits en m3. Font. AGBAR

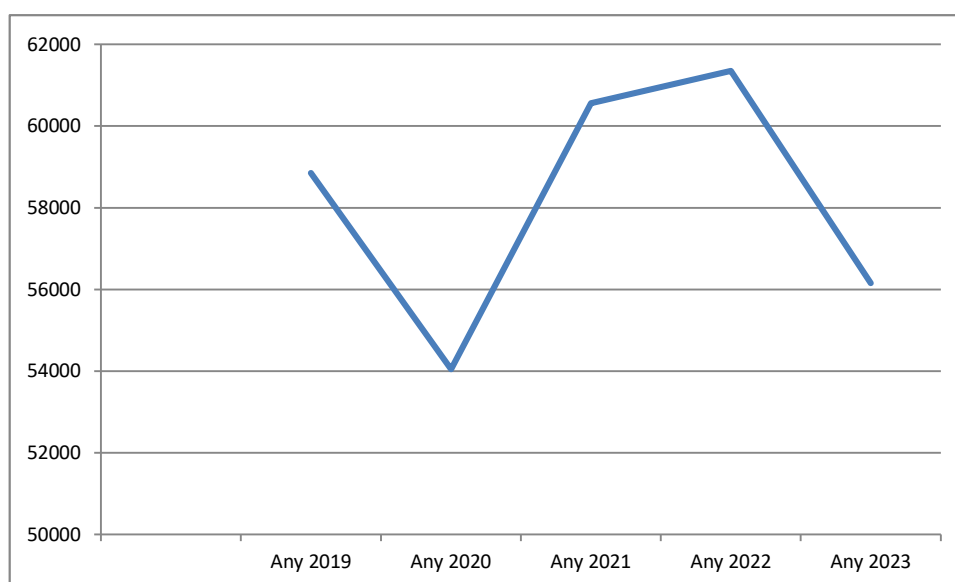
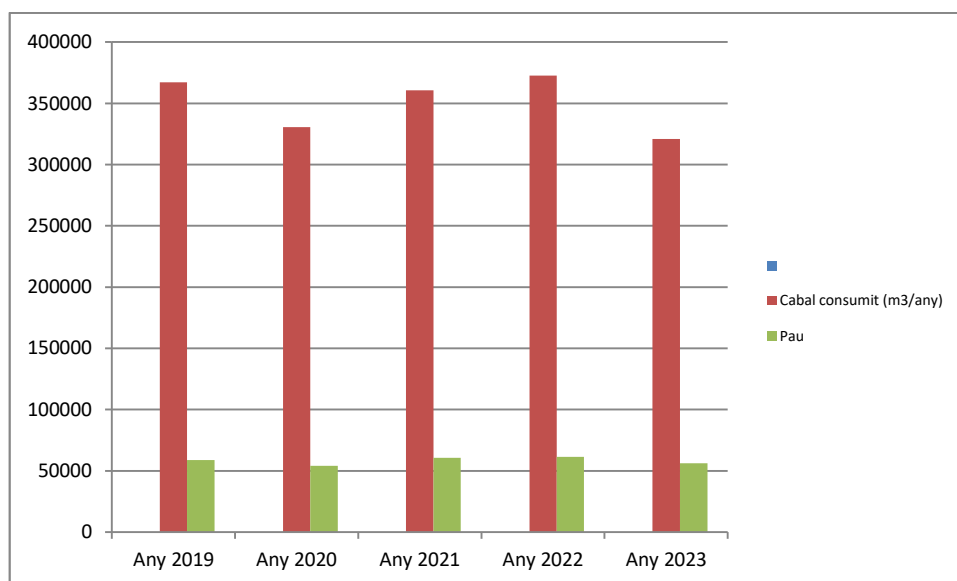


Figura 28. Evolució cabals consumits

*Figura 29. Evolució cabals consumits*

El cabal consumit a Pau suposa aproximadament el 16,6%.

Com es visualitza a la gràfic els cabals són bastant constants al llarg dels darrers anys, amb una baixada l'any 2020 i l'any 2023 motivat probablement pels efectes de la sequera.

Es disposen dades de la distribució de cabals consumits per trimestres i usos de l'any obtenint la següent distribució:

Cabals consumits Pau	1T	2T	3T	4T	Total anual
Any 2019	11.092	18.625	18.804	10.329	58.850
Any 2020	8.845	15.528	20.084	9.588	54.045
Any 2021	11.182	20.241	19.811	9.328	60.562
Any 2022	9.679	18.402	22.576	10.700	61.357
Any 2023	10.062	16.557	18.425	11.112	56.156

Taula 15. Cabal consumit en m3. Font. AGBAR

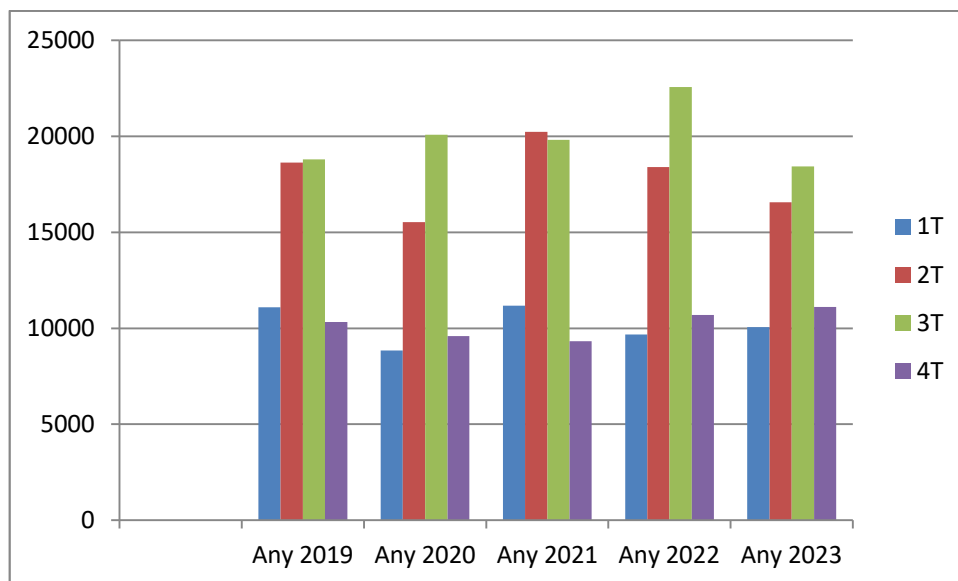


Figura 30. Evolució cabals consumits Pau

Com es pot comprovar els cabals consumits tenen un augment molt significatiu al segon i tercer trimestre corresponent als mesos d'estiu, associat a l'estacionalitat que presenta el municipi.

5.3. DOTACIONS I RENDIMENTS

A partir de les dades dels cabals subministrats i consumits s'extreuen les dotacions (l/hab/dia), tant pel que fa al cabal subministrat en alta, com pel que fa al cabal consumit en baixa.

Els resultats es mostren a la taula següent:

Xarxa MIAG	Any 2019	Any 2020	Any 2021	Any 2022	Any 2023
Població (hab.)	4193	4173	4298	4296	4376
Garriguella	855	853	909	922	970
Vilajuïga	1104	1.116	1.124	1.142	1.174
Pau	560	557	588	579	557
Palau-Saverdera	1476	1.456	1.490	1.472	1.494
Pedret i Marzà	198	191	187	181	181
Cabal subministrat (m3/any)	509.562	662.624	617.170	643.282	524.071
Garriguella	24.611	126.075	162.134	163.411	112.912
Vilajuïga	95.570	98.007	108.369	101.609	90.875
Pau	42.547	37.890	66.894	78.081	58.740
Palau-Saverdera	214.548	220.183	230.837	225.746	219.572
Pedret i Marzà	0	0	41.909	46.014	36.014
Cabal consumit (m3/any)	367.048	330.671	360.695	372.767	320.870
Garriguella	93.187	76.452	85.455	85.213	74.215
Vilajuïga	76.888	76.010	73.820	79.403	62.451



Pau	58.850	54.045	60.562	61.357	56.156
Palau-Saverdera	119.696	107.431	122.368	128.354	111.405
Pedret i Marzà	18.427	16.733	18.490	18.440	16.643
Dotació alta (l/hab./dia)	333	435	393	410	328
Garriguella	79	405	489	486	319
Vilajuïga	237	241	264	244	212
Pau	208	186	312	369	289
Palau-Saverdera	398	414	424	420	403
Pedret i Marzà	0	0	614	696	545
Dotació baixa (l/hab./dia)	240	217	230	238	201
Garriguella	299	246	258	253	210
Vilajuïga	191	187	180	190	146
Pau	288	266	282	290	276
Palau-Saverdera	222	202	225	239	204
Pedret i Marzà	255	240	271	279	252
Rendiment (%)	72,03%	49,90%	58,44%	57,95%	61,23%
Garriguella	378,64%	60,64%	52,71%	52,15%	65,73%
Vilajuïga	80,45%	77,56%	68,12%	78,15%	68,72%
Pau	138,32%	142,64%	90,53%	78,58%	95,60%
Palau-Saverdera	55,79%	48,79%	53,01%	56,86%	50,74%
Pedret i Marzà	#DIV/0!	#DIV/0!	44,12%	40,07%	46,21%

Taula 16. Dotacions en l/hab./dia.

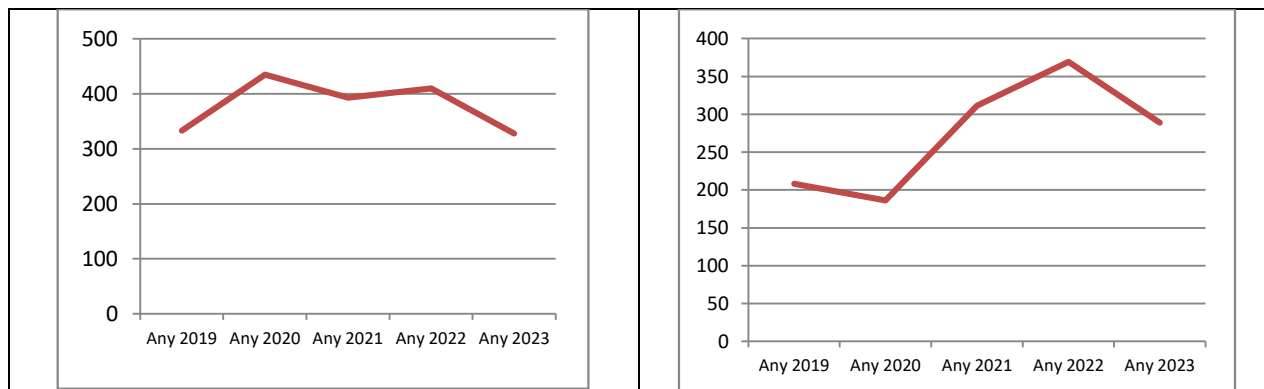


Figura 31. Dotacions en alta l/hab./dia MIAG. Total MIAG / Pau

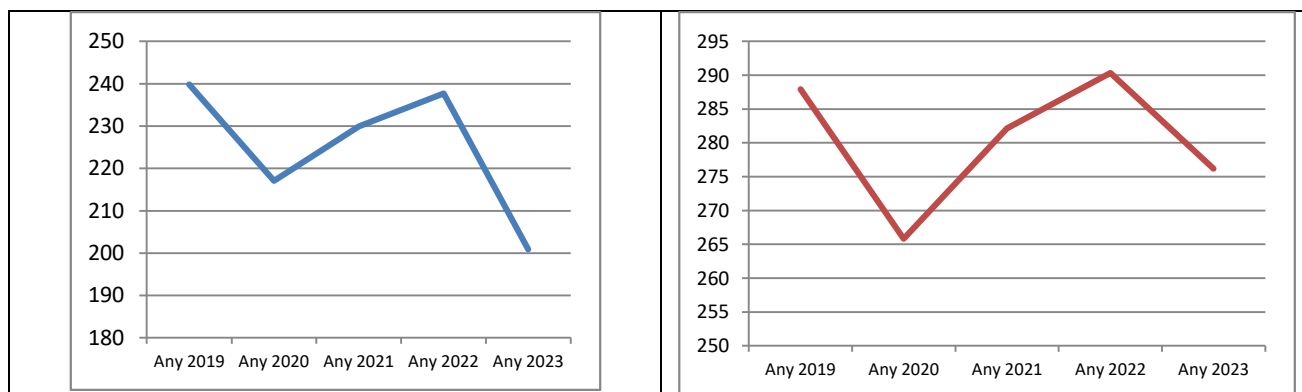


Figura 32. Dotacions en baixa l/hab/dia. Total MIAG / Pau

Tant les dotacions en alta com les dotacions en baixa han estat poc constants al llarg dels darrers anys, i es situen per sobre de 300 l/hab/dia en alta i al voltant de 280 l/hab/dia dotació en baixa.

A partir de les dades de cabals subministrats i cabals consumits obtenim el rendiment de la xarxa dels darrers anys amb dades disponibles. El rendiment mig dels darrers anys és del 59,91% pel que fa a la xarxa íntegra del MIAG i del 88,24% si es té en compte únicament la xarxa de Pau. No s'han tingut en compte les dades dels anys 2019 i 2020 perquè els cabals subministrats són inferiors als consumits.



6. ANÀLISI DEL FUNCIONAMENT DE LA XARXA ACTUAL

6.1. MODEL MATEMÀTIC UTILITZAT

Per analitzar el comportament hidràulic de la xarxa d'abastament d'aigua potable de distribució en baixa del nucli urbà de Pau i poder extreure conclusions del seu funcionament, s'ha modelitzat la xarxa mitjançant el programa EPANET 2.0, desenvolupat per l'Agència de Protecció Ambiental dels Estats Units (EPA). Aquest model és la base per realitzar tot un seguit de càlculs hidràulics que ens permeten simular diferents estats que es produeixen a la xarxa sense la necessitat d'arribar a experimentar-los físicament.

Aquest tipus de models i els resultats que d'ells se n'extrauen són una important eina de planificació i gestió de la xarxa.

Epanet 2.0. simula el comportament de les xarxes d'abastament resolent l'estat de la xarxa en cada instant. Per això considera tots els canvis en les condicions de contorn, per exemple variacions de la demanda i els nivells dels dipòsits, parada i arrencada de bombaments, funcionament de vàlvules, etc.

Epanet 2.0. és un software desenvolupat per l'Agència de Protecció Ambiental dels Estats Units, per estudiar i gestionar xarxes a pressió especialment en l'àmbit de l'abastament.

Una xarxa pot estar constituïda per canonades, nusos (unions entre canonades), bombes, vàlvules i dipòsits de emmagatzemant o embassaments. El programa efectua un seguiment de l'evolució dels cabals a les canonades, les pressions als nusos i els nivells als dipòsits.

Epanet 2.0. és una eina potent que ofereix les següents prestacions de càlcul:

- No existeix límit en la mida de la xarxa que es pot processar.
- Les pèrdues de càrrega poden calcular mitjançant les formules de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o de Chezy – Manning.
- Té en compte les pèrdues menors en colzes, accessoris, etc.
- Permet simular bombes amb velocitat fixa o variable.
- Determina el consum energètic i els seus costos.
- Permet considerar diferents tipus de vàlvules.
- Permet simular amb dipòsits de geometria variable.
- Considera diferents tipus de demanda en els nusos.
- Permet fer ús de lleis de control simples, fonamentades en el valor del nivell dels dipòsits o en l'hora prefixada per un temporitzador.

Epanet 2.0. utilitza una sèrie de simplificacions en la seva formulació que permeten simplificar els càlculs considerant un sistema permanent. Aquestes hipòtesis són les següents:

1. Hipòtesis referents al flux:
 - a. Flux unidimensional en els sentit de l'eix de la conducció.
 - b. Invariabilitat temporal de les variables relacionades amb el flux.
 - c. Distribució uniforme de la velocitat i pressions en les seccions transversal.



2. Hipòtesis referents al fluid:
 - a. Incompressible.
 - b. Monofàsic
 - c. Homogeni
 - d. Newtonià
3. Hipòtesis referents a les conduccions:
 - a. Homogeneïtat i constància en els materials.
 - b. Homogeneïtat i constància en les seccions transversals.
 - c. Homogeneïtat i constància en els espessors.

Les equacions fonamentals utilitzades són:

1. Equació de continuïtat en nusos

$$\sum_{j=1}^{nti} Q_{ij} = C_i$$

On:

- Q_{ij} : Cabal que circula en la línia que uneix el nus i al j.
 - nti: Número total de línies que convergeixen al nus i.
 - C_i : Cabal d'alimentació o consum en el nus i.
2. Equació de Bernoulli: L'energia per unitat de pes del fluid en la secció d'aigües amunt (E_1) més l'energia per unitat de pes cedida (h_b) a través d'elements actius (per exemple bombes) en el trajecte de 1 a 2 és igual a l'energia per unitat de pes a la secció d'aigües avall (E_2) més les pèrdues d'energia per unitat de pes entre les seccions 1 i 2 (h_{1-2})

$$E_1 + h_b = E_2 + h_{1-2}$$

Un pas fonamental en la modelització de tota xarxa és el calibratge de la mateixa perquè el model matemàtic reflecteixi fidelment la realitat. Aquesta calibratge es pot realitzar de dues maneres complementàries:

- Calibratge qualitatiu: basada en l'experiència dels encarregats de l'explotació de la xarxa, que al llarg dels anys han anat detectant zones problemàtiques: trencaments, zones sense pressió, zones amb sobrepressions.
- Calibratge quantitatiu: basada en dades instrumentats d'equips instal·lats a la xarxa en cabalímetres i manòmetres.

En el cas de les xarxa analitzades, no es disposen de mesuraments instrumentals de manera que el calibratge quantitatiu no s'ha pogut realitzar. Respecte al calibratge qualitatiu, aquest s'ha realitzat seguint el següent procediment: disseny en planta i perfil longitudinal de les alternatives analitzades, estimació de cabals en base a les dades disponibles dels plans directors d'abastament en baixa dels municipis afectats i de les peticions de cabal de cada municipi, anàlisi dels problemes apareguts en el model matemàtic i calibratge del model actual.



El model matemàtic tracta de reflectir el comportament de la xarxa davant diferents escenaris, tant actuals com futurs, el que ajuda a planificar amb rigor les actuacions necessàries.

Resulta, igualment, una potent eina per a la gestió de la xarxa, ja que permet ajustar el funcionament dels diferents components de la mateixa, com bombaments o vàlvules reductores de pressió, veure la repercussió d'una avaria a la resta de la xarxa, etc .

Per construir el model hidràulic de la xarxa, a partir del qual es realitzarà el diagnòstic de la xarxa d'abastament d'aigua potable en baixa del municipi de Pau, és necessària la recopilació d'una informació bàsica, en concret

- La geometria de xarxa, obtinguda dels plànols de traçat i perfil longitudinal de les canonades
- Dades de cabal subministrats actuals i previstos en dia punta per a cada escenari analitzat.

Els elements del sistema d'abastament que s'han modelitzat han estat: dipòsits, nodes, i canonades. De cada un d'ells, les dades que introduïts en el model han estat els següents:

- Dipòsits: representen l'entrada d'aigua a la xarxa de distribució. S'han modelitzat amb els seus volums característics per estudiar la seva capacitat.
- Nodes: situats en els extrems dels trams dibuixats. Les coordenades "X" i "Y" s'han fixat automàticament, mentre que la coordenada "z" s'ha inferit del model digital del terreny construït a partir de la cartografia del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.
 - Coordenades (X, Y, Z)
- Canonades: s'han considerat les següents dades:
 - Traçat
 - Connectivitat
 - Diàmetre
 - Material
 - Rugositat
- Comptadors: es tracta d'elements puntuals introduïts a la xarxa per identificar els punts de consum.

6.2. FUNCIONAMENT HIDRÀULIC DE LA XARXA

La xarxa de l'àmbit d'estudi és la del municipi de Pau, que actualment es compon d'una única xarxa:

La xarxa de Pau: aquesta xarxa dona servei al nucli urbà de Pau i a la Urbanització Els Olivars.



La xarxa en alta de la Mancomunitat del MIAG arriba a la part baixa del nucli urbà al costat de la carretera GI-610, a través d'una canonada de diàmetre 300 mm de fosa dúctil procedent del dipòsit de 1.000 m³ de Mala Veïna. D'aquesta canonada surt un ramal de diàmetre 125 mm que arriba al dipòsit de Pau que té 500 m³ de capacitat. Des d'aquí es distribueix en baixa al nucli de Pau i s'impulsa al dipòsit de la Urbanització Els Olivars de 960 m³, mitjançant una canonada de diàmetre 90 mm.

A continuació s'adjunta l'esquema de la xarxa del municipi de Pau i MIAG:

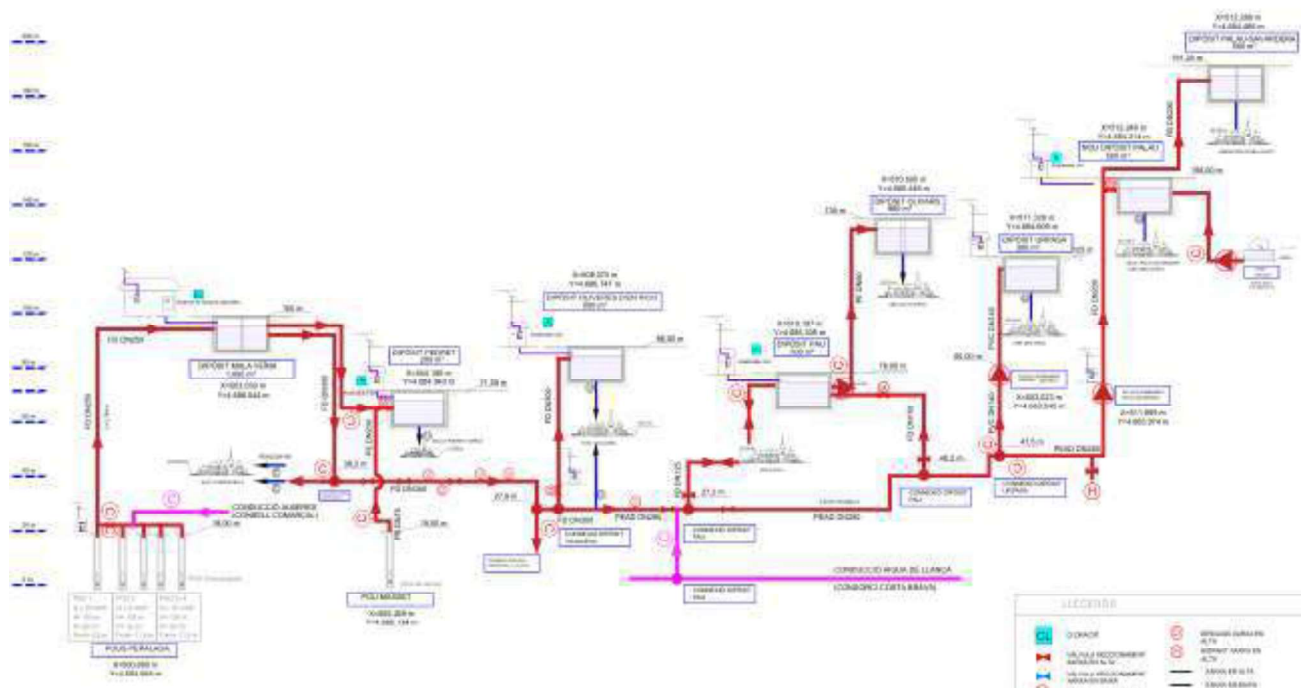


Figura 33. Esquema xarxa MIAG i Pau

Per a la xarxa d'abastament del nucli urbà de Pau s'han modelitzat els següents escenaris de funcionament:

- **Escenari 1 – Demanda actual sense hidrants en situació punta i en situació vall.** La demanda ha estat calculada considerant que el consum no és homogeni al llarg del dia. Per simular-ho s'ha implementat la corba de distribució horària (patró de consum) adequada a les característiques del municipi. L'escenari de consum punta es correspon en general amb el que presenta el municipi durant l'època estival i en el moment de màxim consum (model de consum punta). L'escenari de consum vall es correspon en general amb el que presenta el municipi durant l'època hivernal i hora de consum vall (model de consum vall).
- **Escenari 2 – Demanda actual incorporant la demanda d'hidrants existents contra incendis:** en aquest escenari es simula la situació hipotètica que es produís un incendi i per tant s'haurà de permetre el funcionament simultani de dos hidrants consecutius durant



2 hores cadascun amb un cabal de 1000 l/min (16,66 l/s) i una pressió residual mínima de 10 m.c.a., d'acord amb la norma DBE-SI i RD 531/2017.

6.3. COMPORTAMENT HIDRÀULIC DE LA XARXA ACTUAL

La xarxa de l'àmbit d'estudi és la xarxa , que actualment es compon dels següents elements:

Dipòsit de Mala Veïna i canonada de diàmetre 300 mm de fosa dúctil procedent del dipòsit de 1.000 m³ de Mala Veïna. Una vegada surt del dipòsit de Mala Veïna a uns 150 m surt una bifurcació de PEAD i diàmetre 200 mm que subministra al dipòsit de Pedret i Marzà. La canonada principal més endavant es divideix en dos ramals: un ramal segueix per distribuir als municipis de Villajuïga, Pau i Palau-Saverdera i l'altre distribueix en baixa al municipi de Garriguella i es divideix en diferents ramals. Des de la bifurcació a Garriguella la canonada principal de distribució és de PEAD i 200 mm de diàmetre fins a l'estació de bombament de Palau-Saverdera. Des d'aquesta estació de bombament la canonada és de fosa dúctil i diàmetre 200 mm fins al dipòsit baix de Palau-Saverdera. De la xarxa troncal surten ramals fins als dipòsits municipals.

També s'ha comprovat el funcionament de la xarxa de distribució en baixa del municipi de Garriguella, considerant les quatre hipòtesis establertes: xarxa actual amb demanda actual sense hidrants, xarxa actual incorporant la demanda dels hidrants contra incendis, xarxa amb la demanda futura sense hidrants i xarxa futura amb la demanda de la xarxa d'hidrants contra incendis.

6.3.1. Resultats de les simulacions de la xarxa actual amb demanda actual MIAG

S'han analitzat dues situacions per la xarxa en alta del MIAG: en situació punta i en situació vall.

S'adjunta un esquema de la xarxa indicant els diàmetres interiors de les canonades:

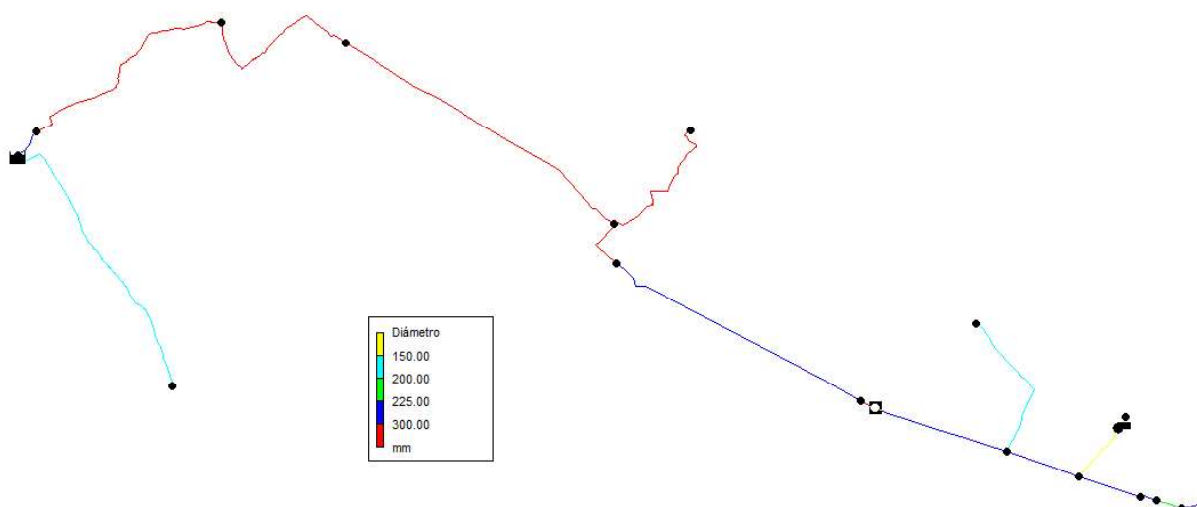


Figura 34. Xarxa en alta del MIAG



S'han analitzat dues situacions per la xarxa en alta del MIAG: en situació punta i en situació vall.

6.3.2. Comportament hidràulic de la xarxa actual Pau

S'han analitzat dues situacions per la xarxa en baixa del municipi de Pau: en situació punta i en situació vall.

A continuació s'adjunta un esquema de la xarxa indicant els diàmetres interiors de les canonades:

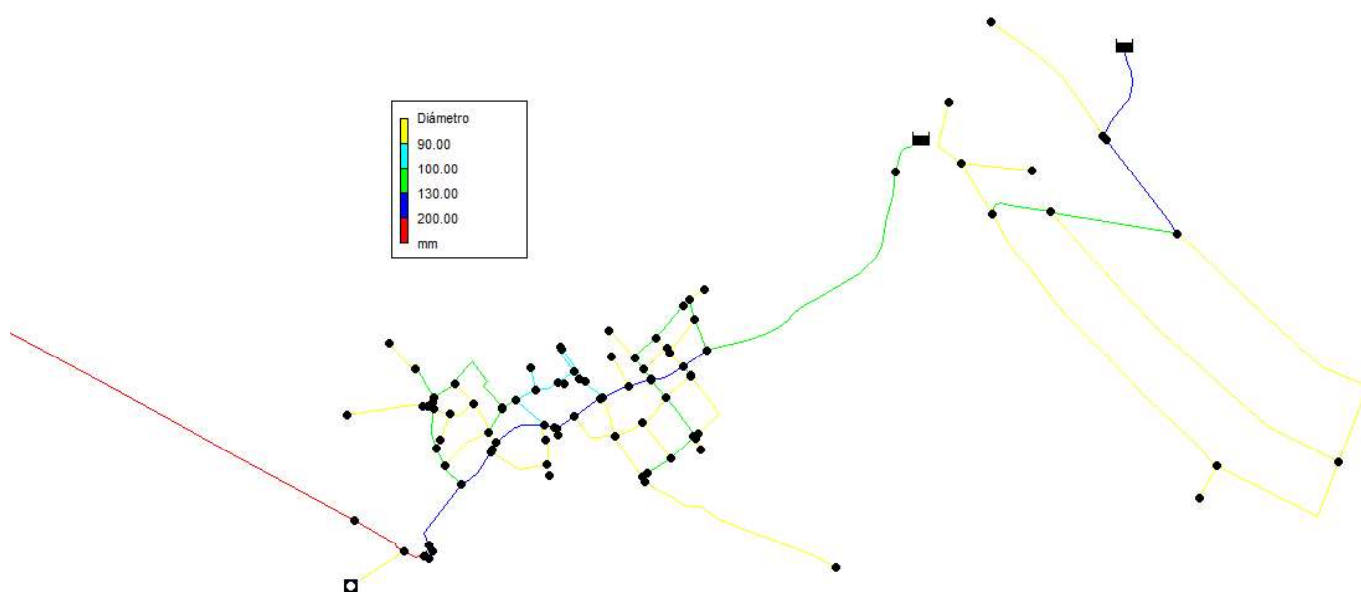


Figura 35. Xarxa de Pau

6.3.3. Resultat de la simulació de la xarxa actual amb consum punta i vall

S'han analitzat dues situacions per les dues xarxes del municipi: en situació punta i en situació vall. En aquesta hipòtesi de funcionament s'estudien les pressions mínimes que, com a criteri de diagnòstic, no haurien de ser inferiors a 15 - 20 m.c.a, per així assegurar una pressió mínima en el punt de connexió de servei. L'escenari de consum punta es correspon en general amb el que presenta el municipi durant l'època estival i en moments de màxim consum (model de consum punta). A continuació es descriuen les principals conclusions obtingudes dels resultats del càlcul hidràulic realitzat per aquest escenari sense funcionament dels hidrants d'incendis en hora punta, per la xarxa del nucli urbà de Pau.

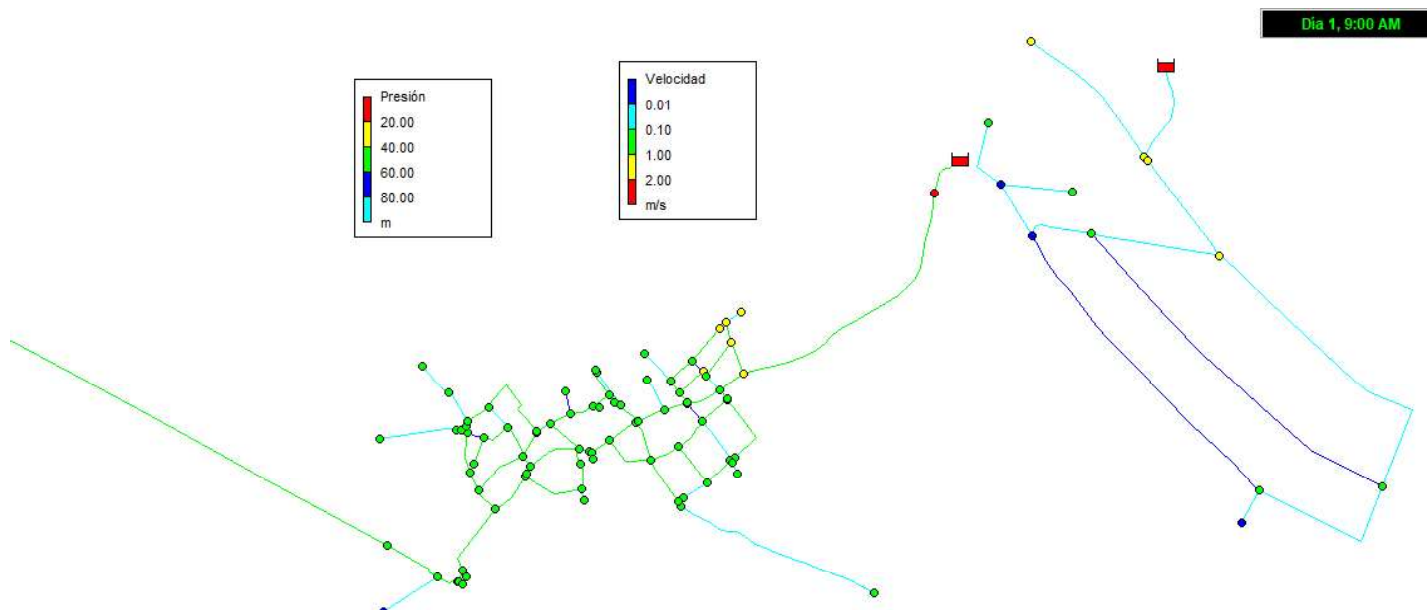


Figura 36. Xarxa de Pau

Tal com s'observa als resultats del model, tota la xarxa té pressions per sobre del límit fixat de més de 15-20 m.c.a. i per tant el funcionament és correcte.

A nivell de pressions màximes es pot observar que la major part de la xarxa del municipi està per sota de 60 m.c.a. en aquest escenari, i per tant el funcionament és correcte. Únicament en algun punt de la zona sud les pressions es troben entre 60 i 80 m.c.a. Com que la xarxa disposa de 1 vàlvula reguladora situada en la zona sud del municipi, no es produeix cap problema de pressió elevada.

Les velocitats en tota la xarxa de distribució en baixa estan per sota de 2 m/s, i per tant el funcionament és correcte.

6.3.4. Resultat de la simulació de la xarxa actual en consum vall

A continuació es mostren els resultats del càlcul hidràulic realitzat per l'escenari sense hidrants d'incendis en hora vall, per la xarxa de Pau.

En aquesta hipòtesi de funcionament s'estudien les pressions màximes que, com a criteri de diagnòstic, no haurien de ser superiors a 60-80 m.c.a, per així minimitzar el risc d'aparició de fuites i trencaments en la xarxa.



Dia 1, 12:00 AM

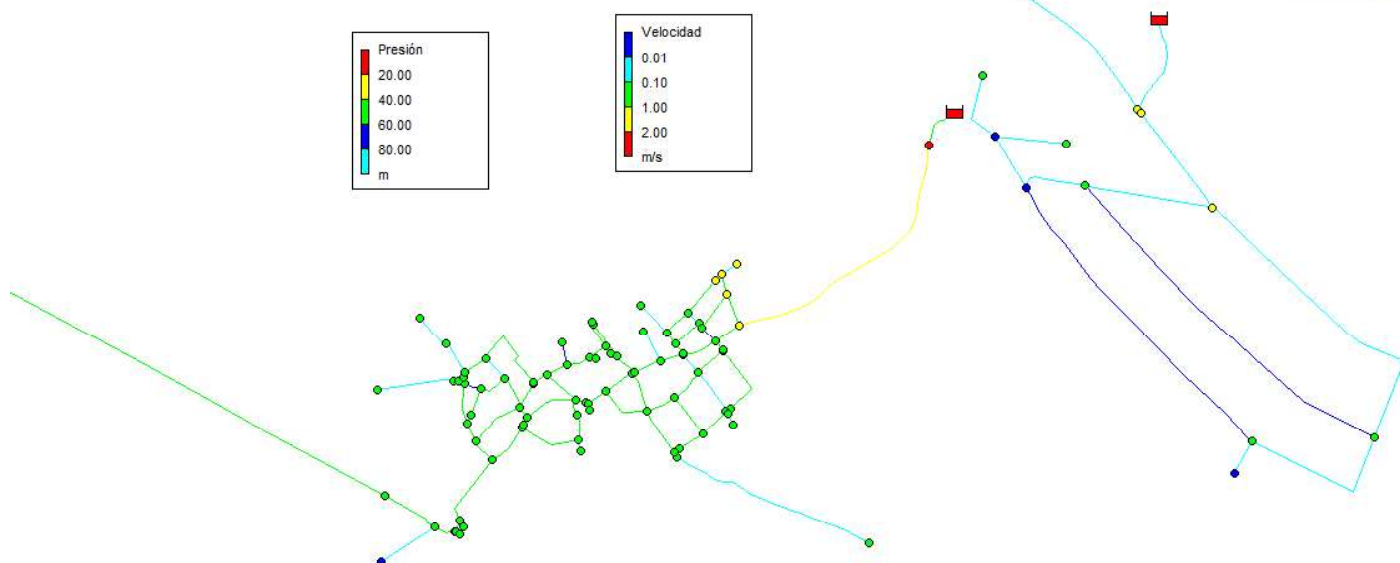


Figura 37. Xarxa de Pau

Tal com s'observa als resultats del model, tota la xarxa té pressions per sobre del límit fixat de més de 15-20 m.c.a. i per tant el funcionament és correcte.

A nivell de pressions màximes es pot observar que la major part de la xarxa del municipi està per sota de 60 m.c.a. en aquest escenari, i per tant el funcionament és correcte. Únicament en algun punt de la zona sud les pressions es troben entre 60 i 80 m.c.a. Com que la xarxa disposa de 1 vàlvula reguladora situada en la zona sud del municipi, no es produeix cap problema de pressió elevada.

Les velocitats en tota la xarxa de distribució en baixa estan per sota de 2 m/s, i per tant el funcionament és correcte.

6.4. CONCLUSIONS SOBRE L'ESTAT ACTUAL DE LA XARXA

Un cop analitzada i estudiada la xarxes actuals de distribució de Pau, tal com s'ha descrit en apartats anteriors, es poden extreure les següents conclusions:

- La xarxa d'abastament funciona de forma correcta a nivell de pressions en la situació actual sense hidrants en funcionament. tota la xarxa té pressions per sobre del límit fixat de més de 15-20 m.c.a. i per tant el funcionament és correcte. A nivell de pressions màximes es pot observar que la major part de la xarxa del municipi està per sota de 60 m.c.a. en aquest escenari, i per tant el funcionament és correcte. Únicament en algun punt de la zona sud les pressions es troben entre 60 i 75 m.c.a. Com que la xarxa disposa de 1 vàlvula reguladora situada en la zona sud del municipi, no es produeix cap problema de



pressió elevada. Les velocitats en tota la xarxa de distribució en baixa estan per sota de 2 m/s, sent aquesta situació per tant és correcta.

- En la situació actual amb hidrants en funcionament. Els resultats obtinguts mostren que en la situació actual amb el funcionament dels hidrants existents en els diferents punts del municipi (zona nord i zona sud), es poden garantir els cabals necessaris i les pressions mínimes als hidrants superiors a 10 m.c.a. i també a la resta de la xarxa les pressions estan garantides en tots els punts.