

Treball final de màster

Estudi: Màster en Enginyeria Industrial

Títol: *Disseny i viabilitat d'un sistema de calefacció urbana municipal pel nucli urbà de Maçanet de Cabrenys*

Document: Memòria tècnica i Annexes

Alumne: Arnau Bassols Vila

Tutor: Sr. Alexandre Deltell Carbonell

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Mecànica de Fluids

Convocatòria (mes/any): Setembre 2019

Agraïments

A la meva mare, per ajudar-me a trobar quines cases estan ocupades
A en Josep Calabuig, per ajudar-me a trobar solucions i preus reals
A l'Ajuntament de Maçanet, per ajudar-me a recollir les enquestes i assessorar-me
Als habitants de Maçanet per resoldre les enquestes
I a l'Alexandre Deltell per guiar-me en el treball

Índex de continguts

Memòria

1	Introducció	12
1.1	Antecedents.....	12
1.2	Objecte	12
1.3	Abast	12
2	El district heating de Maçanet.....	13
3	Paràmetres bàsics de la instal·lació	15
3.1	Elecció del combustible	15
3.2	Consum d'estella anual	16
3.3	Càlcul de la capacitat de regeneració dels boscos.....	17
3.4	Potència pic de la instal·lació.....	18
4	L'estació de generació i bombament	19
4.1	Les calderes de generació.....	20
4.2	L'emmagatzematge de l'estella.....	20
4.3	L'estació de bombament.....	21
4.4	Sistema d'eliminació de cendres.....	22
4.5	Vasos d'expansió	22
5	Distribució de l'energia.....	23
5.1	El traçat de les canonades.....	23
5.2	Càlcul del diàmetre de les canonades	23
5.3	Elecció del model de les canonades.....	24
5.4	Les pèrdues tèrmiques	25
6	Les subestacions	26
7	Anàlisi econòmica del projecte	27
8	Anàlisi d'emissions	28
9	Resum del pressupost	29

10	Conclusions	30
11	Relació de documents	31
12	Bibliografia	32

Annexos

Annex A	Paràmetres bàsics de la instal·lació	33
A.1	Consum anual d'estella	33
A.1.1	Enquesta a la població	33
A.1.2	Càlcul del consum d'estella a partir de l'enquesta	36
A.1.3	Zona d'influència i habitatges/negocis subministrats.....	37
A.2	Capacitat de regeneració dels boscos	41
A.3	Potència pic de la instal·lació.....	42
A.3.1	Hipòtesis de càlcul.....	42
A.3.2	El càlcul de la producció anual d'ACS	42
A.3.3	El càlcul de la producció anual de calefacció	44
A.3.4	Distribució anual de la producció de calefacció i càlcul del dia amb més demanda 44	
A.3.5	Potència pic del district heating	48
Annex B	Estació de generació i bombament.....	49
B.1	Elecció de la situació de l'estació de generació i bombament.....	49
B.1.1	Criteri tècnic de proximitat al centre de consum.....	50
B.1.2	Criteri tècnic de facilitat per a l'entrada de camions de gran tonatge	55
B.1.3	Criteri tècnic de generació de soroll per als habitatges propers	56
B.1.4	Criteri tècnic de generació de fums per als habitatges propers.....	57
B.1.5	Criteri tècnic de la facilitat d'obtenció del permís d'obra municipal.....	58
B.1.6	Criteri estètic d'integració amb elements, habitatges i paisatges propers.	59
B.1.7	Criteri econòmic de construcció	61
B.1.8	Recompte de puntuació i elecció de l'emplaçament.....	62

B.2	Elecció de les calderes de generació.....	63
B.2.1	HERZ Biomatic 500 o similar	64
B.2.2	HERZ Biofire 1500 o similar.....	64
B.2.3	Rang de potència i les calderes en funcionament.....	65
B.3	Elecció del dipòsit d'inèrcia.....	65
B.4	Emmagatzematge de l'estella.....	67
B.4.1	Càlcul de les dimensions del dipòsit de combustible.....	67
B.4.2	Situació del dipòsit de combustible	68
B.4.3	Omplerta dels dipòsits de combustible.....	69
B.5	Estació de bombament	69
B.5.1	Càlcul del cabal punta	70
B.5.2	Càlcul del cabal mínim.....	70
B.5.3	Elecció de les bombes.....	70
B.6	Sistema d'eliminació de cendres.....	72
B.7	Vasos d'expansió	73
Annex C	Distribució de l'energia	75
C.1	Càlcul traçat de les canonades i paràmetres importants.....	75
C.2	Pèrdua de càrrega i velocitat a les canonades.....	76
C.2.1	Entrada de les dades al programa	77
C.2.2	Simulació del consum.....	79
C.2.3	Primera iteració. Valors d'origen del programa	80
C.2.4	Segona iteració. Valors respecte el fabricant.....	81
C.2.5	Modificació 1. Diàmetre mínim de la xarxa ramificada per potència màxima... 82	
C.2.6	Modificació 2. Ininterrumpibilitat.....	83
C.2.7	Modificació 3. Punts de subministrament.....	84
C.3	Elecció del model de les canonades.....	86
C.3.1	Canonades Rehau RAUTHERMEX, RAUVITHERM o similar.....	86
C.3.2	Elements del circuit.....	87
C.4	Pèrdues tèrmiques al circuit.....	87

Annex D	Anàlisi econòmica del projecte	89
D.1	Inversió inicial	89
D.2	Comparació entre el cost actual de l'energia i el cost en el DH.....	89
D.2.1	Cost actual de l'energia amb la tecnologia dels usuaris a les cases	89
D.2.2	Cost de l'energia en el DH sense costos d'inversió.....	90
D.3	Cost operatiu del district heating.....	90
D.4	VAN i TIR de la inversió.....	90
Annex E	Anàlisi d'emissions	92
E.1	Emissions abans del district heating	92
E.2	Emissions amb district heating.....	93
E.3	Estalvi d'emissions	93

Índex de figures

Il·lustracions

Il·lustració 1: Esquema d'un district heating, per les canonades hi circula aigua. Font: Statkraft	13
Il·lustració 2: D'esquerra a dreta: llenya, estella i pèl·let. Font: Pellets del Sur.....	16
Il·lustració 3: Situació de l'estació de generació i bombament. Font: Pròpia	19
Il·lustració 4: Les pales remouen l'estella i la col·loquen a l'alimentador de la caldera. Font: HERZ.....	20
Il·lustració 5: Sistema de càrrega vertical. Font: HERZ	21
Il·lustració 6: Les diferents tipologies de canonades, central (en negre), neural (en vermell) i ramificada (en groc). Font: Pròpia.....	23
Il·lustració 7: En groc canonades de 110 mm, en vermell canonades de 125 mm. Font: Pròpia.	24
Il·lustració 8: A l'esquerra, canonada RAUTHERMEX, a la dreta, canonada RAUVITHERM. Font: Rehau.....	25
Il·lustració 9: Danfoss Termix VX. Font: Danfoss	26
Il·lustració 10: Enquesta contestada. Font: Pròpia	34
Il·lustració 11: Respostes a l'enquesta referent al combustible de la caldera. Font: Pròpia..	35
Il·lustració 12: PCI de l'estella en funció de la humitat i espècie. Font: Centre de la Propietat Forestal.....	37
Il·lustració 13: Àrea d'influència del District Heating. Font: Google	38
Il·lustració 14: Cases ocupades (verd), cases estacionals (groc), cases no ocupades (vermell), bars o restaurants (blau clar), hotels o allotjaments (blau fosc). Font: Pròpia.	39
Il·lustració 15: Biomassa Aèria Total Mitjana a Maçanet. Font: Laboratori Forestal Català ..	41
Il·lustració 16: L'extensió de bosc s'allarga per tots els pobles limítrofs. Font: Google Earth	42
Il·lustració 17: Exemple de diagrama que determina el nombre de degree-days d'un any. Font: Frederiksen i Werner (2013)	45
Il·lustració 18: Valors diaris de temperatura de l'estació meteorològica de Darnius-Boadella. Font: Servei Meteorològic de Catalunya	45
Il·lustració 19: Diagrama que determina el nombre de degree-days d'un any a Maçanet. Font: Pròpia	45
Il·lustració 20: Diagrama simplificat que determina el nombre de degree-days d'un any a Maçanet. Font: Pròpia.....	46

Il·lustració 21: Gràfic que demostra la linealitat entre temperatura i potència mitjana diària per temperatures inferiors a 15°C. Font: Frederiksen i Werner (2013)	47
Il·lustració 22: Terrenys amb possibilitat d'instal·lació de la planta de generació i bombament. Font: Pròpia	49
Il·lustració 23: Codi de Matlab que determina el centre de gravetat tèrmic del nucli urbà del poble. Font: Pròpia.	51
Il·lustració 24: Script que crida la funció de la Il·lustració 24. Font: Pròpia	51
Il·lustració 25: Mapa d'ocupació de les cases amb els punts marcats al Web Plot Digitizer. Font: Pròpia.	52
Il·lustració 26: Punts que s'han extret del Web Plot Digitizer. Font: Pròpia	53
Il·lustració 27: Punts del Web Plot Digitizer passats a Excel i amb el pes corresponent. Font: Pròpia.	53
Il·lustració 28: Situació del punt de gravetat tèrmic del DH. Font: Pròpia.	54
Il·lustració 29: Situació dels terrenys respecte el punt de gravetat tèrmic. Font: Pròpia.	54
Il·lustració 30: Traçat del camió per arribar al terreny A. Font: Pròpia	55
Il·lustració 31: Ruta dels camions per arribar al terreny B. Font: Pròpia	55
Il·lustració 32: Ruta dels camions per arribar al terreny C. Font: Pròpia	56
Il·lustració 33: Distància entre el terreny A i l'habitatge més proper. Font: Pròpia	56
Il·lustració 34: Distància entre el terreny B i l'habitatge més proper. Font: Pròpia	57
Il·lustració 35: Distància entre el terreny C i l'habitatge més proper. Font: Pròpia	57
Il·lustració 36: Qualificació del terreny A com a sistema, equipament. Font: sip.gencat.ca ..	58
Il·lustració 37: Qualificació del terreny B com a residencial, cases aïllades. Font: sip.gencat.ca	58
Il·lustració 38: Qualificació del terreny C com a urbanitzable, desenvolupament residencial. Font: sip.gencat.ca	59
Il·lustració 39: Impacte paisatgístic terreny A. Font: Pròpia	60
Il·lustració 40: Impacte paisatgístic terreny B. Font: Pròpia	60
Il·lustració 41: Impacte paisatgístic terreny C. Font: Pròpia	61
Il·lustració 42: Terreny A amb orografia planera. Font: Pròpia.	61
Il·lustració 43: Terreny B amb orografia planera. Font: Pròpia.	62
Il·lustració 44: Terreny C amb orografia planera. Font: Pròpia.	62
Il·lustració 45: Característiques de límit de l'extractor de sitja HERZ. Font: HERZ	68
Il·lustració 46: Sistema d'alimentació horitzontal. Font: HERZ	68
Il·lustració 47: Sistema de càrrega vertical. Font: HERZ	69
Il·lustració 48: Funcionament de les dues bombes. Font: GRUNDFOS	71
Il·lustració 49: Bomba d'impulsió Grundfos TPE 40-530/2-S A-F-A-BQQE. Font: Grundfos. 72	
Il·lustració 50: A la dreta, contenidor de cendres. Font: HERZ	73

Il·lustració 51: Vasos d'expansió Ibaiondo. Font: Ibaiondo S.A.....	74
Il·lustració 52: Les diferents tipologies de canonades, central (en negre), neural (en vermell) i ramificada (en groc). Font: Pròpia.....	75
Il·lustració 53: Pèrdua de càrrega de l'intercanviador d'un punt de subministrament. Font: Danfoss Model: Termix.....	76
Il·lustració 54: La pèrdua de càrrega a l'anada coincideix amb el retorn de l'aigua. Font: euroheat.org.....	76
Il·lustració 55: Flowsheet de la instal·lació de district heating entrada al Fluidflow. Font: Pròpia.....	77
Il·lustració 56: A totes les sortides de les unions hi ha vàlvules per maniobrar sobre el DH. Font: Pròpia.....	78
Il·lustració 57: L'estació de generació i bombament se simplifica com un dipòsit a 2 bar relatius. Font: Pròpia.....	78
Il·lustració 58: Carrer de La Vajol, carrer Magre i carrer Sant Sebastià al flowsheet de Fluidflow. Font: Pròpia.....	79
Il·lustració 59: Al carrer Rectoria, el consum estimat serà de 3,03 m ³ /h.....	80
Il·lustració 60: Amb les restriccions i canonades per defecte, el programa calcula pressions irrealment. Font: Pròpia.....	81
Il·lustració 61: Per la canonada estudiada, el diàmetre recomanat pel fabricant és de 75mm. Font: Pròpia i Rehau.....	81
Il·lustració 62: A la canonada simulada més allunyada la pressió segueix sent d'1,8 bar. Font: Pròpia.....	82
Il·lustració 63: Una canonada de 25 mm limita la potència màxima a 37.7 kW. Font: Pròpia / Rehau.....	82
Il·lustració 64: El programa indica les canonades amb una velocitat que ell considera massa baixa. Font: Pròpia.....	83
Il·lustració 65: No arriba prou pressió a 2 si es tanca 1. Augmentar secció de 3. Font: Pròpia.....	84
Il·lustració 66: En groc canonades de 110 mm, en vermell canonades de 125 mm. Font: Pròpia.....	84
Il·lustració 67: Esquema de carrer amb xarxa neural i xarxa ramificada. Font: Pròpia i Rehau.....	85
Il·lustració 68: Els costos d'augmentar de secció no són lineals pel que fa les connexions. Font: Pròpia i Rehau.....	86
Il·lustració 69: La xarxa ramificada que ressegueix la neural no es connecta amb el següent tram. Font: Pròpia.....	86

Il·lustració 70: A l'esquerra, canonada RAUTHERMEX, a la dreta, canonada RAUVITHERM. Font: Rehau.....	87
Il·lustració 71: Potència de pèrdues tèrmiques a les canonades. Font: Pròpia.....	88
Il·lustració 72: Comparativa del preu entre els diversos combustibles per any. Font: ICAEN89	

Taules

Taula 1: Pes de cada punt de subministrament per trobar el centre de gravetat tèrmic. Font: Pròpia.....	50
Taula 2: Suma de les puntuacions de cada criteri. Font: Pròpia.....	63
Taula 3: Rangs de potències i les calderes en funcionament. Font: Pròpia.....	65
Taula 4: Preus dels diferents tipus de combustible a 2019. Font: ICAEN, REE.....	89
Taula 5: Preu ponderat de l'energia que es paga actualment. Font: Pròpia.....	90
Taula 6: VAN i TIR de la inversió. Font: Pròpia.....	91
Taula 7: Factors d'emissió segons la tecnologia. Font: Oficina pel canvi climàtic (GENCAT)	92
Taula 8: Emissions de CO2 sense district heating. Font: Pròpia.....	92

1 Introducció

1.1 Antecedents

Actualment les calderes de biomassa domèstiques difícilment poden competir amb la comoditat i el preu de les altres tecnologies convencionals existents. Per aquest motiu, els pobles petits com Maçanet de Cabrenys no aprofiten els residus forestals que es generen durant l'explotació i el manteniment del seu bosc.

A escala més gran, les calderes de biomassa són més competitives. Per aquest motiu es vol analitzar si és viable utilitzar una única caldera municipal per subministrar energia calorífica a la totalitat, o a part, del nucli urbà del poble

1.2 Objecte

L'objecte d'aquest projecte serà dimensionar i dissenyar un sistema de calefacció urbana "district heating" pel nucli urbà de Maçanet de Cabrenys, quantificar la reducció d'emissions que provocaria la seva realització i estudiar-ne la viabilitat econòmica.

1.3 Abast

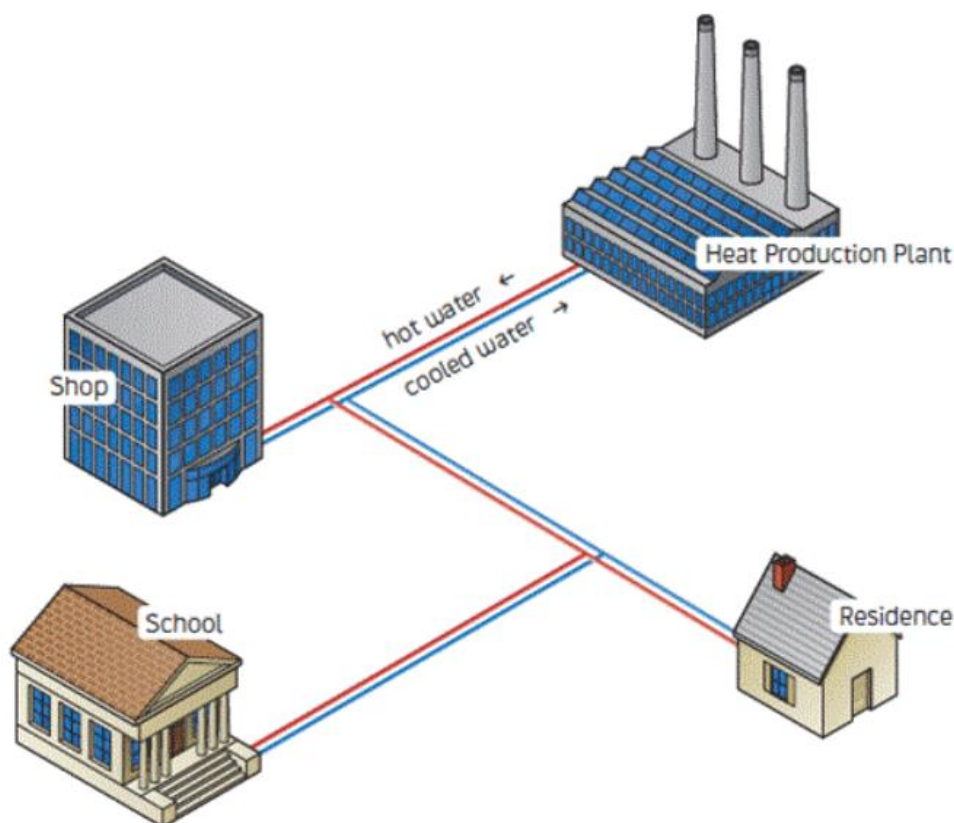
Es dimensionaran tots els elements necessaris per tal de poder subministrar calor a les cases i es dissenyarà el traçat dels conductes. Per tal de poder estimar el consum de cada llar i la reducció d'emissions que comportaria el projecte es realitzarà una enquesta a la població.

L'objectiu d'aquest treball no és fer un projecte executiu. Es mirarà si es podria portar a terme un district heating on hi hagués connectada la totalitat del nucli urbà de Maçanet i si seria econòmicament viable.

L'objectiu d'aquest treball no és fer una anàlisi de mercat, es concep com a equipament de gestió municipal i per tant no lligat a un benefici econòmic derivat de l'explotació.

2 El district heating de Maçanet

La traducció al català de district heating és calefacció de districte. Per si sol, un DH no és pas una tecnologia de generació de calor, sinó una xarxa distribuïda al llarg de diversos punts de subministrament als quals se'ls hi ha de fer arribar calor. Veure Il·lustració 1.



Il·lustració 1: Esquema d'un district heating, per les canonades hi circula aigua. Font: Statkraft

Com es veurà més endavant, la idea principal del district heating és aconseguir eliminar el concepte de punts separats de generació. És a dir, que a cada casa hi hagi una caldera per escalfar l'aigua calenta que surt per l'aixeta i la que corre pels circuits de calefacció. El fet d'ajuntar tots aquests punts en un de sol comporta alguns avantatges i alguns inconvenients.

El primer avantatge és la qualitat de vida de l'usuari. No ha d'estar pendent del manteniment de la caldera particular ni ha de decidir entre les tecnologies possibles amb la por de fer una gran inversió que no sigui retornada.

El segon avantatge és que permet la incorporació de tecnologies renovables, sobretot de biomassa. Una caldera de biomassa per a un habitatge normal és molt més cara, ocupa molt més espai i requereix un manteniment molt més gran que una caldera de gas. És per això que a nivell particular no té sortida més enllà d'alguns masos amb molt d'espai i biomassa gratuïta.

El tercer avantatge, lligat amb el segon i segurament el més important pel poble, és la falta d'activitat forestal. Tot i que existeixen diverses empreses que fan una gestió forestal, aquesta no és suficient per la gran quantitat de bosc que existeix. Si es lliga amb la falta d'activitat fora del sector terciari que hi ha a Maçanet, es veu fàcilment que la instal·lació pot combinar molt bé amb el territori.

El quart avantatge és el preu de compra del combustible, ja que l'estella és molt més barata que el gasoil.

El primer desavantatge és la necessitat de teixir una gran quantitat de canonades soterrades pels carrers i connectar cada un dels punts de subministrament amb elles. Aquestes canonades són les encarregades de portar la calor generada a les calderes fins a l'usuari final, a través d'un tub d'anada d'aigua calenta i un retorn d'aigua freda (similar a un circuit de calefacció). Una vegada l'aigua calenta ha arribat a l'usuari final, cedeix la seva temperatura a través d'un intercanviador de calor.

El segon desavantatge és la necessitat d'adaptabilitat del sistema a tots els punts de subministrament. El fet que hi hagi molt habitatges amb radiadors de ferro colat o d'alumini fan que l'aigua que passa per l'interior de les canonades hagi d'estar molt calenta (al voltant de 80°C), quan en una casa amb terra radiant n'hi hauria prou amb 40°C.

El tercer avantatge, com és obvi, és la gran inversió inicial que una instal·lació d'aquestes característiques necessita i la gestió extra que es genera a partir de la seva activitat.

Per tots aquests punts s'ha considerat interessant analitzar la possibilitat tecnològica i la viabilitat econòmica de la instal·lació.

3 Paràmetres bàsics de la instal·lació

3.1 Elecció del combustible

El combustible d'una caldera és la font primària d'energia. A partir de la combustió d'aquest material s'obté escalfor per tal d'escalfar una estància (calefacció) o bé per escalfar l'aigua que surt de l'aixeta dels usuaris (ACS o aigua calenta sanitària).

Les calderes més primitives ja utilitzaven la biomassa com a combustible, molts masos antics i fins i tot edificacions noves de poble encara conserven les llars de foc amb canonades internes per tal d'escalfar altres estàncies. Amb el temps, la tecnologia s'ha anat desenvolupant i s'han acabat tenint calderes murals amb uns rendiments del 95%.

No totes les tecnologies, però, poden adaptar-se tan fàcilment a les necessitats d'avui en dia: pisos petits, cases de poble, etc. És pràcticament impossible veure una caldera de biomassa en un pis ja que és infinitament millor per comoditat i per soroll una caldera de gas.

A escala més gran, però, la cosa canvia. Quan es parla de consums elevats la diferència de preu de l'estella fa que, com a mínim, començar a pensar en adoptar solucions sostenibles no sigui pas un disbarat. I és que segons l'ICAEN l'estella es ven aproximadament a 2,57 c€/kWh mentre que el gasoil ho fa a 7,67. És a dir, el gasoil és el triple de car que l'estella.

És aquesta diferència la que fa plantejar que seria possible cremar estella en lloc d'altres combustibles i és que és la més barata del mercat en diferència. De fet, considerar un district heating sense energies renovables seria totalment impensable perquè no es guanyaria en cost ni els beneficis repercutirien en el poble.

En aquest últim punt fa falta tenir en compte també els llocs de feina que es generarien. En primer lloc, un o dos llocs de treball directes pel control de la instal·lació i la retirada i gestió de cendres. Indirectament, la compra d'estella faria aflorar nous llocs de treball locals de gestió forestal, i és que a Maçanet existeixen 519.200 tones de llenya als boscos i només se n'aprofita una petita part. A l'Annex A.2 està explicat el càlcul de la quantitat de biomassa existent als boscos.

Dins del món de la biomassa s'ha escollit l'estella, no pas perquè el pèl·let no sigui renovable ni perquè no sigui un combustible a considerar, sinó per la diferència de preu. El pèl·let és un

combustible molt bo per calderes petites, ja que està normalitzat i no existeix pràcticament diferència de mida entre un pèl·let i un altre, cosa que simplifica molt la tecnologia de la caldera. Ara bé, el tractament que necessita per donar-li forma fa que sigui molt més car (de l'ordre del doble de preu) i per calderes grans la diferència de dimensions entre un tros d'estella i una altre no afecta el rendiment ni hi ha problemes d'obturacions.

La llenya directament s'ha desestimat ja que és molt més cara que l'estella (ja que té molta més demanda) i a més a més no es pot automatitzar l'alimentació de la caldera.

A la Il·lustració 2 es pot veure una comparativa visual de les tres biomasses per excel·lència.



Il·lustració 2: D'esquerra a dreta: llenya, estella i pèl·let. Font: Pellets del Sur

A part d'aquest tres tipus de biomassa, també n'existeixen d'altres com el pinyol d'oliva o la clova d'alguns fruits secs. Aquests combustibles però necessiten d'alguna explotació propera per ser rendibles, pel que no s'han considerat al no haver-n'hi cap a Maçanet.

3.2 Consum d'estella anual

Per tal de fer les necessitats de consum com més realistes millor, es va decidir elaborar una enquesta a la població de Maçanet. El mètode de repartiment d'enquestes va ser la bustiada, de manera que així s'evitava la doble resposta de la mateixa persona o la resposta de més d'una persona que viu al mateix habitatge, factors que haurien afectat al resultat.

L'enquesta s'ha utilitzat com a mostra representativa de la població. Si es vol saber més informació sobre la realització es pot veure l'Annex A.1.1.

En total hi ha hagut 39 respostes sobre la tecnologia de caldera que tenen a casa seva i 29 sobre quant es gasta anualment en el combustible de la seva caldera. De la primera pregunta

s'extrapola que la tecnologia més utilitzada a Maçanet és el gasoil (53,8% de les calderes), seguida del gas sense canalitzar (15,4%) i el gas canalitzat, la biomassa i l'electricitat (10,3% cada una).

Per tant, es pot veure que a dia d'avui el que existeixen més són calderes de gasoil. Per això s'ha decidit calcular a partir d'elles quin és el consum anual mitjà en kWh de cada habitatge, com es pot veure a l'Annex A.1.2.

En total surt un consum per habitatge de 16.232 kWh, és a dir, 4.638 kg d'estella.

Hi ha una sèrie d'edificis considerats especials i a més a més els negocis com restaurants, hotels, apartaments o bars. Cada un d'ells s'ha ponderat a partir d'un habitatge mitjà, per exemple un bar es considera com 4 habitatges a efectes de càlcul. Els habitatges estacionals, de gent que no viu tot l'any a Maçanet, també s'han ponderat. Es pot veure en detall a l'Annex A.1.3. Tots els edificis surten en el plànol 1.

En el mateix annex s'hi indica com s'ha quantificat el nombre d'habitatges i de negocis, donant uns valors finals de 249 punts de subministrament i 227 habitatges equivalents ponderats. A partir d'aquests 227 habitatges equivalents s'estima el consum anual total (en el supòsit que el 100% de la població s'agafés al district heating). El resultat és de 1.052 tones d'estella anuals o bé 4.041.768 kWh si es parla en termes d'energia.

3.3 Càlcul de la capacitat de regeneració dels boscos

A l'annex A.2 es fa el càlcul de la regeneració dels boscos. Com que el consum d'estella serà elevat s'ha volgut comprovar que el bosc del poble ho podrà suportar. No només s'ha vist que ho podrà suportar, sinó que es necessitarien 500 anys per arribar a cremar-lo tot, això comptant que no existís regeneració.

Fent el càlcul tenint en compte que existeix regeneració dels boscos i que un bosc clarejat regenera molt més bé que un que no ho està, surt una producció anual de 8.148 tones (tenint en compte que la regeneració és de 2 t/ha anuals). Com que el district heating només en gastarà unes 1.000, el bosc no es veurà afectat per la incorporació d'aquesta instal·lació. És més, se'n veurà beneficiat.

3.4 Potència pic de la instal·lació

La potència pic de la instal·lació és el càlcul més difícil de fer. Així com el consum anual es pot estimar a partir de l'energia consumida, la potència requereix d'estadística, factors de simultaneïtat, etc.

Una bona manera d'estimar la potència, segons Frederiksen i Werner, S. (2013), és a través del gràfic graus·dia. Aquest gràfic no és res més que la temperatura diària mitjana de Maçanet representada de manera que la temperatura del dia més fred de l'any és a l'esquerra de tot i la temperatura del dia més calent és a la dreta.

A partir de la integral del gràfic, i tenint en compte l'energia que es gasta en l'ACS durant l'any, es pot determinar el consum en el pitjor dia de l'any (33.150 kWh) i a partir d'aquí la potència pic (1.850 kW).

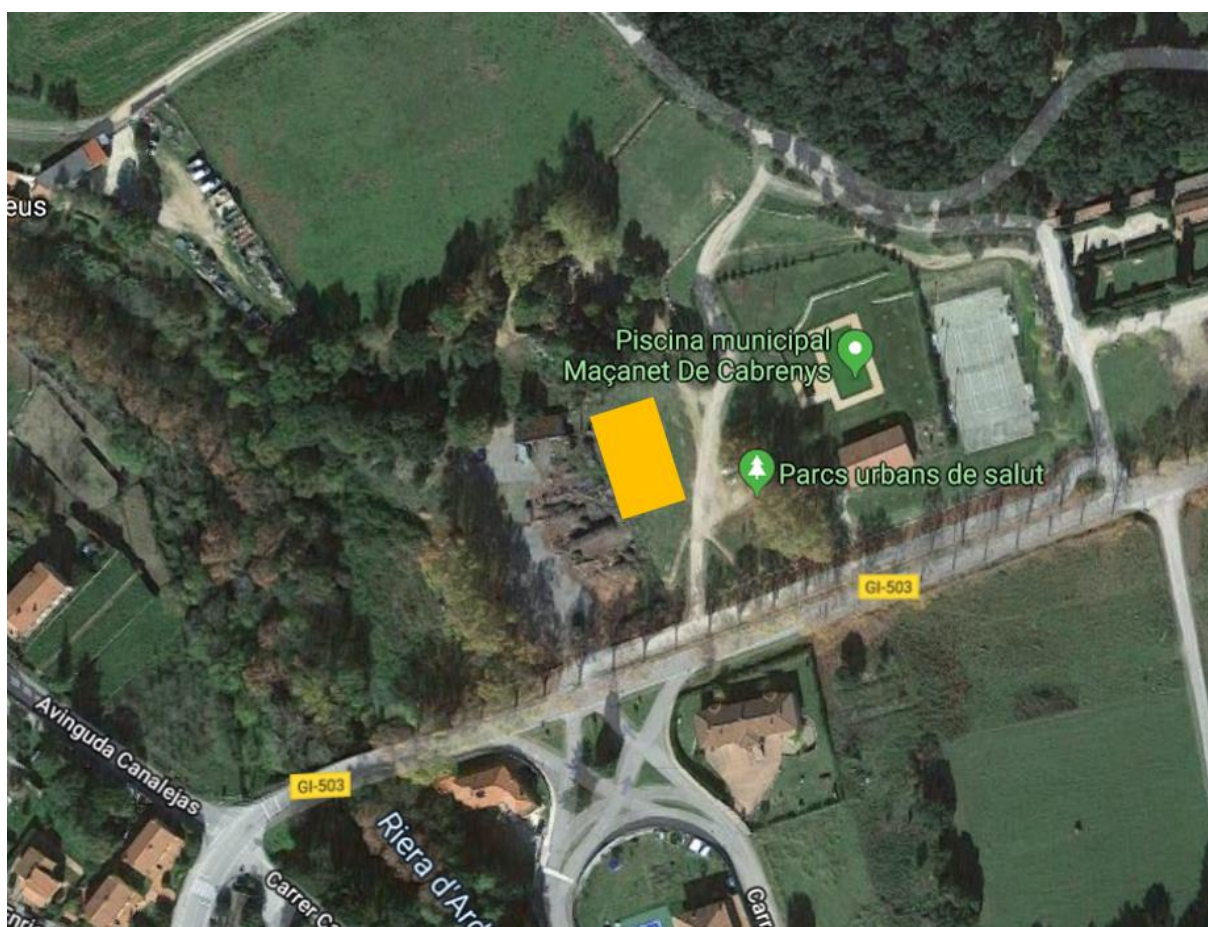
L'annex A.3 està dedicat íntegrament al càlcul de la potència pic de la instal·lació. El consum anual per ACS és de 267.431 kWh i el de calefacció de 3.774.337 kWh. Com es pot veure el consum és molt més elevat durant l'hivern que durant l'estiu, tal i com passa en els habitatges.

Aquesta variabilitat estacional és la que fa que s'hagi optat per dues calderes, una de més petita i una de més gran, tal i com es veurà en els capítols següents.

4 L'estació de generació i bombament

Un dels elements indispensables d'un district heating és l'estació de generació i de bombament. En ella és on hi ha les calderes, bombes i altres elements indispensables per tal d'escalfar l'aigua que torna per les canonades de retorn de la instal·lació i tornar-la a bombar cap als punts de subministrament.

En el cas de Maçanet, després d'un seguit de comparacions entre possibles llocs on situar l'estació de generació i bombament, s'ha decidit que el lloc idoni per fer-ho era al costat de la piscina. Ja que és un lloc perfecte perquè arribin camions de gran tonatge amb l'estella (mentre no hi hagi prou producció local), l'impacte és relatiu ja que existeixen altres equipaments municipals a la zona i és una zona ja qualificada urbanísticament per a equipaments. A l'annex B.1 hi ha l'avaluació dels tres possibles llocs on era possible situar la instal·lació i una explicació dels criteris tècnics i estètics que s'han estudiat per decidir un o l'altre. A la Il·lustració 3 es pot veure la situació de la instal·lació de color taronja.



Il·lustració 3: Situació de l'estació de generació i bombament. Font: Pròpia

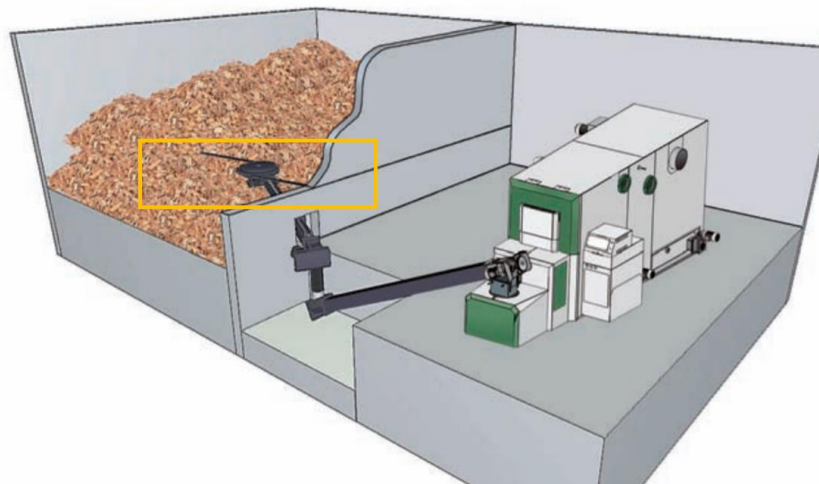
4.1 Les calderes de generació

Per tal de cobrir tots els rangs de funcionament possibles, des de consum 0 fins a 1.850 kW s'ha decidit col·locar dues calderes i un dipòsit d'inèrcia. El problema de les calderes en general és la incapacitat de regular bé la temperatura a baixa potència, totes tenen una potència màxima i una mínima.

S'ha decidit instal·lar una caldera que pot treballar entre 79 i 450 kW i una altra que pot treballar entre 450 i 1.500 kW. Per potències inferiors treballaran la caldera petita i el dipòsit d'inèrcia, amb el clàssic encendre i apagar que es pot observar a totes les cases quan el consum de calefacció es molt petit. El dipòsit d'inèrcia està calculat perquè la caldera petita no s'engegui gaire sovint quan el consum és molt baix. Per potències més grans de 1.500 kW treballaran les dues calderes alhora. A l'annex B.2 s'explica millor com s'han escollit les calderes, mentre que al B.3 es fa el dimensionament del dipòsit d'inèrcia que serà de 10.000 L. La caldera de 1.500 kW escollida és la HERZ Biofire o similar i la de 450 kW és la HERZ Biomatic o similar. Es poden veure en el plànol 4.

4.2 L'emmagatzematge de l'estella

L'estella s'emmagatzemarà en dos dipòsits cúbics de 6x6x6 m. Cada un dels dos dipòsits alimentarà una de les dues calderes. Les pales són les encarregades de remoure l'estella per tal que s'alimenti la caldera (veure Il·lustració 4). En els pitjors dies de l'hivern el consum d'estella serà de 38.83 m³, pel que l'autonomia serà d'uns 10 dies. Serà necessari programar aproximadament 1 camió de gran tonatge per dia o un comboi cada certs dies. Els càlcul són a l'annex B.4.



Il·lustració 4: Les pales remouen l'estella i la col·loquen a l'alimentador de la caldera. Font: HERZ

També s'ha determinat que el dipòsit estarà situat a la mateixa alçada que la caldera i que per tant s'haurà de carregar amb un carregador vertical. Els camions arribaran i aniran bolcant el contingut mentre un vis sens fi el puja fins la part superior del dipòsit (veure Il·lustració 5). D'aquesta manera s'evita haver de soterrar el dipòsit, cosa que podria afectar el grau d'humitat del combustible i per tant el rendiment final.



Il·lustració 5: Sistema de càrrega vertical. Font: HERZ

4.3 L'estació de bombament

Com s'ha comentat anteriorment, un district heating es podria assimilar a un sistema de calefacció d'una llar amb algunes peculiaritats: és una instal·lació a gran escala (5 km de canonades), els tubs són de diàmetres importants, passen per sòl públic, etc.

Al cap i a la fi, però, el principi és el mateix. Existeix un tub per on l'aigua calenta va cap als punts de subministrament, s'allibera la calor al punt de subministrament i es retorna l'aigua freda cap a l'estació de generació.

El circuit tancat és molt diferent a un circuit obert. El primer avantatge és que la bomba només ha de recircular el fluid, no ha de bombar-lo fins a un punt més alt, ja que l'alçada en el retorn compensa l'alçada en l'anada del fluid. D'aquesta manera només s'ha de vèncer la pèrdua de càrrega.

S'han escollit dues bombes de velocitat variable que poden treballar des de 0 m³/h fins a 54.54 m³/h i fins a 6 bar, que és el cabal necessari per portar la potència de 1.950 kW suposant un gradient de temperatura de 30°C als intercanviadors de calor de les cases. El fet que n'hi hagi dues i no una permet fer el manteniment sense haver de parar el circuit. El circuit hidràulic de l'estació de bombament es pot veure en el plànol 5.

4.4 Sistema d'eliminació de cendres

S'ha escollit que s'utilitzarà un sistema d'eliminació de cendres automàtic. La cendra es recollirà de la caldera i mitjançant un sistema de vis sens fi es portarà fins a un contenidor exterior. Aquesta cendra es podrà aprofitar per abonar jardins públics o fins i tot repartir entre els veïns pels seus jardins i horts. En el pitjor dia de l'any es produiran uns 217 kg de cendra. Veure Annex B.6. Es pot veure en el plànol 6.

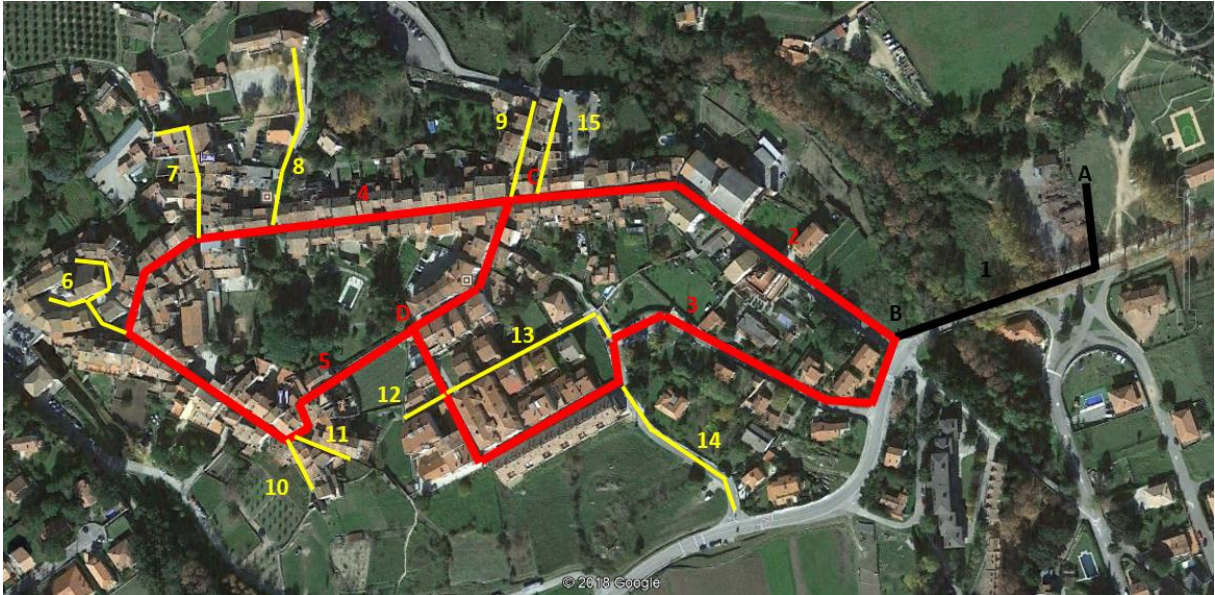
4.5 Vasos d'expansió

Per tal de fer front als canvis de volum de l'aigua quan la temperatura puja i baixa s'han de posar vasos d'expansió al circuit. S'han decidit posar 3 vasos d'expansió de 300L. El càlcul es pot trobar a l'Annex B.7.

5 Distribució de l'energia

5.1 El traçat de les canonades

A l'annex C.1 s'ha dissenyat el traçat de les canonades. El resultat és el de la Il·lustració 6.



Il·lustració 6: Les diferents tipologies de canonades, central (en negra), neural (en vermell) i ramificada (en groc).
Font: Propia.

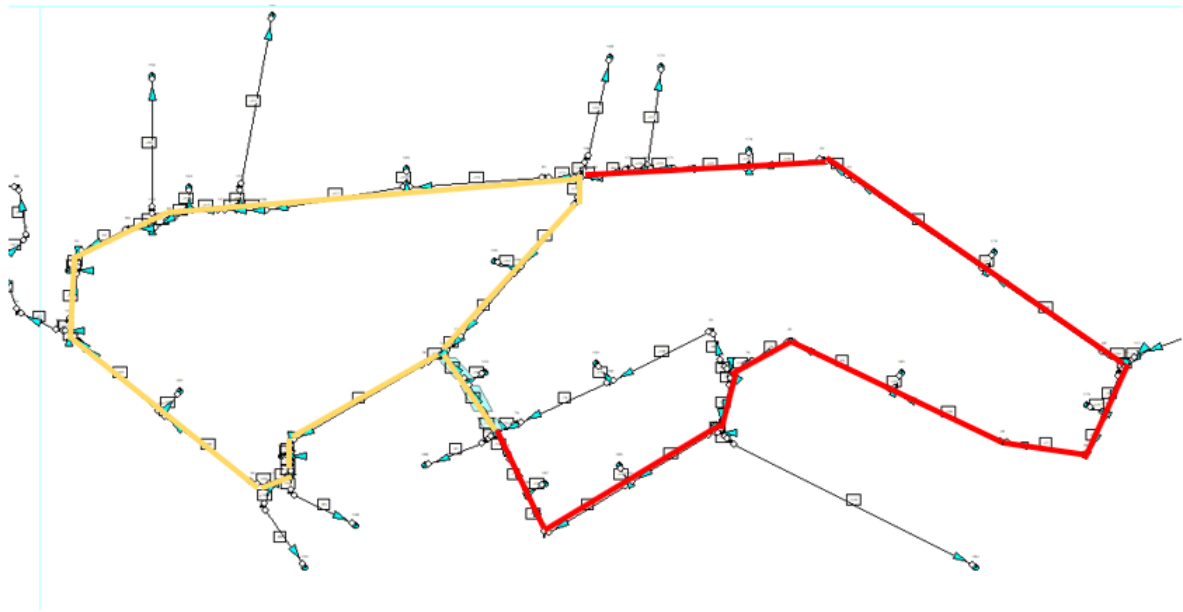
La xarxa central, en negra, vindria a ser la xarxa que ha d'estar funcionant les 24 hores del dia els 365 dies de l'any, ja que si patís cap problema o s'hagués de tallar tot el district heating se'n veuria afectat.

La xarxa neural, en vermell, és l'encarregada d'agafar l'aigua de la xarxa central i portar-la fins a tots els punts del nucli urbà del poble. Es podria dir que teixeix tot el poble.

Per últim, la xarxa ramificada és a on es connectaran els punts de subministrament de les cases. El traçat complet és en el plànol 2 i en el plànol 3.

5.2 Càlcul del diàmetre de les canonades

No s'entrarà gaire al detall en el càlcul del diàmetre de les canonades a la memòria ja que tots els càlculs es poden veure a l'annex C.2. El resultat del càlcul hidràulic, que s'ha realitzat amb el programa Fluidflow, és que tota la xarxa central ha de ser de 140 mm de diàmetre nominal, la xarxa ramificada ha de ser de 50 mm i la xarxa neural serà de 110 mm en algunes parts i de 125 mm en d'altres, tal i com es pot veure a la Il·lustració 7.



Il·lustració 7: En groc canonades de 110 mm, en vermell canonades de 125 mm. Font: Pròpia.

La xarxa central, com s'ha dit, no es pot aturar cap dia de l'any.

A la xarxa neural hi pot haver un problema a qualsevol punt ja que es podrà tallar el carrer el qüestió i tot el DH seguirà funcionant sense problema, només el carrer afectat es quedarà sense aigua. Tots els punts tenen entrada i sortida per dos costats diferents, per aquest motiu s'ha hagut de calcular molt bé que si es tanca qualsevol vàlvula del circuit el sistema no es quedi sense pressió.

A la xarxa ramificada qualsevol problema farà tallar l'aigua a tot el carrer, ja que només existeix una entrada.

En tots els trams de la xarxa neural hi circularà també la xarxa ramificada per sobre, perquè així quan s'hagin d'afegir nous punts de subministrament no s'hagi d'actuar sobre la xarxa neural.

5.3 Elecció del model de les canonades

S'ha escollit la marca Rehau, o similar, per tal de fer el dimensionament. Les canonades són de polietilè reticulat amb una vida mínima de 25 anys a 80°C. Com que a l'estiu es baixarà la temperatura de l'aigua fins a 70°C, aquesta vida útil augmenta fins a 35-40 anys com a mínim.

S'utilitzaran dos models, el RAUTHERMEX i el RAUVITHERM. El primer és un millor aïllant però més difícil de manipular, el segon és més flexible i va millor pels carrers estrets. Es pot

veure una comparació visual dels dos a la Il·lustració 8 o més informació sobre les característiques de les dues canonades a l'annex C.3. Les vàlvules, les unions i tots els elements del circuit s'agafaran de la mateixa marca per aprofitar les compatibilitats al màxim.



Il·lustració 8: A l'esquerra, canonada RAUTHERMEX, a la dreta, canonada RAUVITHERM. Font: Rehau

5.4 Les pèrdues tèrmiques

A l'annex C.4 es fa el càlcul de l'energia perduda pel fet de tenir canonades d'aigua calenta en contacte amb el subsol. En total surt una potència perduda de 8,6 kW en el pitjor dels casos, uns 75.300 kWh anuals. L'estimació de diners perduts és de 1.935€. En comparació amb el que es generarà les pèrdues són molt petites.

6 Les subestacions

Les subestacions són les encarregades de transferir l'energia que prové de la xarxa de district heating a la xarxa interior de calefacció i a l'ACS. Existeixen diversos models de subestació, algunes de potència petita i d'altres de més gran.

La subestació l'ha de pagar el client i no estan pressupostades en el district heating. Contindrà un comptador tèrmic per tal de cobrar-li a final de mes el que ha consumit, dues vàlvules per aïllar instal·lació interior d'exterior, una vàlvula de retenció perquè no s'inverteixi el fluid, un purgador per treure l'aigua del circuit i finalment un model comercial d'intercanviador de calor. Es pot veure l'esquema de com ha de ser una subestació al plànol 8.

Per a una casa particular un bon model d'intercanviador seria el Danfoss Termix VX, tot i que existeixen altres marques. El que és més important és que se separi l'aigua de la xarxa de district heating de la que hi ha al propi habitatge.



Il·lustració 9: Danfoss Termix VX. Font: Danfoss

7 Anàlisi econòmica del projecte

Pel que fa a l'anàlisi econòmica, que es pot veure en detall a l'annex Annex D i en el document Pressupost, s'estima una inversió inicial de 2.357.666,47 € per a la construcció de la planta i de les canonades.

Els maçanetencs paguen avui en dia l'energia a una mitjana de 7,44€/kWh. El cost de compra de l'estella és en mitjana a Catalunya de 2,57€/kWh, això suposant que no hi ha descompte per proximitat i compra en grans quantitats.

Es proposa que els usuaris segueixin pagant l'energia al mateix preu de compra que tenen ara, anant per tant tots els beneficis per a la instal·lació, i una vegada s'hagi pagat al complet es pugui rebaixar el preu.

Els costos operatius són impossibles de calcular per falta d'exemples d'instal·lacions de biomassa tan grans amb tants de punts de subministrament. S'estimen en 100.000€/any, que inclou: sou del treballador o treballadors a temps complet o parcial, serveis d'enllumenat i aigua potable i manteniment.

El benefici a final d'any tenint en compte costos operatius és de 96.836€, el payback sense tenir-los en compte és de 12 anys i tenint-los en compte de 24,3 anys. El payback real, si es poden rebaixar els costos operatius, serà una mitjana entre els dos.

El Valor Actual Net a 30 anys és negatiu, d'uns -365.000€ i el TIR pel mateix període és de l'1,44%. No es considera el fet que el VAN surti negatiu com un impediment, ja que el district heating ha estat pensat de gestió municipal i com un servei a la ciutadania i de promoció municipal.

El problema podria venir en el fet de tenir costos inesperats, ja que són molts anys de retorn de la inversió. També el fet que els càlculs són tenint en compte que el 100% de les cases estudiades s'uneixen al district heating, mentre que a la realitat seria difícil d'aconseguir aquest valor. Per tots aquests motius no s'aconsella tirar endavant la inversió sempre i quan no existeixi cap tipus de subvenció per part de l'administració.

8 Anàlisi d'emissions

Sense district heating existeixen unes emissions de 5.607 tones de CO₂ a l'any. Amb el district heating les emissions es consideren nul·les i per tant passarien a ser 0 tones.

La biomassa es considera amb emissió nul·la perquè el carboni que s'allibera a l'atmosfera ja hi era en forma d'arbre, a diferència dels combustibles fòssils que es desenterren.

Per tant hi hauria un 100% de reducció d'emissions de CO₂.

9 Resum del pressupost

El resum del pressupost és el següent:

Capítol 1.1	Edificació estació de generació	100.000
Capítol 1.2	Calderes d'estella	239.335,50
Capítol 1.3	Bombes d'aigua	25.672,10
Capítol 1.4	Vasos d'expansió i dipòsit d'inèrcia	5.553,40
Capítol 1.5	Canonades	20.913,60
Capítol 1.6	Elements del circuit hidràulic	173.572,41
Capítol 1.7	Evacuació de fums	6.810,30
Capítol 1.8	Extracció de cendres	16.550,55
Capítol 1.9	Alimentació d'estella	25.568,54
Capítol 1.10	Elements de protecció i cablejat elèctric	3274,18
	TOTAL CAPÍTOL 1 Estació generació i bombament	617.250,58 €
Capítol 2.1	Obertura de carrers	149.337,05
Capítol 2.2	Canonades de distribució	854.317,50
Capítol 2.3	Elements dels circuits de distribució	360.327,20
	TOTAL CAPÍTOL 2 Canonades de distribució	1.363.981,75 €
	TOTAL PRESSUPOST EXECUCIÓ MATERIAL	1.981.232,33 €
	Despeses generals (13%)	257.560,20 €
	Benefici industrial (6%)	118.873,94€
	TOTAL	2.357.666,47 €
	IVA (21%)	495.109,96€
	TOTAL PRESSUPOST EXECUCIÓ PER CONTRACTE	2.852.776,43 €

El total del pressupost d'execució per contracte ascendeix a **DOS MILIONS VUIT-CENTS CINQUANTA-DOS MIL SET-CENTS SETANTA-SIS AMB QUARANTA-TRES CÈNTIMS.**

10 Conclusions

S'ha comprovat que tecnològicament un district heating de les dimensions del nucli urbà de Maçanet és totalment viable. La tecnologia de calderes, bombes hidràuliques, canonades de polietilè reticulat i altres elements està totalment desenvolupada. També existeixen solucions comercials per als intercanviadors de calor de les cases.

A escala econòmica no hi ha benefici directe de l'explotació comercial del district heating de Maçanet. Ara bé, si es concep com a un servei municipal i no pas com a negoci el payback estaria rondant els 25 anys. És una inversió bastant arriscada a dia d'avui, ja que qualsevol imprevist podria fer trontollar la viabilitat del retorn econòmic. No es recomana portar a terme la inversió sempre i quan no existeixin subvencions de l'administració.

En tot cas, la instal·lació portaria molts beneficis al poble. Es generaria un lloc de treball fix de gestió de l'estació de generació i bombament, es crearien llocs de treball de gestió forestal, es mantindrien els boscos més nets, es reduirien les emissions de CO2...

El district heating de Maçanet ha estat concebut per ser de gestió totalment municipal exceptuant només el manteniment per part del servei tècnics d'alguns elements. L'automatització de l'estació de generació així com reduir al mínim el diàmetre de les canonades perquè siguin maniobrables sense maquinària específica van en aquesta línia.

11 Relació de documents

Els documents que formen part d'aquest projecte són:

- Document 1: Memòria i Annexos
- Document 2: Plànols
- Document 3: Estat d'amidaments
- Document 4: Pressupost

El document Plec de condicions que a priori hi hauria de ser s'ha desestimat al no tractar-se d'un projecte executiu.

12 Bibliografia

Laboratori Forestal Català. (2019). LiDAR App. Recuperat 13 juny 2019, de <http://ifnapp.creaf.cat/lidarapp/>

Ferres, L. (1985). *Creixement radial i producció primària neta aïtria a l'alzinar de La Castanya (Montseny, Barcelona)*.

Frederiksen, S., & Werner, S. (2013). *District heating and cooling*.

Agència Catalana de l'Aigua. (2005). *Directiva Marc de l'Aigua a Catalunya*.

Ministerio de Fomento. (2017). *Documento básico HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*.

Centre de la Propietat Forestal. (2011). *Biomassa forestal per a la producció d'energia tèrmica*. Recuperat de http://www.elfocat.cat/docs/Quadern de Biomassa_final.pdf

IDAE. (2010). *Guía técnica. Diseño de centrales de calor eficientes*. Recuperat de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11_Guia_tecnica_de_diseno_de_centrales_de_calor_eficientes_e53f312e.pdf

Galvany Castillo, F. (2015). *Metodología práctica para evaluar la viabilidad de redes de frío y calor urbanas integrando energía solar y biomasa en la España cálida*. Recuperat de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/61306/Galvany - METODOLOGÍA PRÁCTICA PARA EVALUAR LA VIABILIDAD DE REDES DE FRÍO Y CALOR URBANAS INTEG....pdf?sequence=1>

Annex A Paràmetres bàsics de la instal·lació

A.1 Consum anual d'estella

Per tal d'estimar la quantitat d'estella que es consumirà anualment per abastir els consumidors, s'ha realitzat una enquesta a la població. Es podria haver agafat un valor mitjà calculat per l'IDESCAT o un altre òrgan governamental, però el consum varia molt en funció de la població i no hi havia dades estadístiques de Maçanet, sinó generals.

Alguns dels paràmetres que més poden influir en aquestes variacions són:

- Diferències entre els ratis casa/pis, ja que una casa sol tenir un consum molt superior de calefacció.
- Edat de la població: una persona jubilada tendeix a passar més hores a casa i per tant a consumir més energia calorífica.
- Temperatura exterior: un poble muntanyenc sempre té una temperatura més baixa que un de coster.
- Tipus de calderes: la població estudiada tot just comença a tenir una xarxa de distribució de gas propanat, pel que la majoria de calderes són de gasoil. Com que aquestes tenen un pitjor rendiment, el consum sol ser major.

Tots aquests motius han fet desestimar agafar un valor promig de demanda tèrmica a Catalunya, i s'ha cercat una manera alternativa. S'ha decidit realitzar una enquesta a la població per tal de determinar un valor més exacte.

A.1.1 Enquesta a la població

L'enquesta era un full A5 dividit en dues parts. A la part del davant s'explicava quin era el motiu de la seva realització, donant a entendre que el motiu no era altre que aconseguir un valor més realista per tal de determinar els paràmetres essencials del DH. L'enquesta es va repartir amb el mètode de la "bustiada" i es va demanar a l'ajuntament col·laboració per la recollida una vegada omplertes, el qual van oferir de bon grat.

La part del revers del full és on hi havia l'enquesta pròpiament dita. En un primer moment la idea de l'enquesta era la de determinar bastants paràmetres, tot i que com es veurà alguns no han pogut ser considerats.

A la Il·lustració 10 es pot veure un exemple d'una enquesta contestada per un ciutadà del poble.

Enquesta

Quin és el seu carrer? (pot no contestar)

- FIGUERES, LA CARDONA

Quin combustible utilitza la seva caldera?

- Gasoil
- Gas canalitzat (amb comptador)
- Gas sense canalitzar (amb bombones)
- Biomassa (pèl·let, estella...)
- Electricitat
- Caldera comunitària de _____
- Altres _____

Quant es gasta anualment en el combustible de la seva caldera?

1.500 €

Les següents preguntes surten a la placa de característiques de la caldera. Si no sap com ubicar-la no es preocupi, no les contesti.

Quina és la potència de la seva caldera?

- _____ kW
- No ho sé / No contesto

Quin és el seu rendiment en %?

- _____ %
- No ho sé / No contesto

Si vol donar més informació, aquí pot. Per exemple, podria indicar el consum anual.

Il·lustració 10: Enquesta contestada. Font: Pròpia

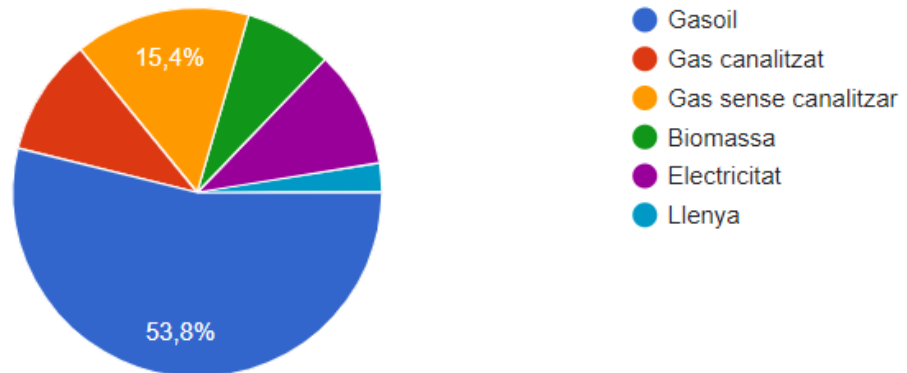
La il·lustració anterior podria ser, de fet, una enquesta estàndard. La majoria de calderes de Maçanet són de gasoil, els habitants se solen gastar més de 1000€ en combustible per alimentar-la i molts d'ells no han sabut respondre a la potència i rendiment de les seves calderes.

Com que en general no s'han respost les darreres dues preguntes, s'ha decidit que aquesta part de l'enquesta no s'utilitzaria per calcular la potència del district heating i que es buscaria una altra manera de fer-ho.

Les dades que sí que s'han considerat rellevants són el combustible que utilitza la gent de Maçanet de mitjana i el que paga anualment. Pel que fa al tipus de combustible, més de la meitat dels habitatges utilitzen Gasoil (53,8%), mentre que el gas (sumant canalitzat i en bombona) voreja el 25% de les calderes. La biomassa, l'electricitat i la llenya acapararien l'altre 25%, com es pot veure a la Il·lustració 11.

Combustible caldera

39 respostes



Il·lustració 11: Respostes a l'enquesta referent al combustible de la caldera. Font: Pròpia.

Si sumem tots els combustibles no renovables i considerem l'electricitat com a "mig renovable", ens trobem en que més del 80% de les calderes de Maçanet són d'origen fòssil. Només el 10% de les calderes utilitzen combustible local, biomassa o llenya.

Pel que fa a l'altra pregunta estudiada, el consum anual en euros, el número de respostes per tipus de combustible ha estat:

- Gasoil: 19.
- Gas sense canalitzar: 5.
- Gas canalitzat: 3.
- Electricitat: 0.
- Llenya o biomassa: 1.

Com que la major part de les respostes de consum anual (70%) són de gasoil, el criteri decidit és que el consum anual d'estella s'estimarà només a partir del consum anual d'aquest combustible. A el fet de tenir la major part de les respostes s'hi ha de sumar que també és el combustible amb un cost per litre més fàcil de trobar, ja que a Maçanet hi sol pujar un sol proveïdor de gasoil.

La suma dels euros gastats entre les 19 respostes a l'enquesta és de 23.997€, pel que en mitjana la gent del poble que té caldera de gasoil es gasta uns 1.263€ l'any per la compra de combustible.

A.1.2 Càlcul del consum d'estella a partir de l'enquesta

Com que s'ha acceptat que els habitants de Maçanet es gasten en mitjana 1.263€ a l'any en "litres equivalents de gasoil", independentment de la tecnologia que utilitzen, s'ha de procedir a passar aquests diners a L de gasoil consumits a l'any.

El litre de gasoil vorejava els 80 c€/L durant la data de la realització de l'enquesta, l'any 2018. Per tant, el consum és de 1579L/any en mitjana.

Com que el poder calorífic del gasoil és, segons la *Guía técnica* de l'IDAE (2010), 10.28 kWh/L. Aplicant la fórmula (1) s'obté l'energia anual gastada en kWh.

$$Energia (kWh) = Consum (L) * PCI \left(\frac{kWh}{L} \right) \quad (1)$$

L'energia consumida en un any per habitatge és de 16.232 kWh.

El següent pas és passar de l'energia que es consumeix en una caldera de gasoil a energia que es consumiria en un district heating. Les calderes de biomassa tenen un rendiment molt més alt que les calderes de gasoil antigues (aproximadament el 95% enfront del 80%). Mentre que, com diu Galvany, F (2015), les pèrdues en un sistema de distribució district heating ben dissenyat mai solen superar el 10-15%.

Com que el DH és més eficient a l'hora de produir l'energia calorífica però menys a l'hora de transportar-la, i amb uns rendiments totals que s'assimilen bastant però són difícils de calcular abans del disseny de la xarxa de calor, per tal de calcular l'energia necessària s'ha decidit que l'energia consumida de 16.232 kWh serà la mateixa que es calcularà generar amb estella.

El poder calorífic de l'estella és, segons el Centre de la Propietat Forestal (2011), d'uns 3,5 kWh/kg amb una base d'humitat del 30% i sense tenir en compte l'espècie de la que prové. De fet, com es pot veure a la II·lustració 12, el PCI varia molt més amb el grau d'humitat que no pas amb el tipus d'espècie.

PCI (kWh/t) en funció de la humitat*										
Percentatge d'humitat *(%)	0	10	20	25	30	35	40	45	50	60
Espècie										
Alzina	5.307	4.709	4.110	3.811	3.512	3.212	2.913	2.614	2.314	1.716
Roure	4.975	4.410	3.844	3.562	3.279	2.996	2.714	2.431	2.148	1.583
Pi roig	5.338	4.736	4.135	3.834	3.533	3.232	2.931	2.631	2.330	1.728
Pinassa	5.296	4.698	4.101	3.802	3.504	3.205	2.906	2.607	2.309	1.711
Pi blanc	5.082	4.506	3.930	3.642	3.354	3.066	2.778	2.490	2.202	1.626
Pi pinyer	5.374	4.769	4.164	3.861	3.558	3.256	2.953	2.651	2.348	1.743
Pollancre	4.815	4.266	3.716	3.442	3.167	2.892	2.618	2.343	2.068	1.519
Castanyer	5.184	4.598	4.012	3.718	3.425	3.132	2.839	2.546	2.253	1.667
Faig	4.951	4.388	3.825	3.544	3.262	2.981	2.699	2.418	2.136	1.573

II·lustració 12: PCI de l'estella en funció de la humitat i espècie. Font: Centre de la Propietat Forestal

Aplicant l'equació (1) en kg en comptes de litres s'obté que el consum d'estella anual per habitatge és de 4.638 kg d'estella.

A.1.3 Zona d'influència i habitatges/negocis subministrats

En una primera fase el district heating es calcularà només pel nucli urbà del poble. Això compren el territori situat entre la Riera d'Ardenya, la Riera de Fraussa, la carretera local GI-503 i l'escola Les Salines. L'àrea d'influència es pot veure a la II·lustració 13.

El primer pas és determinar quantes de les cases i dels negocis estan ocupats actualment, ja que Maçanet, com molts dels pobles catalans, té bastantes cases en desús i/o abandonades.

També s'ha volgut diferenciar l'ocupació estacional o de caps de setmana de l'ocupació habitual, ja que el consum no serà el mateix per una persona que hi viu tot l'any que per una persona que hi està estacionalment. El mapa complet de cases que estan utilitzades i cases en desús, posat en horitzontal, es pot veure a la II·lustració 14.

El recompte total surt de:

- 148 habitatges ocupats habitualment.
- 83 habitatges ocupats estacionalment o en caps de setmana.
- 7 bars i restaurants.
- 5 hotels o allotjaments.
- 6 edificis municipals o especials.

Com que les enquestes han estat respostes per veïns que hi viuen habitualment i els restaurants, bars, allotjaments rurals i hotels no han estat enquestats, s'ha de trobar una ràtio que compari el consum d'un habitatge normal amb les altres tipologies.

En el cas d'un habitatge estacional, com que sol ser de cap de setmana i alguns d'ells estan poc ocupats durant l'hivern i la tardor, s'ha decidit que "1 habitatge estacional equival al consum de 0,3 habitatges habituals".

Pel que fa als restaurants i bars, el seu consum d'aigua calenta sanitària i calefacció sol ser bastant més elevat que el d'un habitatge normal, per tant s'ha decidit que "1 restaurant o bar equival a 4 habitatges habituals".

Per últim, els hotels i apartaments tenen un consum prou elevat de calefacció, tot i que en temporada baixa d'hivern no estan massa ocupats. El consum més elevat serà d'aigua calenta sanitària a l'estiu i dels caps de setmana de festa major o de gran concurrència de gent al poble per l'hivern. S'ha decidit que "1 hotel o apartament equival a 3 habitatges habituals".

Els edificis municipals/especials són:

- Ajuntament: es considera el mateix consum que 2 habitatges habituals.
- Escola CEIP Les Salines: es considera el mateix consum que 5 habitatges habituals.
- La Societat: es considera el mateix consum que 1,5 habitatges habituals.
- Llar d'infants: es considera el mateix consum que 2 habitatges habituals.
- La Rectoria: es considera el mateix consum que 0,5 habitatges habituals.

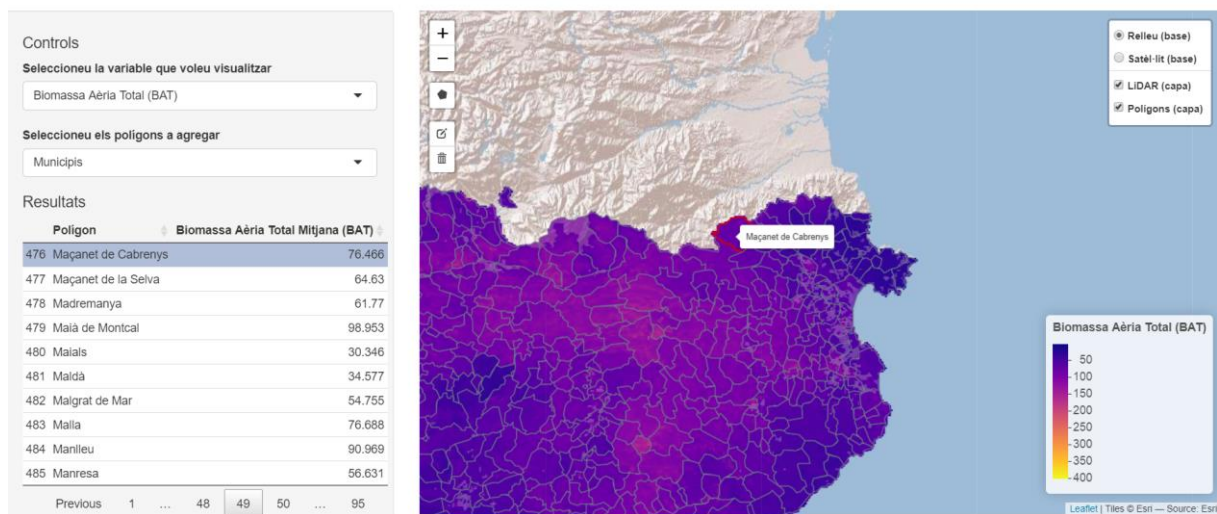
Per tant, aplicant el factor de correcció obtenim que:

- Número total de punts de subministrament: 249.
- Número equivalent d'habitatges habituals: 227.

Per tant el consum anual d'estella serà el número equivalent d'habitatges habituals multiplicat per el consum d'un habitatge habitual, donant el valor de 1.052 tones d'estella a l'any.

A.2 Capacitat de regeneració dels boscos

El nucli de Maçanet està envoltat de bosc per tots costats. De fet, a l'aplicació LiDAR App del Laboratori Forestal Català (2019), s'hi pot veure la Biomassa Aèria Total Mitjana. Aquesta variable indica la quantitat de tones de biomassa forestal que hi ha per hectàrea. En el cas de Maçanet és de 76,47 tones/ha. A la II-lustració 15 s'hi pot veure com apareixen les dades a l'aplicació, poden ser organitzades per municipi o província.



II-lustració 15: Biomassa Aèria Total Mitjana a Maçanet. Font: Laboratori Forestal Català

Maçanet té una superfície de 6.790 hectàrees, corresponents a 67,9 km² de territori. És el segon municipi amb més territori de l'Alt Empordà per darrera d'Albanyà. La quantitat de biomassa acumulada és de 519.200 tones.

Com que es necessitarien només 1.052 tones anuals pel DH, es tardarien pràcticament 500 anys per cremar tots els boscos. Segons Ferrer (1985) un bosc d'alzina (majoritari a Maçanet) genera anualment unes 2-3 tones per hectàrea i any. Considerant que el 60% del terme municipal sigui bosc fan una producció anual en el pitjor dels casos de 8.148 tones. Per tant la regeneració està assegurada.

A més a més, els pobles limítrofs també tenen una gran quantitat de bosc (Albanyà, Sant Llorenç de la Muga, Darnius, La Vajol, Morellàs, Ceret, Reiners, els Banys d'Arles, Sant Llorenç de Cerdans i Costoja). A la II-lustració 16 es pot observar la gran quantitat de bosc que hi ha a la zona.

Per tant, la producció local de la biomassa necessària és totalment possible, ajudaria al manteniment dels boscos i seria un dinamitzador econòmic per a la població.



Il·lustració 16: L'extensió de bosc s'allarga per tots els pobles limítrofs. Font: Google Earth

A.3 Potència pic de la instal·lació

A.3.1 Hipòtesis de càlcul

L'objectiu del DH és suplir dues demandes energètiques en els punts de subministrament: aigua calenta sanitària i calefacció. Com que només es tenen dades de consum anual, s'hauran de tenir en compte algunes hipòtesis. Primer de tot es calcularà el consum aproximat d'aigua calenta sanitària i la resta de consum es considerarà de calefacció.

A.3.2 El càlcul de la producció anual d'ACS

Per calcular el consum aproximat d'ACS és necessari fixar-se amb el Codi tècnic de l'edificació, document bàsic d'Estalvi d'energia. *Documento básico HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (2017)*. A la taula 4.1 de la citada normativa s'hi diu que s'han de calcular un 28 L per persona i dia a 60°C de consum d'aigua calenta.

La taula 4.2 parla del càlcul del número de persones en funció del número d'habitacions, com que aquest valor no es pot aconseguir fàcilment, s'ha decidit aproximar que al nucli urbà del poble hi viuen el 60% dels habitants de Maçanet. A dia d'avui hi ha una població de 681 habitants, pel que es considerarà que unes 408 persones viuen a l'àrea d'influència del DH. Ara bé, com que hi ha hotels i restaurants es considerarà que hi viuen unes 500 persones.

El número de litres d'aigua a 60°C que s'hauran de suplir en un any és

$$L_{\text{aigua},60^{\circ},\text{anuals}} = n^{\circ} \text{ persones} \cdot L_{\text{aigua},\text{persona i dia}} \cdot 365 = 5,11 \cdot 10^6 \text{ L} \quad (2)$$

On:

- $n^{\circ} \text{ persones} = 500$
- $L_{\text{aigua},\text{persona i dia}} = 28$

A Maçanet l'aigua prové de la riera de Fraussa, que és un afluent de l'Arnera i al seu temps del riera de la Muga. La riera Arnera està catalogada com a riu de muntanya mediterrània calcària segons la Directiva Marc de l'aigua a Catalunya, de l'Agència Catalana de l'aigua. En aquesta mateixa directiva es delimita la temperatura del riu a l'entorn d'uns 10-13 °C.

Entre l'emmagatzemat als dipòsits i el transport d'aquesta aigua a els habitatges, es considerarà que la temperatura de l'aigua augmenta uns 5°C. Per tant, en el pitjor dels casos estaríem parlant que l'aigua de boca es subministra a uns 15°C.

L'energia necessària per escalfar els vora cinc milions de litres d'aigua de 15°C fins a 60°C es calcula amb l'equació:

$$Q \text{ (kWh)} = K \cdot M_{H_2O} \cdot \Delta T = 267.431 \text{ kWh} \quad (3)$$

On:

- $K = 1,163 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{L}_{H_2O} \cdot ^{\circ}\text{C}}$
- $V_{H_2O} = M_{H_2O} = 5,11 \cdot 10^6 \text{ kg}$
- $\Delta T = 60 - 15 = 45^{\circ}\text{C}$

En conclusió, dels 4.041.768 kWh de producció anual d'energia només 267.431 kWh (6.7%) seran per l'aigua calenta sanitària.

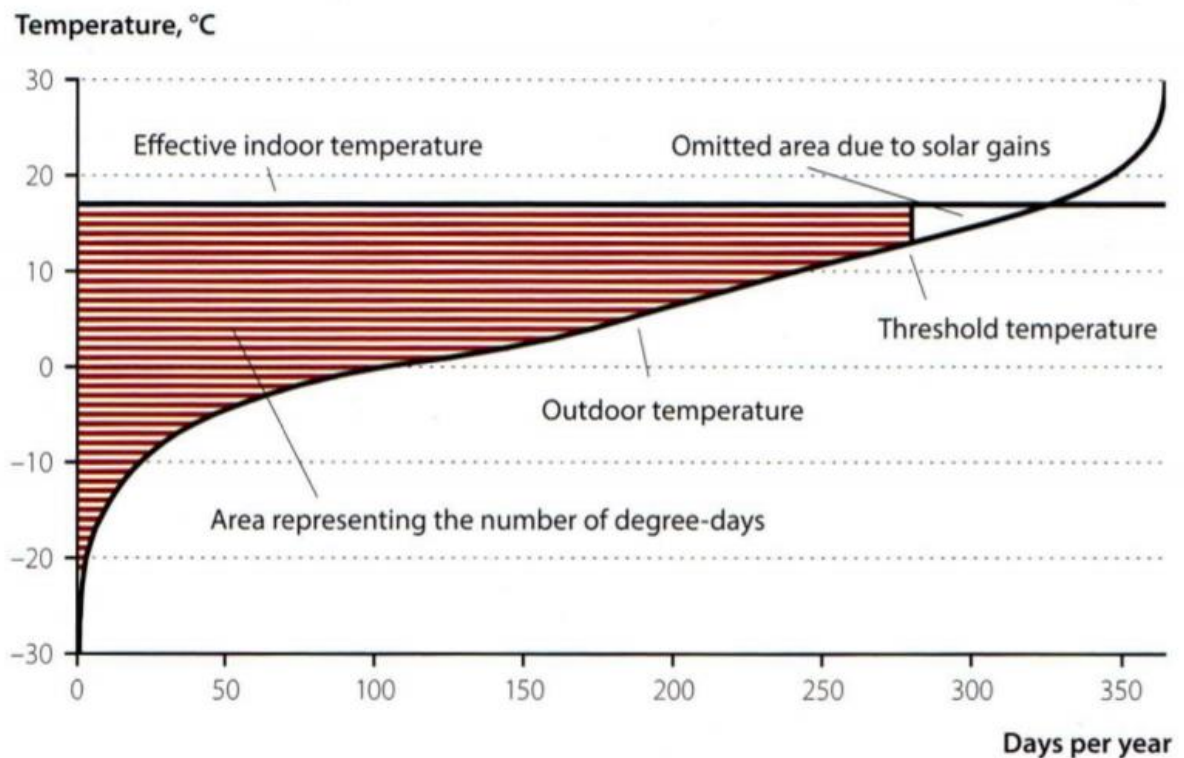
A.3.3 El càlcul de la producció anual de calefacció

Si el consum total anual és de 4.041.768 kWh i se'n fan servir 267.431 kWh per l'aigua calenta sanitària, s'haurà de generar 3.774.337 kWh d'energia per la calefacció.

A.3.4 Distribució anual de la producció de calefacció i càlcul del dia amb més demanda

Segons Frederiksen i Werner (2013), per dimensionar bé un *district heating* s'ha de fer el gràfic *degree-days* d'un any. Els *degree-days* són la integral del gràfic generat entre la temperatura exterior, la temperatura de confort i els dies de l'any.

Per fer-ho s'ha de tenir en compte diversos aspectes. El primer de tots és que, tal i com es diu en el llibre, una casa té una considerable inèrcia tèrmica, pel que ens hem de fixar amb la temperatura mitjana diària i no pas amb els màxims i els mínims per tal de predir si la població engegarà la calefacció o no. En segon lloc, tal i com es veu a la Il·lustració 17 es dibuixa un diagrama on es té en compte la temperatura de confort en un habitatge, que segons l'estàndard europeu està estipulat en uns 18°C, la temperatura exterior i la *threshold temperature*, que vindria a ser la temperatura sobre la qual no fa falta engegar la calefacció ja que el sol que entra per les finestres fa que s'assoleixi la temperatura de confort. Aquesta temperatura està estipulada en 15°C.



Il·lustració 17: Exemple de diagrama que determina el nombre de degree-days d'un any. Font: Frederiksen i Werner (2013)

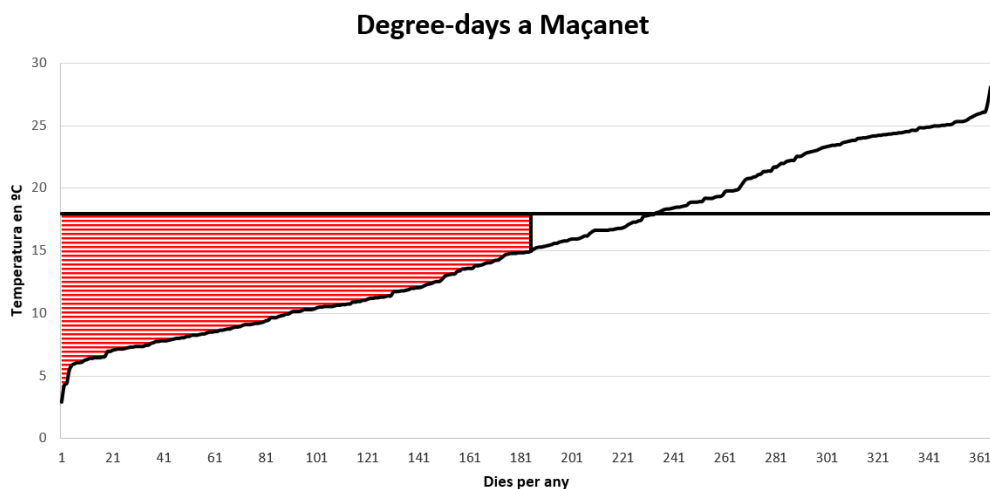
A la il·lustració els dies estan ordenats del més fred al més calent. Correspon en un país del nord d'Europa, tal i com es pot veure pel fet que molts dels dies s'està per sota dels 0°C.

Per tal de dibuixar el mateix gràfic amb la temperatura de Maçanet s'han de tenir dades reals de l'estació meteorològica més pròxima. El Servei Meteorològic de Catalunya ha donat accés per a la realització d'aquest treball a 2 anys de dades de l'estació situada al pantà de Darnius-Boadella, des del 2016 al 2018 (el 2015 només sortia a partir de l'abril). Com es veu a la Il·lustració 18, les dades són diàries i s'hi especifica la temperatura mitjana diària (TM), la temperatura màxima diària (TX) i la temperatura mínima diària (TN).

	A	B	C	D	E
1	CODI_ESTACIO	DATA_LECTURA	TM	TX	TN
2	J5	15/4/2015	16,2	25,0	8,0
3	J5	16/4/2015	16,0	22,5	12,3
4	J5	17/4/2015	15,6	22,0	11,2
5	J5	18/4/2015	16,2	21,6	11,0
6	J5	19/4/2015	14,5	18,9	11,8
7	J5	20/4/2015	15,5	22,3	11,3
8	J5	21/4/2015	16,9	23,5	10,7
9	J5	22/4/2015	15,4	22,2	11,4
10	J5	23/4/2015	15,2	21,5	10,3

Il·lustració 18: Valors diaris de temperatura de l'estació meteorològica de Darnius-Boadella. Font: Servei Meteorològic de Catalunya

S'ha fet la mitjana dels dos anys de dades disponibles i s'ha dibuixat el gràfic *degree-days*, tal i com es pot observar a la Il·lustració 19.

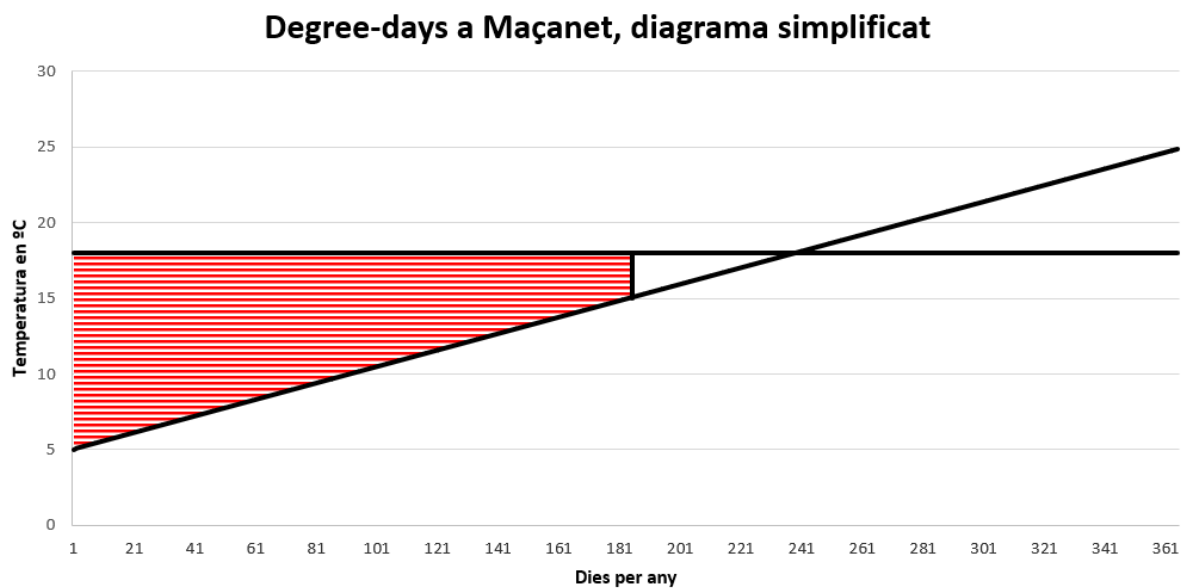


Il·lustració 19: Diagrama que determina el nombre de degree-days d'un any a Maçanet. Font: Pròpia

En primer lloc es pot observar que la calefacció s'engegarà de mitjana als punts de consum durant 185 dies a l'any. Aquest valor és important, ja que determinarà quan realment hi haurà un consum elevat en el district heating.

No és difícil deduir a partir d'aquest gràfic que no hi haurà el mateix consum els dies amb una temperatura exterior de 14°C que els dies amb una temperatura de 5°C. Tot i que la temperatura més baixa és de 2,9°C corresponent a la mitjana del 18 de gener dels dos anys, considerem que és un valor que s'allunya de la norma i establirem el mínim com 5°C.

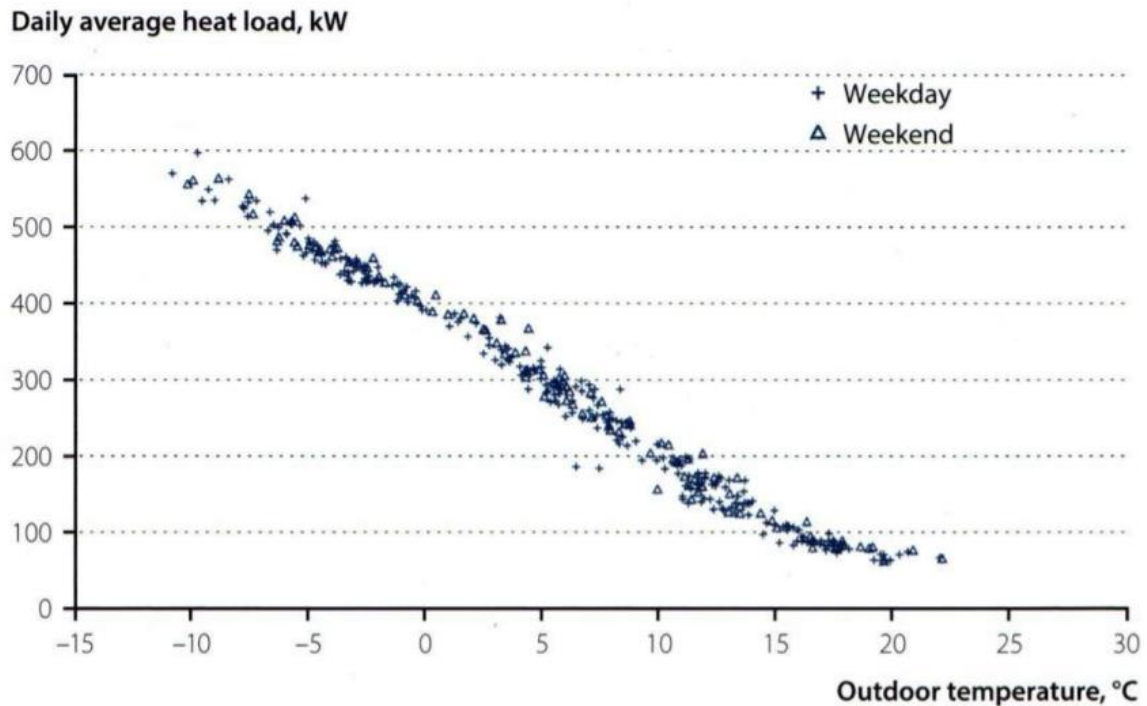
De fet, per tal de simplificar el càlcul de la integral, considerem un trapezoide que va des del dia 1, amb la temperatura de 5°C, fins al dia 185 amb la temperatura de 15°C, molt similar a la realitat. Es pot observar a la Il·lustració 20.



Il·lustració 20: Diagrama simplificat que determina el nombre de degree-days d'un any a Maçanet. Font: Pròpia

A la pàgina 70 del mateix llibre es pot observar la linealitat gairebé perfecta de la potència mitjana diària necessària per escalfar un habitatge en funció de la temperatura exterior. Aquest punt és molt important, ja que s'ha utilitzat per determinar el dia de màxima potència anual.

A la Il·lustració 21 es demostra com la potència mitjana diària del DH depèn totalment de la temperatura exterior de forma lineal. Això es compleix per temperatures inferior a 15°C, pel que és extrapolable al càlcul de la potència necessària de calefacció.



Il·lustració 21: Gràfic que demostra la linealitat entre temperatura i potència mitjana diària per temperatures inferiors a 15°C. Font: Frederiksen i Werner (2013)

El proper pas és calcular l'àrea *degree-days* a partir del trapezoide simplificat de la Il·lustració 20. L'àrea és fàcilment calculable si es divideix entre un rectangle i un triangle:

$$A_{\text{trapezi}} = A_{\text{rectangle}} + A_{\text{triangle}} \quad (4)$$

On:

- $A_{\text{rectangle}} = 185 \text{ dies} \cdot (18 - 15) \text{ }^{\circ}\text{C} = 555 \text{ graus} \cdot \text{dia}$
- $A_{\text{triangle}} = (185 \text{ dies} \cdot (15 - 5) \text{ }^{\circ}\text{C})/2 = 925 \text{ graus} \cdot \text{dia}$

Per tant, Maçanet té 1480 graus·dia, d'ara en endavant anomenats GD, durant l'any. Segons el llibre, Catalunya està entre 1000 i 1500 GD per any, per tant el valor sembla que pot ajustar-se a la realitat.

Si es divideix l'energia anual en calefacció a subministrar, que és de 3774 MWh entre els 1480 GD, s'obté el valor de 2550 kWh/GD. A partir d'aquí només falta mirar quants GD té el pitjor dia de l'any, que serà quan la temperatura exterior sigui de 5°C. Durant aquest dia, serà necessari escalfar l'interior dels habitatges a 18°C tenint només 5°C a l'exterior, per tant es necessitaran 13 GD.

Per tant durant aquell dia, el DH haurà de subministrar 33.150 kWh d'energia per la calefacció.

A.3.5 Potència pic del district heating

S'ha calculat que al llarg de l'any es necessitaran 267.431 kWh per tal d'escalfar l'ACS dels punts de subministrament. El pitjor dia de l'any és hivern i l'aigua del dipòsit serà més freda que durant l'estiu, pel que no seria del tot correcte dividir aquest nombre entre el nombre de dies d'un any per saber quina energia s'haurà de suplir aquell dia. S'ha considerat que per fer més realista el càlcul s'aplicarà un factor de 1,5 a la part proporcional.

Per tant, si amb la divisió de l'energia al llarg de l'any per 365 dies que té un any sortia un valor de 732 kWh, aplicant el factor surten 1.098 kWh.

Una vegada extrapolat que en el pitjor dia de l'any seran necessaris 33.150 kWh d'energia per la calefacció i 1.098 kWh per l'ACS, es pot determinar que el DH haurà de suplir 34.248 kWh d'energia en un dia.

Es demanarà als clients que no apaguin la calefacció durant la nit, de fet segons Frederiksen i Werner (2013) per tal que un DH funcioni correctament s'han d'intentar evitar al màxim les variacions de consum. Per tal de fer això es dissenyarà un sistema de bonificació per aquelles persones que consumeixin més durant les hores de menys consum.

Per tant, si es considera que la caldera no pararà durant les 24 hores del dia, la potència necessària per generar aquesta energia és la divisió de l'energia que s'ha de produir durant un dia entre 24, sortint una potència necessària de 1,32 MW. S'aplicarà un factor de seguretat d'1,4 per tenir en compte les variacions de consum horàries, ja que tot i les bonificacions segurament existiran.

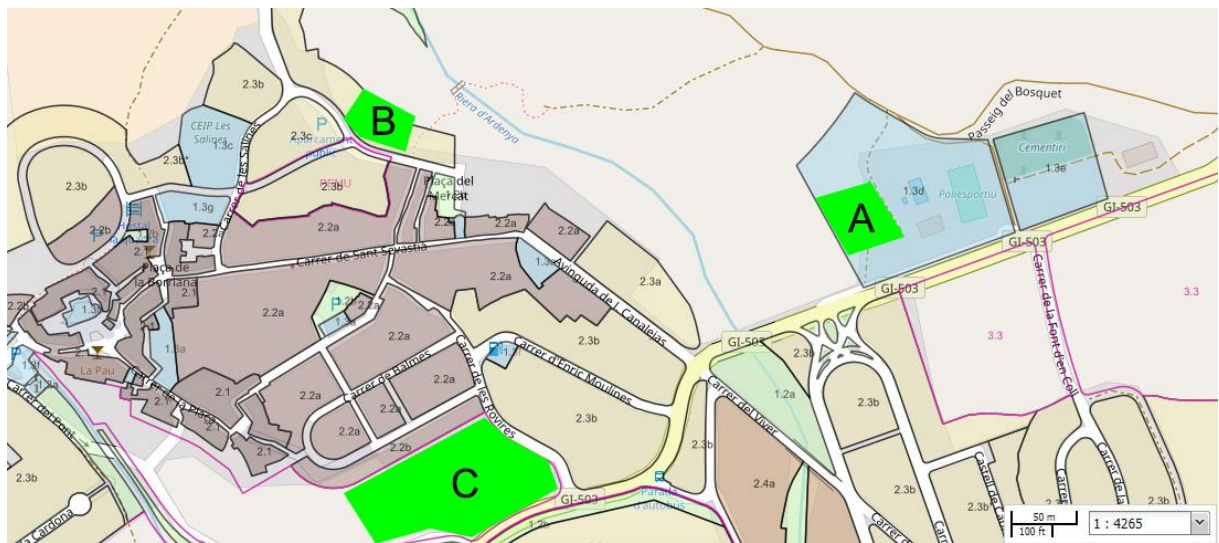
Amb el factor de seguretat surt una potència de càlcul de 1,85 MW.

Annex B Estació de generació i bombament

B.1 Elecció de la situació de l'estació de generació i bombament

És molt important escollir bé el lloc on es construiran les instal·lacions que permetran escalfar l'aigua de retorn a través de la combustió de biomassa i bombar-la de nou cap als punts de subministrament. Unes instal·lacions massa allunyades augmentaran la pèrdua per caiguda de pressió i de temperatura. Unes instal·lacions massa properes al lloc de consum generaran sorolls per càrrega de combustible dels camions, olors de combustió no desitjades i impacte paisatgístic.

Per a l'elecció de la situació s'ha parlat amb l'ajuntament del municipi sobre quins terrenys tenia lliures i també se'ls hi ha consultat l'opinió sobre la idoneïtat d'un o altre. Després de la reunió s'ha decidit que els punts amb possibilitat de construcció de l'estació de generació i bombament són els que apareixen a la Il·lustració 22.



Il·lustració 22: Terrenys amb possibilitat d'instal·lació de la planta de generació i bombament. Font: Pròpia

El punt A correspon a un terreny que actualment no s'utilitza per res més que com aparcament de la piscina, el poliesportiu i el cementiri municipals. El punt B és un terreny urbanitzable a prop de la plaça de Reiners, on se celebra el mercat municipal. El punt C és un terreny no urbanitzable, molt proper als pisos de Can Muga.

Els criteris que faran decantar cap a un terreny o un altre són:

- Criteri tècnic de proximitat al centre de consum. Es valorarà la proximitat de cada un dels terrenys entre 1 i 4.

- Criteri tècnic de facilitat per a l'entrada de camions de gran tonatge. Es valorarà entre 1 i 6.
- Criteri tècnic de generació de soroll per als habitatges propers. Es valorarà entre 1 i 5.
- Criteri tècnic de generació de fums per als habitatges propers. Es valorarà entre 1 i 5.
- Criteri tècnic de la facilitat d'obtenció del permís d'obra municipal. Es valorarà entre 1 i 5.
- Criteri estètic d'integració amb elements, habitatges i paisatges propers. Es valorarà entre 1 i 3.
- Criteri econòmic de construcció. Es valorarà entre 1 i 5.

B.1.1 Criteri tècnic de proximitat al centre de consum

Per poder avaluar la proximitat de cada un dels tres punts als centres de consum, s'ha de trobar el centre de gravetat tèrmic tenint en compte cada habitatge i el seu pes en el còmput. Cada punt de subministrament tindrà un pes diferent, en funció de si és de residència habitual, plurifamiliar o estacional. Els pesos que s'han decidit es poden veure a la Taula 1.

TIPUS D'HABITATGE	PES
Unifamiliar	1
Plurifamiliar <i>N</i> pisos	<i>N</i>
Unifamiliar/Estacional	0.2
Plurifamiliar <i>N</i> pisos/Estacional	0.2 * <i>N</i>

Taula 1: Pes de cada punt de subministrament per trobar el centre de gravetat tèrmic. Font: Pròpia

Per exemple, un edifici plurifamiliar de 5 pisos on hi viu gent tot l'any tindrà un pes de 5, mentre que si és estacional només el tindrà de 1 (5 pisos multiplicat pel factor de 0,2).

S'ha creat una funció de Matlab per simplificar el càlcul del centre de gravetat, el codi es pot veure a la Il·lustració 23.

```
function [Coordenada] = ubicacio(punts)
%% Càlcul centre de masses diversos punts
%% Arnau Bassols 2018

%% Programa
% La funció calcula el centre de masses en un mapa 2D amb diversos punts
de diferent pes. Entrar una matriu, primera columna X, segona Y, tercera
pes.

X_vector=punts(:,1);
Y_vector=punts(:,2);
Pes=punts(:,3);

x=sum(X_vector.*Pes)/sum(Pes);
y=sum(Y_vector.*Pes)/sum(Pes);
Coordenada=[x y];
end
```

Il·lustració 23: Codi de Matlab que determina el centre de gravetat tèrmic del nucli urbà del poble. Font: Pròpia.

A la funció se li ha d'entrar una matriu que contingui tres columnes, on cada fila és un punt diferent. A la primera columna hi va la posició X del punt, a la segona la posició Y i a la tercera el pes del punt. La funció treu les coordenades del centre tèrmic del poble.

Per cridar la funció s'ha creat l'scrip de la Il·lustració 24.

```
%% Arnau Bassols 2019
%% Centre de masses
load('punts.txt');
ubicacio(punts)
```

Il·lustració 24: Script que crida la funció de la Il·lustració 24. Font: Pròpia

Com es pot observar a l'script, és necessari tenir un arxiu *txt* amb tots els punts posats en columnes. Per fer-ho s'utilitzarà el programa Web Plot Digitizer, que serveix per trobar coordenades en un gràfic o en un mapa.

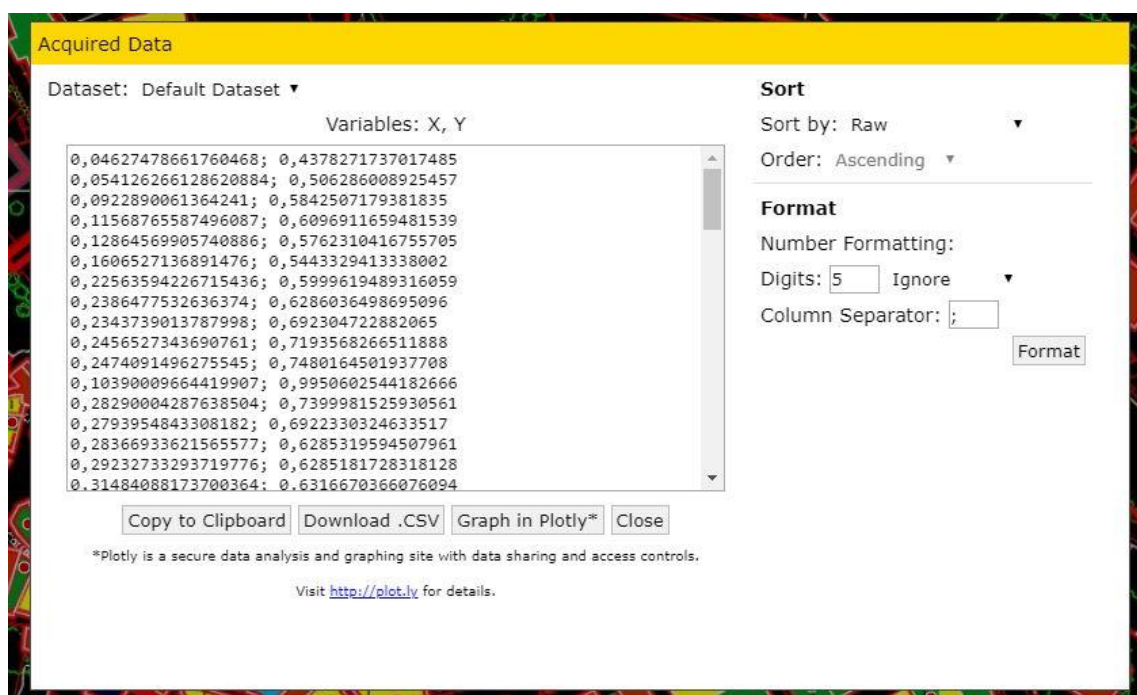
El primer pas és seleccionar en el mapa d'ocupació de les cases (Il·lustració 14), tots els habitatges unifamiliars. El resultat es pot veure a la Il·lustració 25.



Il·lustració 25: Mapa d'ocupació de les cases amb els punts marcats al Web Plot Digitizer. Font: Pròpia.

El programa extreu els punts en el seu propi sistema de coordenades, que marca en funció de la imatge que se li ha carregat.

A la Il·lustració 26 es poden observar els punts que extreu el Web Plot Digitizer. Aquests punts es passen a l'excel i si afegeix la tercera columna, que serà el pes. En el cas dels habitatges unifamiliars s'ha decidit que és 1, com es pot veure a la Il·lustració 27.



Il·lustració 26: Punts que s'han extret del Web Plot Digitizer. Font: Pròpia

	A	B	C
1	0.04627479	0.43782717	1
2	0.05412627	0.50628601	1
3	0.09228901	0.58425072	1
4	0.11568766	0.60969117	1
5	0.1286457	0.57623104	1
6	0.16065271	0.54433294	1
7	0.22563594	0.59996195	1
8	0.23864775	0.62860365	1
9	0.2343739	0.69230472	1
10	0.24565273	0.71935683	1
11	0.24740915	0.74801645	1

Il·lustració 27: Punts del Web Plot Digitizer passats a Excel i amb el pes corresponent. Font: Pròpia.

De la mateixa manera, s'opera per a cada un dels tipus d'habitatges. Plurifamiliars de 2 pisos, de 3, de 4, etc. Després, es fa amb els d'estada estacional. Els punts trobats s'afegeixen a continuació dels anteriors, afegint els pesos corresponents.

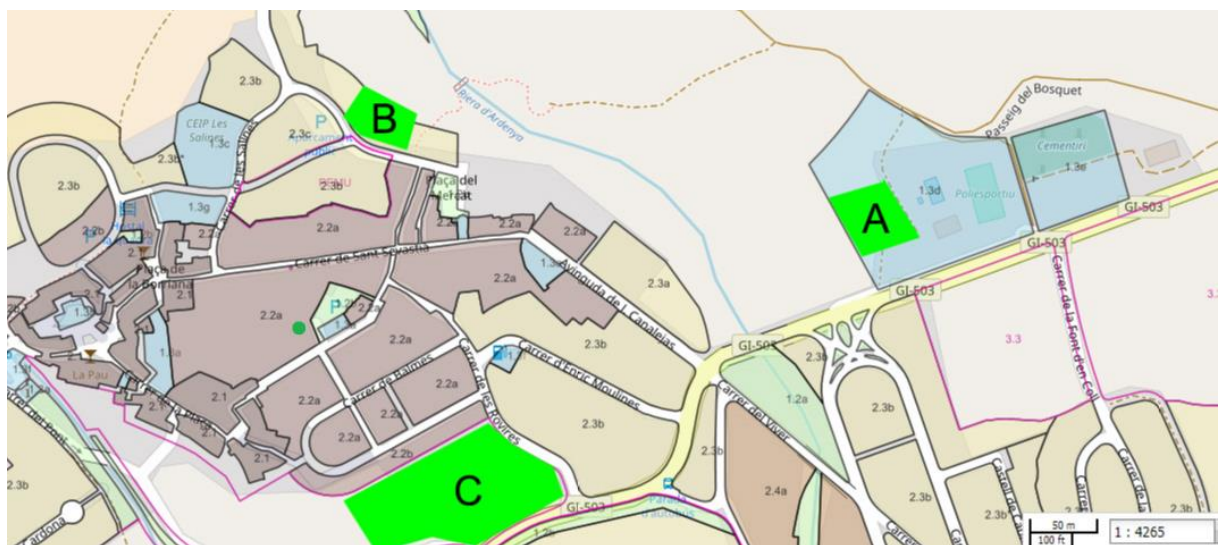
Una vegada es té la llista de tots els punts de subministrament, es guarden en format de text. Des del Matlab s'executa l'script i s'obté el resultat $X=0.4915$ i $Y=0.4616$.

Ara ja només falta veure on està situat el centre tèrmic en el WebPlotDigitizer, com es pot veure a la Il·lustració 28 és molt proper a l'Ajuntament.



Il·lustració 28: Situació del punt de gravetat tèrmic del DH. Font: Pròpia.

A la Il·lustració 29 s'observa la distància amb cada un dels punts, que és de 440 m respecte A, 160 m respecte B i 180 m respecte C.



Il·lustració 29: Situació dels terrenys respecte el punt de gravetat tèrmic. Font: Pròpia.

Al terreny A se li dona una qualificació de 1, al terreny B de 4 i al terreny C de 3.

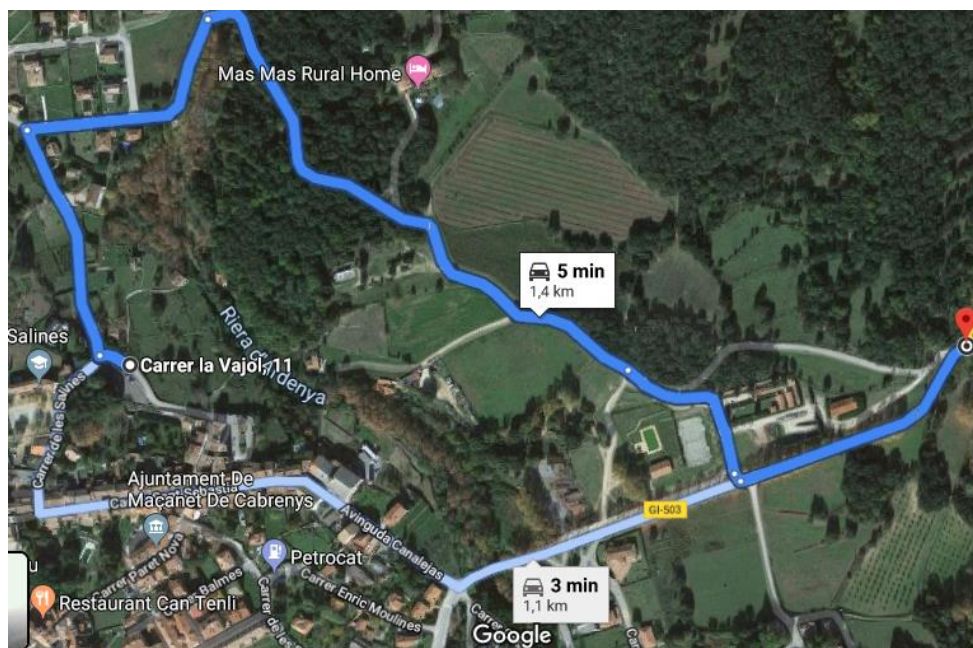
B.1.2 Criteri tècnic de facilitat per a l'entrada de camions de gran tonatge

La situació del terreny A és a l'entrada del poble. L'accés és fàcil a través de la GI-503. S'evita haver de passar camions a prop del nucli urbà. A la Il·lustració 30 es pot observar una proposta de traçat perquè el camió pugui arribar al terreny A.



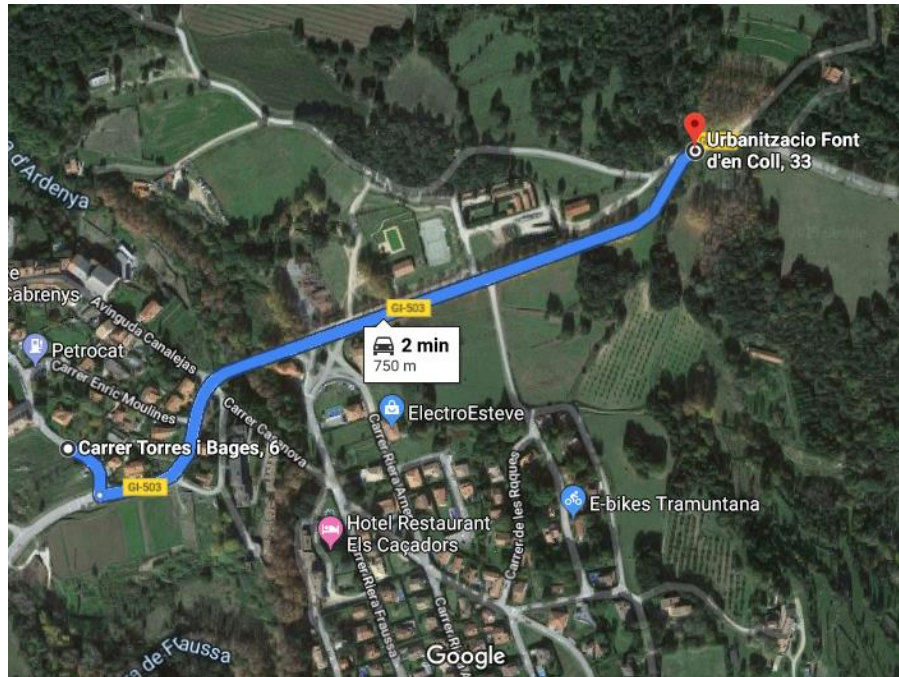
Il·lustració 30: Traçat del camió per arribar al terreny A. Font: Pròpia

Per arribar al terreny B fa falta travessar una carretera estreta que passa per la zona denominada “el bosquet”, pel que els camions estarien limitats a baix o mig tonatge o s’hauria de cercar una alternativa. Es pot veure a la Il·lustració 31.



Il·lustració 31: Ruta dels camions per arribar al terreny B. Font: Pròpia

Per arribar al terreny C s'ha de seguir la ruta de la II-lustració 32. La única diferència amb la ruta A és que el camió s'hauria d'acostar molt al nucli urbà, generant soroll i un possible perill.

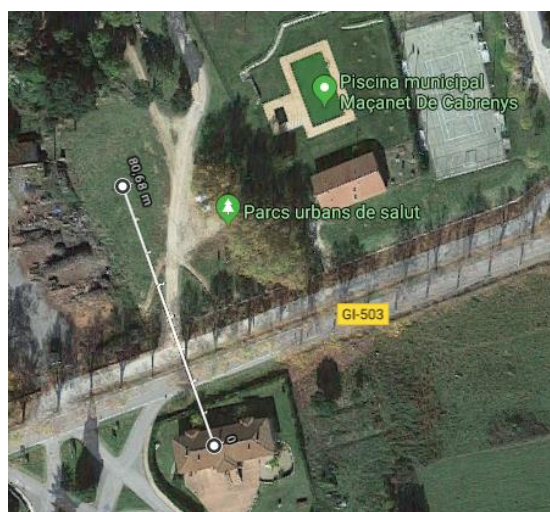


II-lustració 32: Ruta dels camions per arribar al terreny C. Font: Pròpia

Es puntua el terreny A amb 6 punts, el terreny B amb 1 punt i el terreny C amb 4 punts.

B.1.3 Criteri tècnic de generació de soroll per als habitatges propers

La distància de l'estació de generació, si es situés al terreny A, amb l'habitatge més proper és d'uns 80m, al terreny B d'uns 50m i al terreny C d'uns 30 metres. II-lustració 33, II-lustració 34 i II-lustració 35.



II-lustració 33: Distància entre el terreny A i l'habitatge més proper. Font: Pròpia



Il·lustració 34: Distància entre el terreny B i l'habitatge més proper. Font: Pròpia



Il·lustració 35: Distància entre el terreny C i l'habitatge més proper. Font: Pròpia

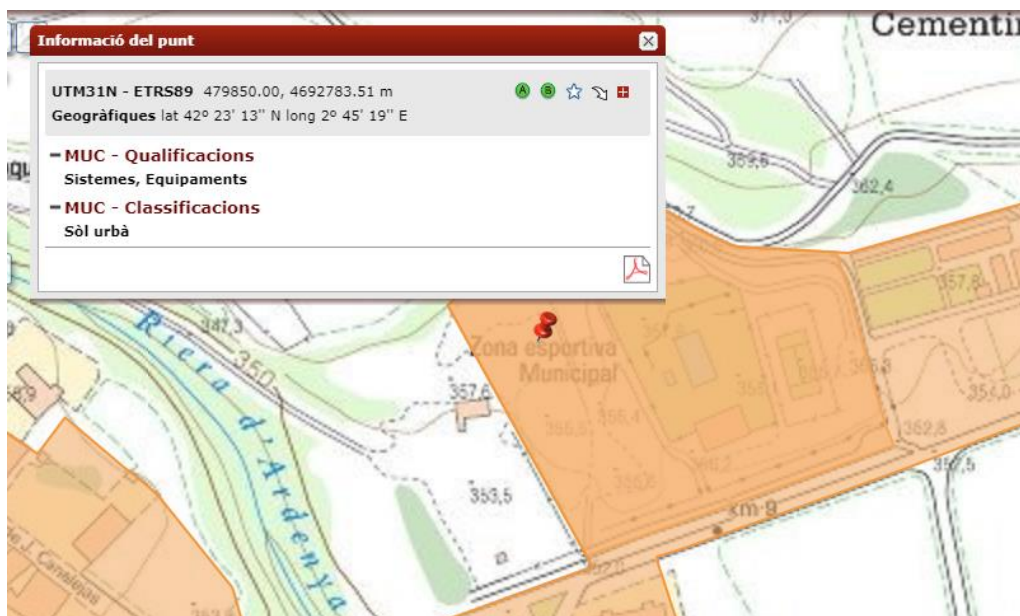
Es donen 5 punts al terreny A, 1 punt al terreny B i 4 punts al terreny C.

B.1.4 Criteri tècnic de generació de fums per als habitatges propers

Similar al criteri de generació de soroll, el més important és la distància a l'habitatge més proper, pel que la puntuació serà també 5 punts per A, 4 per B i 1 punt pel terreny C.

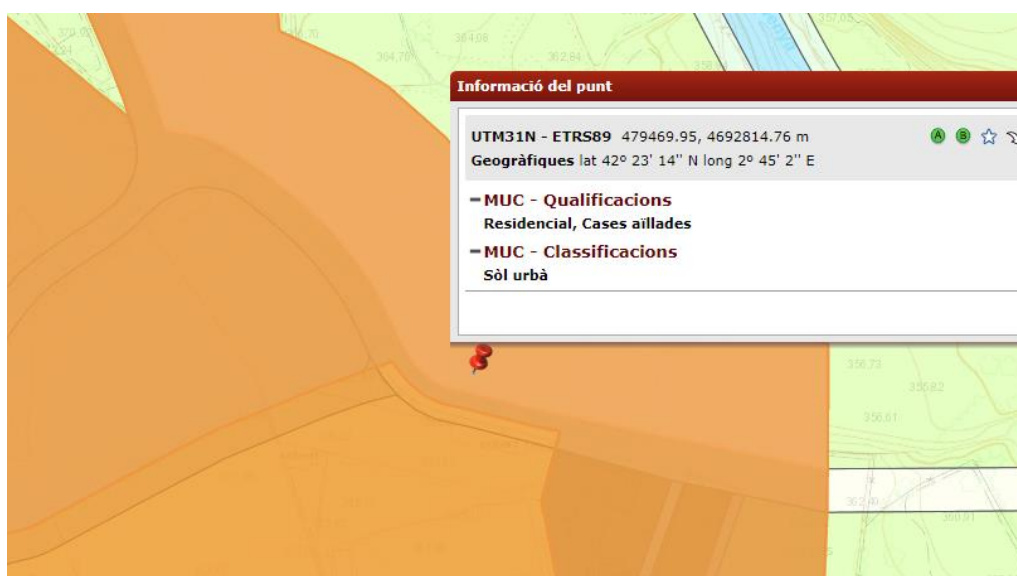
B.1.5 Criteri tècnic de la facilitat d'obtenció del permís d'obra municipal

Segons el visor d'urbanisme de l'ajuntament i la generalitat, el terreny A està situat en una zona preparada per sistemes i equipaments municipals, pel que seria fàcil justificar la construcció d'un equipament de serveis com és un district heating (Il·lustració 36).



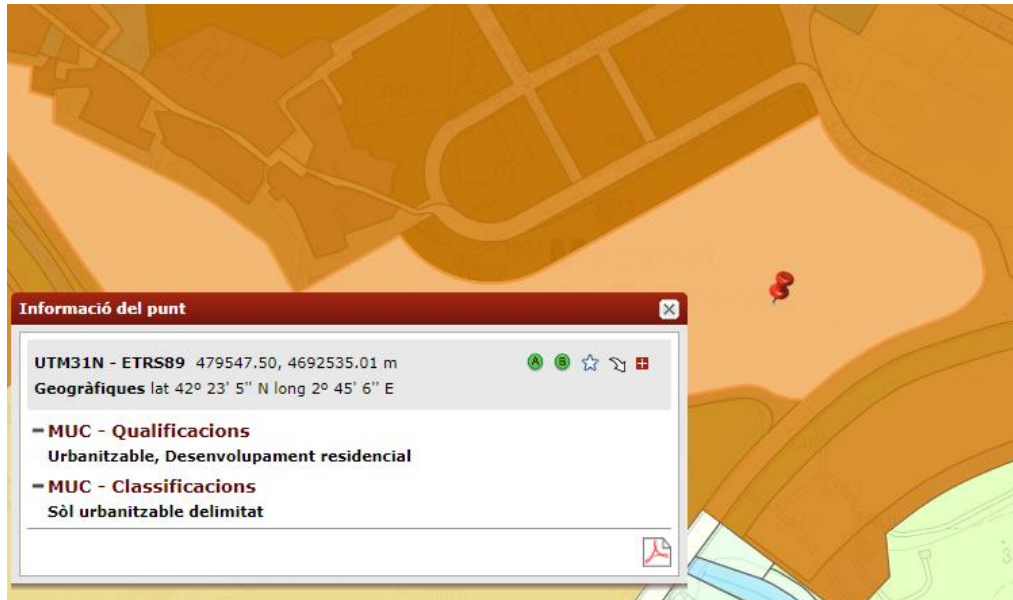
Il·lustració 36: Qualificació del terreny A com a sistema, equipament. Font: sip.gencat.ca

El terreny B està situat en sòl urbà consolidat i declarat com a residencial. S'hauria de fer algun tràmit perquè es re-avalués com a servei i a més a més té un propietari privat (cost elevat). Veure la Il·lustració 37.



Il·lustració 37: Qualificació del terreny B com a residencial, cases aïllades. Font: sip.gencat.ca

Per últim, el terreny C és no urbanitzat però sí urbanitzable. Té el handicap que encara s'ha d'urbanitzar per poder-hi construir, però les parcel·les urbanitzades no tenen un propietari i l'ajuntament té potestat per exigir certa superfície per equipaments municipals. Veure Il·lustració 38.



Il·lustració 38: Qualificació del terreny C com a urbanitzable, desenvolupament residencial. Font: sip.gencat.ca

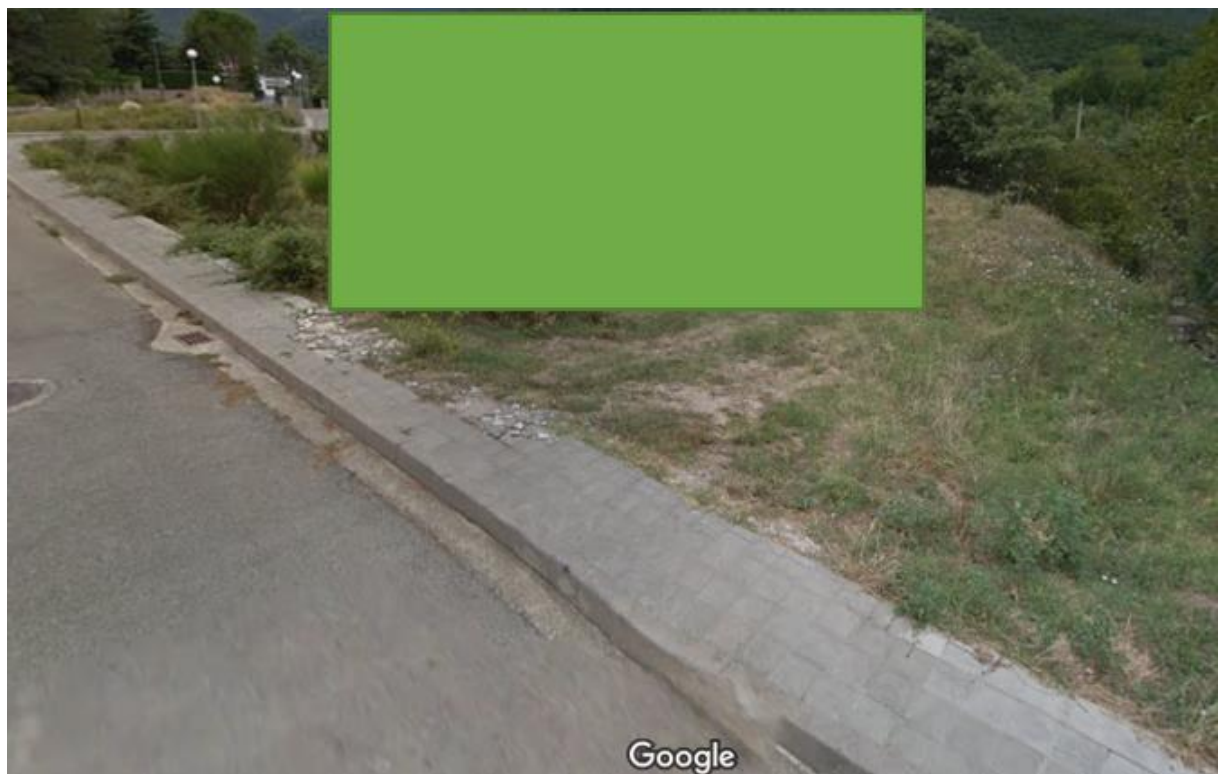
Després d'haver estudiat cada cas s'atorguen 5 punts al terreny A, 2 punts al terreny B i 3 punts al terreny C.

B.1.6 Criteri estètic d'integració amb elements, habitatges i paisatges propers.

S'ha intentat aproximar l'impacte des de la carretera o carrer més proper, com es pot veure a la Il·lustració 39, la Il·lustració 40 i la Il·lustració 41.



Il·lustració 39: Impacte paisatgístic terreny A. Font: Pròpia



Il·lustració 40: Impacte paisatgístic terreny B. Font: Pròpia



Il·lustració 41: Impacte paisatgístic terreny C. Font: Pròpia

Es puntua el terreny A amb 3 punts, el terreny B amb 1 punt i el terreny C amb 2 punts.

B.1.7 Criteri econòmic de construcció

Els 3 terrenys són plans, pel que no s'hauria d'anivellar el terreny. Tots tres tenen electricitat i aigua potable per omplir el district heating. Pel que tots tres reben el qualificatiu màxim de 5 punts.



Il·lustració 42: Terreny A amb orografia planera. Font: Pròpia.



Il·lustració 43: Terreny B amb orografia planera. Font: Pròpia.



Il·lustració 44: Terreny C amb orografia planera. Font: Pròpia.

B.1.8 Recompte de puntuació i elecció de l'emplaçament

El recompte de vots es pot veure a la Taula 2. El terreny escollit és el terreny A, situat a prop de la piscina municipal, el poliesportiu i el cementiri.

CRITERIS	PUNTUACIÓ	TERRENY	TERRENY	TERRENY
	MÀXIMA	A	B	C
Criteri tècnic de proximitat al centre de consum	4	1	4	3
Criteri tècnic de facilitat per a l'entrada de camions de gran tonatge	6	6	1	4

Criteri tècnic de generació de soroll per als habitatges propers	5	5	1	4
Criteri tècnic de generació de fums per als habitatges propers	5	5	1	4
Criteri tècnic de la facilitat d'obtenció del permís d'obra municipal	5	5	2	3
Criteri estètic d'integració amb elements, habitatges i paisatges propers	3	3	1	2
Criteri econòmic de construcció	5	5	5	5
Total	33	30	15	25

Taula 2: Suma de les puntuacions de cada criteri. Font: Pròpia

B.2 Elecció de les calderes de generació

En una calefacció centralitzada el consum no és constant al llarg de l'any com sí que ho podria ser en una indústria que necessita escalfar aigua. És per això, que el sistema que es decideixi ha de ser modular, ha de funcionar tant bé durant l'hivern amb una potència estimada d'uns 2 kW com a l'hivern, amb una potència molt inferior.

Calcular aquesta potència mínima és senzill, tal i com s'ha calculat a l'annex A.3.2, el consum anual d'estella serà d'uns 267.431 kWh. Si es divideix per 365 dies que té un any surt un consum de 733 kWh/dia. Per tant, el primer que es pot observar és que hi ha una diferència abismal entre el consum a l'hivern i el consum a l'estiu.

Per tal de solucionar aquest problema, s'ha decidit posar dues calderes, una que sigui regulable a molt baixa potència (menys de 100kW) i una altra molt més gran que cobreixi el consum de calefacció els dies d'hivern.

Amb dues calderes també s'assegura la no interrupció del servei per tasques de manteniment, que tot i que es miraran de fer a l'estiu, el consum no es pot aturar per la demanda d'ACS als establiments turístics. L'òptim seria fer el manteniment de la caldera gran durant l'estiu, ja que

estarà aturada, i el manteniment de la caldera petita durant els mesos de tardor, quan la demanda encara no farà que hagi de ser encesa per cobrir els pics de potència juntament amb la caldera gran.

Una altra opció és fer els dos manteniments a l'estiu i fer funcionar la caldera gran per escalfar el dipòsit d'inèrcia, tot i que això forçaria a moltes engegades i parades.

B.2.1 HERZ Biomatic 500 o similar

La caldera Herz Biomatic 500 pot treballar amb una potència entre 79 i 450 kW. És idònia per treballar durant l'estiu o en moments on s'ha de fer el manteniment de la caldera gran.

El principal avantatge d'aquesta caldera és la seva potència mínima de 79 kW, com que gairebé sempre existirà un petit consum en el district heating (fruit de la pèrdua de calor de les canonades i de l'activitat nocturna d'alguna part de la població), el dipòsit d'inèrcia no haurà de ser massa gran. Si el sistema tingués calderes que no poden treballar a poca potència, es necessitaria un dipòsit d'inèrcia gran per evitar les contínues engegades i parades de les calderes.

Aquesta caldera també servirà per cobrir la demanda pic, ajudant a la de 1500 kW per tal de fer una potència nominal total de 1950 kW.

B.2.2 HERZ Biofire 1500 o similar

La caldera Herz Biofire 1500 o similar pot treballar amb una potència autoregulable entre 450 kW i 1500 kW. Durant l'estiu segurament no s'utilitzarà gaire, excepte en algun moment d'alta demanda d'ACS i el seu principal funcionament serà durant l'hivern per tal de cobrir la demanda de calefacció dels punts de subministrament.

El fet que la potència mínima sigui de 450 kW fa que no es pugui fer servir en moments de baixa demanda, ja que s'hauria de tenir un dipòsit d'inèrcia molt gran. És per aquest motiu que s'ha optat per tenir una caldera gran i una petita.

B.2.3 Rang de potència i les calderes en funcionament

En funció de la potència requerida, que es calcularà amb un cabalímetre i una sonda de temperatura a l'entrada del dipòsit d'inèrcia, funcionarà una caldera o una altra. Els rangs es poden veure a la Taula 3.

RANG DE POTÈNCIA	Calderes en funcionament
0-75 kW	Dipòsit d'inèrcia amb Biomatic 500 kW encenent-se alternativament
75 – 450 kW	Biomatic 500 kW
450 – 1500 kW	Biofire 1500 kW
1500 kW – 1950 kW	Biomatic 500 kW + Biofire 1500 kW
1950 kW en amunt	Fora de rang, les dues calderes funcionant a la vegada, problemes d'abastament de calor

Taula 3: Rangs de potències i les calderes en funcionament. Font: Pròpia

Per tal d'evitar la contínua encesa-apagada d'una caldera i una altra es filtrarà el senyal en 5 minuts. És a dir, només una vegada cada 15 minuts es farà la lectura de la potència per tal de decidir quina caldera s'ha d'encendre i quina s'ha de parar.

A més a més, es delimitarà una temperatura de consigna del dipòsit d'inèrcia, per tal d'evitar que es refredi per la pèrdua tèrmica natural del seu propi aïllament.

B.3 Elecció del dipòsit d'inèrcia

Una caldera de biomassa pot treballar entre un rang de potències. Si a la caldera se li demana menys potència del mínim que pot subministrar, la caldera es parará. Això provocarà una caiguda de temperatura a tota la xarxa, ja que el retorn d'aigua freda tornarà a ser impulsada directament cap als punts de subministrament, sense haver estat escalfada.

Per evitar això s'instal·larà un dipòsit d'inèrcia. Aquest dipòsit acumularà aigua a una temperatura determinada i encendrà la caldera només quan la temperatura descendeixi de la consigna. Per exemple, encendrà la caldera a 80°C i l'apagarà a 85°C. Entre els valors

intermedis el sistema regularà la potència de la caldera per tal que la temperatura no continuï baixant i es quedi al mig del rang.

El dipòsit d'inèrcia ha de ser suficientment gran per assegurar que durant l'època de menys consum la caldera no s'engegui cada menys d'una hora, per així no afectar la seva vida útil. Es podria posar menys temps en funció del que es vulgui protegir la vida útil de la caldera.

Tal i com s'ha calculat a l'Annex B.2, el mínim consum és de 733 kWh/dia. També existrien unes pèrdues tèrmiques que no es tindran en compte per tal de perjudicar el càlcul al màxim possible.

Si es divideixen aquests 733 kWh/dia entre 24 hores, surt un consum de 30,5 kWh/hora en el pitjor dels casos. Passat a potència són 30,5 kW constants durant el dia. S'ha posat una histèresi de control de 5°C, pel que els litres emmagatzemats al dipòsit han d'assegurar que en aquest cas la temperatura no decau més d'aquesta temperatura en una hora.

La fórmula per fer aquest càlcul és la següent:

$$Q \text{ (kWh)} = K * M_{H_2O} * \Delta T \quad (5)$$

On:

- $K = 1,163 \cdot 10^{-3} \frac{kWh}{L_{H_2O} \cdot ^\circ C}$
- $V_{H_2O} = M_{H_2O}$ és el valor que busquem, els litres que han de cabre en el dipòsit.
- $\Delta T = 5^\circ C$ és la màxima caiguda de temperatura que es vol en una hora.
- $Q \text{ (kWh)}$ és l'energia que es necessitarà en una hora en les condicions de consum mínim. En aquest cas 30,5 kWh.

Surt un volum de dipòsit d'inèrcia de 5.245 L. Com que hi ha prou espai, es decideix posar un dipòsit d'inèrcia de 10.000L model PFXXL 10004 F TML INDUSTRI LOODO o similar. D'aquesta manera s'evitarà encara més que la caldera s'hagi d'engegar innecessàriament.

B.4 Emmagatzematge de l'estella

B.4.1 Càlcul de les dimensions del dipòsit de combustible

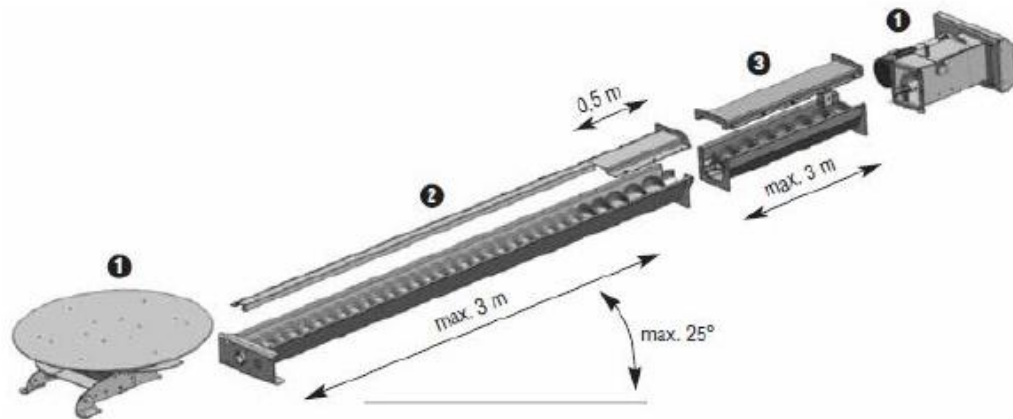
El RITE (Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis) estableix que l'autonomia mínima de la instal·lació ha de ser de dues setmanes.

La densitat de la biomassa, segons el Centre de la Propietat Forestal (2011) és d'uns 280 kg/map (metre cúbic aparent). El poder calorífic inferior és de 3,5 kWh/kg. Aquest poder calorífic passat a kWh/map surt de 980 kWh/map.

Per la seva banda el pitjor dia de l'any el consum serà de 34.248 kWh, aplicant un rendiment mitjà de les calderes del 90% surt que s'haurà d'emmagatzemar 38.053 kWh d'energia.

Per tant el consum d'estella durant el pitjor dia de l'any serà de 38.83 m³. Si s'aplica el principi de les dues setmanes l'estella que s'hauria d'emmagatzemar és 543 m³. A escala comercial dipòsits tan grans són difícils de trobar i tots tenen limitacions d'alçada i diàmetre degut a l'extractor. Per el cas del DH de Maçanet s'ha decidit anar al màxim possible en dipòsit d'estella que permet HERZ en els seus vis sens fi comercials

Com es pot veure a la Il·lustració 45, la limitació més gran és la dels 6 m de diàmetre del conjunt modular. Pel que la base del dipòsit serà de com a molt de 6x6 m (no interessa fer-la més gran ja que es perdria material pels laterals. L'alçada màxima, com es pot veure a la mateixa figura, no pot sobrepassar els 6m. Per tant, el volum màxim per emmagatzemar amb aquest sistema és de 216 m³ (6x6x6). Comptant el que quedarà a sota del vis sens fi que no es pot aprofitar, el volum real es pot aproximar en uns 200 m³ d'estella. Si es posa el mateix dipòsit per cada una de les calderes, cadascuna amb el seu conjunt modular, el volum dels dos serà de 400 m³ d'estella, que dona una autonomia d'uns 10 dies. En tot cas el volum d'estella consumit durant els dies de màxim consum és tal que requerirà d'aproximadament un camió per dia, pel que el dipòsit com a tal servirà per tenir marge si falla l'aprovisionament d'estella.



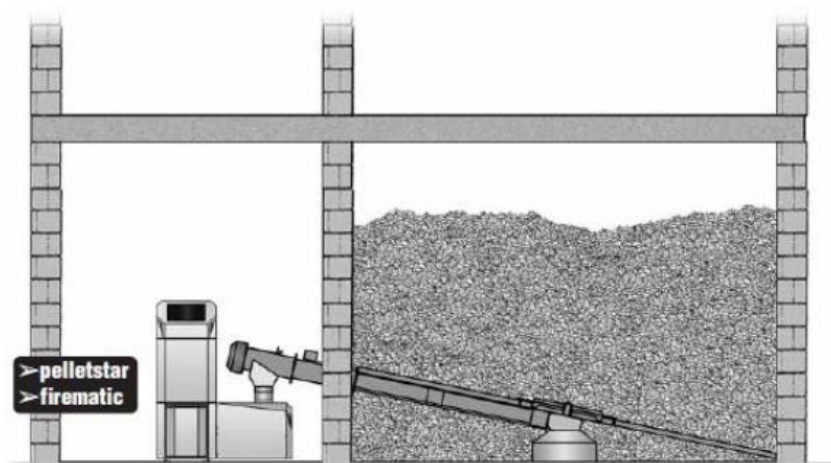
Conjunto modular sinfín extractor. Características:

- Rotativo Ø 2 m / 2,5 m / 3 m / 3,5 m / 4 m / 4,5 m / 5 m / 5,5 m / 6 m
- Altura máxima depósito silo para pellet: 4 m
- Altura máxima depósito silo para astilla: 6 m
- Tramo descubierto para interior de silo. Máximo 3 m
- Tramo cerrado para sinfín extractor. Máximo 3 m.
- Ángulo máximo 25º

Il·lustració 45: Característiques de limit de l'extractor de sílta HERZ. Font: HERZ

B.4.2 Situació del dipòsit de combustible

El dipòsit d'estella es pot situar a sobre, al mateix nivell o a un nivell inferior que la caldera. S'ha decidit, per tal d'evitar condensacions per la humitat del terreny, que el dipòsit començarà a la mateixa alçada que hi ha situades les calderes. La disposició es pot veure a la Il·lustració 46.



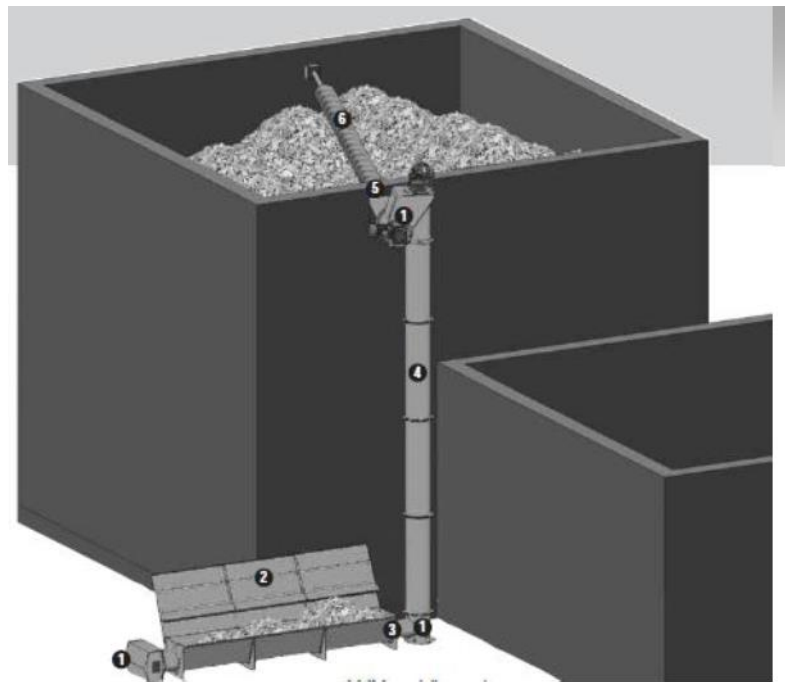
Il·lustració 46: Sistema d'alimentació horitzontal. Font: HERZ

Com es pot veure els braços que recullen l'estella tenen una lleugera inclinació d'uns 10-15°. Això permet connectar directament el braç amb el vis sense fi i al seu temps amb l'alimentació de la caldera, abaratint costos.

Entre el dipòsit d'inèrcia i la caldera existeix una paret que fa a la vegada de dipòsit i evita la propagació de la flama cap al dipòsit en el cas d'incendi a la caldera.

B.4.3 Omplerta dels dipòsits de combustible

Per tal d'omplir els dipòsits de combustible serà necessari un sistema de càrrega vertical tal i com es pot veure a la Il·lustració 47, ja que faran uns 6 metres d'alçada.



Il·lustració 47: Sistema de càrrega vertical. Font: HERZ

El camió abocarà l'estella sobre el transportador i aquest la pujarà fins al dipòsit.

B.5 Estació de bombament

L'estació de bombament és necessària per tal de portar l'aigua calenta cap als punts de subministrament. Al ser un circuit tancat, les bombes hauran de donar una pressió al circuit coincident amb la pèrdua de càrrega del mateix. També hauran d'aguantar una temperatura d'uns 90°C, ja que seran col·locades a l'anada i no al retorn.

B.5.1 Càlcul del cabal punta

El cabal màxim es produirà quan a l'hivern les dues calderes funcionin a plena capacitat, per tant quan la potència sigui de 1.950 kW. No tindria sentit dimensionar les bombes per un cabal superior al necessari per transportar aquesta potència, ja que per potències superiors el circuit es refredaria per falta de potència de les calderes.

Com que la diferència de temperatura que s'ha establert pels intercanviadors de calor dels punts de subministrament és de 30°C, el cabal necessari es pot calcular amb la fórmula:

$$Q_{H_2O} = \frac{P \text{ (kW)}}{K * \Delta T} = 15,52 \text{ L/s} \quad (6)$$

On:

- $K = 1,163 \cdot 10^{-3} \frac{kWh}{L_{H_2O} \cdot ^\circ C} = 4,1868 \frac{kWs}{L_{H_2O} \cdot ^\circ C}$
- $Q_{H_2O} = M_{H_2O}$ és el cabal d'aigua necessari per transportar la potència de 1950 kW.
- $\Delta T = 30^\circ C$ és la diferència de temperatura de disseny entre anada i retorn.

Per tant, les bombes hauran de suplir un cabal de 15,15 L/s, que equival a 54,54 m³/h.

B.5.2 Càlcul del cabal mínim

El cabal mínim podria arribar a ser zero si en algun moment cap dels punts de subministrament demana energia, però les bombes també han de funcionar si el cabal és molt petit (pocs punts de subministrament funcionant).

Per això s'agafaran bombes de velocitat variable, que poden treballar a velocitats molt baixes gràcies als variadors de freqüència.

B.5.3 Elecció de les bombes

S'han escollit dues bombes Grundfos TPE 40-530/2-S A-F-A-BQQE o similars. Són de velocitat i cabal variables i aguanten temperatures altes.

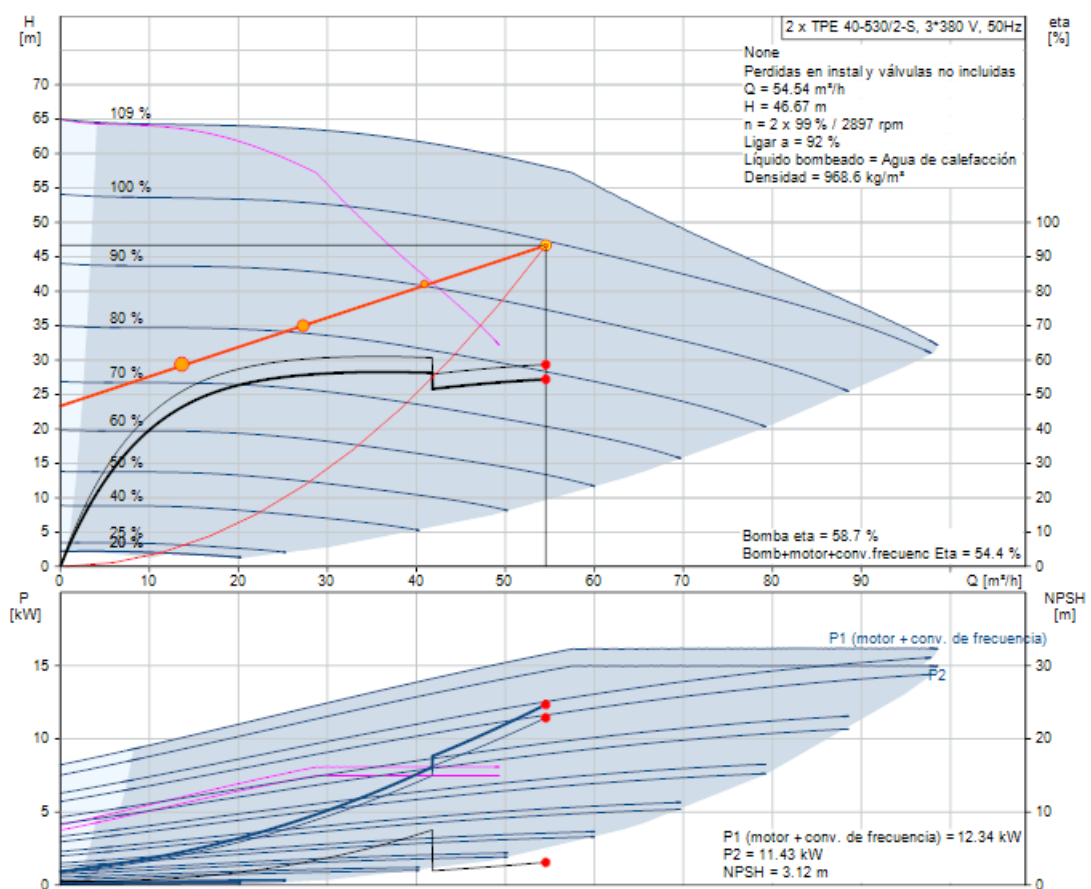
Normalment les bombes autoregulades treballen per mantenir una mateixa pèrdua de càrrega sigui quin sigui el punt de treball. D'aquesta manera saben quan hi ha una alta demanda d'aigua ja que la pèrdua de càrrega serà major que quan la demanda és baixa.

En el cas de la bomba TPE es fa un càlcul de cabal i pressió per evitar treballar amb cabals petits i diferències de pressió altes, ja que això provoca gastar més energia de la necessària. Es pot programar.

Dit d'una altra manera, quan el cabal a les canonades és elevat es perd bastanta pressió i al punt de subministrament més allunyat li arriba una diferència de pressió de per exemple 1,5 bar. Mentre que si hi ha poc cabal al punt de subministrament més allunyat li arribaran 3 bar.

Amb el control proporcional es pot fer que sempre arribi al subministrament més allunyat 1,5 bar. Es pot fer calculat o amb mesura real, però això voldria dir un augment en costos perquè seria necessari posar un sensor a l'entrada i un a la sortida del punt més allunyat. De moment no s'ha cregut necessari i per tant es calcularan diversos punts de funcionament una vegada el sistema funcioni. Sempre es pot afegir el sensor en un futur si fos necessari.

L'estimació del funcionament de les dues bombes es pot veure a la Il·lustració 48.



Il·lustració 48: Funcionament de les dues bombes. Font: GRUNDFOS

La diferència de pressió límit, en el cas de màxima demanda, s'ha estimat en 4,5 bar. Això és perquè s'ha decidit tenir una pressió d'1,5 bar dins del dipòsit d'inèrcia i la pressió a sortida de bomba serà de 6 bar com a molt per no afectar la vida útil de les canonades.

Es pot veure una imatge de la bomba seleccionada a la II-lustració 49.

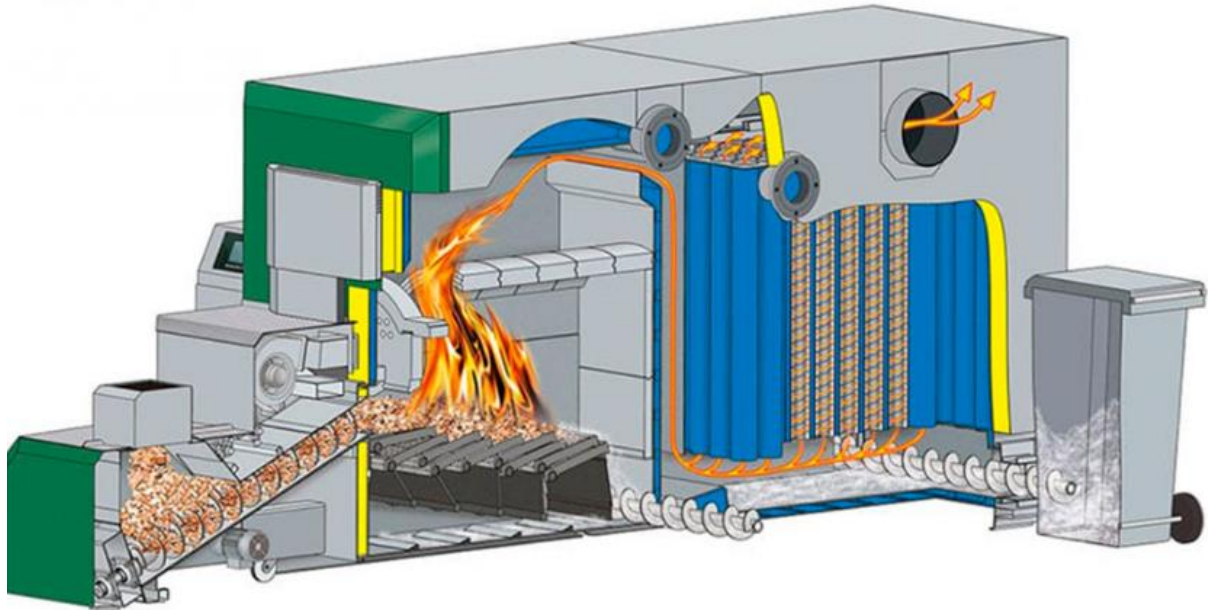


II-lustració 49: Bomba d'impulsió Grundfos TPE 40-530/2-S A-F-A-BQQE. Font: Grundfos

El motiu de posar dues bombes mitjanes en comptes d'una gran és perquè així es pot fer manteniment a una de les dues sense haver de parar el DH.

B.6 Sistema d'eliminació de cendres

Totes les calderes de biomassa inclouen diverses solucions per eliminar les cendres generades durant la combustió. En el cas de HERZ, o similar, aquest sistema passa per ser recollides en un contenidor, com es pot veure a la II-lustració 50. La quantitat de cendres que es generarien en un dia de màxima producció es poden calcular amb l'índex de producció de cendres, que segons el Centre de la Propietat Forestal és d'entre l'1 i el 2% de la massa d'estella consumida. Els 38.83 m³ d'estella que es consumeixen durant el pitjor dia de l'any equivalen a 10,8 tones de fusta. El 2% corresponen a 217 kg de cendra. S'haurà de tenir en compte que s'haurà d'eliminar. Una bona opció és com a fertilitzant d'espais verds municipals.



Il·lustració 50: A la dreta, contenidor de cendres. Font: HERZ

B.7 Vasos d'expansió

Els canvis de temperatura generen un canvi de volum de l'aigua. Com que el district heating disposa d'un dipòsit d'inèrcia de 10.000 litres, unes calderes que poden tenir acumulats uns 4.000 litres d'aigua entre les dues i el conjunt de canonades del circuit, aquests vasos d'expansió hauran de tenir un volum important. Aquests vasos d'expansió el que fan és deixar incrementar el volum de l'aigua a dins el circuit sense que augmenti la pressió que s'ha estipulat en 1,5 bar.

Per calcular el volum necessari farà falta saber el volum del circuit de canonades. En total hi ha 5.059 metres de canonades de diferent mida. El volum total d'aigua al seu interior és de 27.722 litres, que sumats als anteriors donen un total de 41.722 litres.

S'ha d'aplicar la fórmula (7) per tal de trobar l'increment de volum de l'aigua continguda en el circuit si passa de 5°C (circuit parat a punt de gelar) a 85°C (temperatura màxima del circuit).

$$\Delta V_{\text{aigua}} = \alpha_{H_2O} \cdot V \cdot \Delta T \quad (7)$$

On:

- ΔV_{aigua} és l'augment de volum que tindrà l'aigua al circuit.
- α_{H_2O} és el coeficient de dilatació de l'aigua líquida ($2,1 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$)

- $V = 27.722L$ és el volum d'aigua del circuit.
- ΔT és la diferència de temperatura (que s'estima en $80^{\circ}C$).

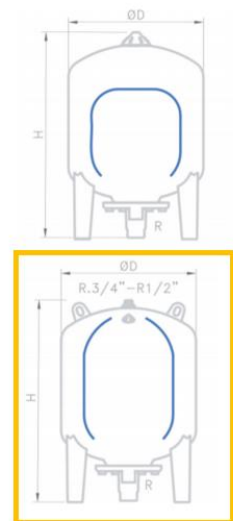
La diferència de volum és de 465,73 L.

Per tant s'agafaran tres vasos d'expansió de 300 AMR-B160 (M/F) Ibaiondo S.A o similar, així s'afegeix un factor de seguretat per si un d'ells té problemes.

El vas d'expansió escollit es pot veure a la Il·lustració 51.

Modelos con patas 8 -10 bar

Peso (Kg)	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		R Conexión agua
					Ø D (mm)	H (mm)	
10	01035241	35 AMR-P	35	10	360	615	1"
12	01050241	50 AMR-P	50	10	360	750	1"
16	03080241	80 AMR-P	80	10	450	750	1"
18	03100031	100 AMR-P	100	10	450	850	1"
18	03100041	100 AMR-P-A	100	10	450	875	1 1/4"
25	03150801	150 AMR-B90 (M/F)	150	10	485	1060	1 1/4"
42	03200801	200 AMR-B90 (M/F)	200	10	550	1135	1 1/4"
55	03300801	300 AMR-B160 (M/F)	300	10	650	1180	1 1/4"
71	03500801	500 AMR-B160 (M/F)	500	10	750	1450	1 1/2"
78	03700501	700 AMR-B160 (M/F)	700	8	750	1750	1 1/2"

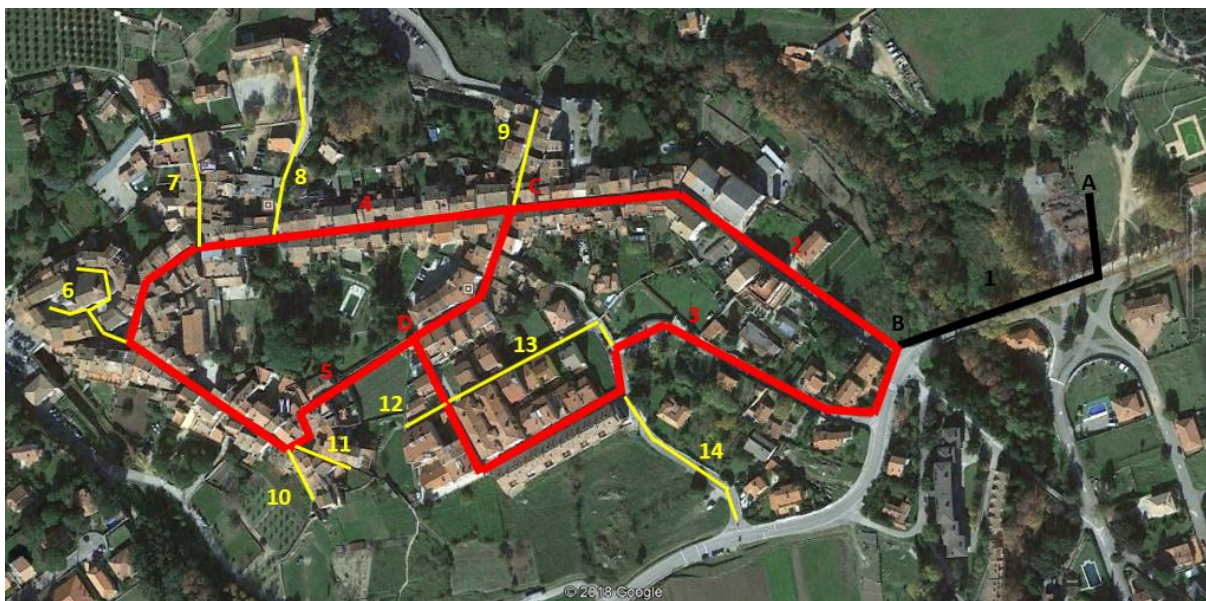


Il·lustració 51: Vasos d'expansió Ibaiondo. Font: Ibaiondo S.A

Annex C Distribució de l'energia

C.1 Càlcul traçat de les canonades i paràmetres importants

La xarxa de canonades es divideix en tres tipologies: xarxa central, xarxa neural i ramificació. La xarxa central es pot veure a la II-lustració 52 de color negre, la xarxa neural de color vermell i la xarxa ramificada de color groc.



II-lustració 52: Les diferents tipologies de canonades, central (en negre), neural (en vermell) i ramificada (en groc). Font: Pròpia.

A grans trets la xarxa central és la que no es pot aturar mai ja que si ho fa s'atura tot el district heating, en aquesta canonada està prohibit afegir-hi punts de subministrament ja que no té camins secundaris per on fer passar l'aigua calenta.

La xarxa neural són el conjunt de canonades que transporten l'aigua calenta al llarg de tot el nucli urbà. A qualsevol punt de la xarxa neural l'aigua pot venir pels dos costats, d'aquesta manera es poden fer talls de subministrament controlats sense afectar a la totalitat del sistema (per manteniment o per afegir nous punts de subministrament). Cada certs metres hi ha d'haver una vàlvula per tal de tancar el circuit i deixar-lo sense aigua.

Per últim, la xarxa ramificada és l'encarregada de portar aigua a les cases situades en carrers no principals. Si es vol fer manteniment o connectar un nou punt de subministrament a qualsevol d'aquests ramals, s'haurà d'aturar el subministrament a tot el carrer.

C.2 Pèrdua de càrrega i velocitat a les canonades

Per calcular la pèrdua de càrrega i la velocitat de l'aigua a les canonades en el cas més desfavorable s'ha fet servir el programa FluidFlow. El dipòsit situat a l'estació de generació i bombament és el punt de referència, que s'estableix a una pressió relativa d'1,5 bar per evitar la cavitació de les bombes.

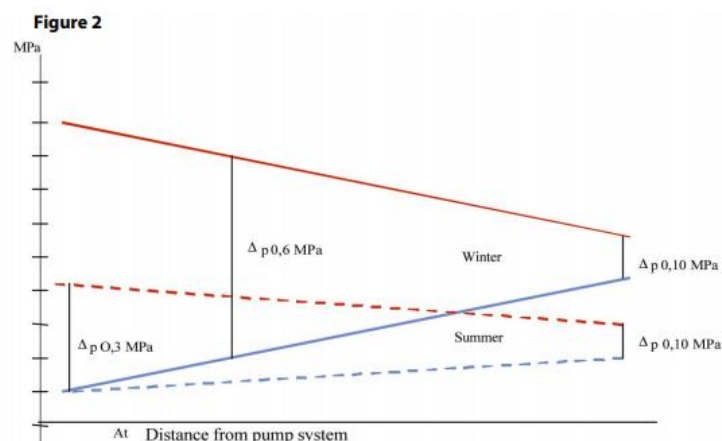
Per no malmetre les canonades s'ha definit que la màxima pressió al circuit serà de 6 bar. Per tant, a la sortida de la bomba es tindrà com a molt aquesta pressió.

Els intercanviadors de calor normalment creen una petita pèrdua de pressió, del voltant de 40 kPa, és a dir, uns 0,5 bar més o menys comptant l'escomesa, tal i com es pot veure a la II-lustració 53.

Heating: Capacity examples							
Substation type Termix VX	Heating Capacity kW	Supply flow primary °C	Heating circuit °C	Pressure loss Primary *kPa	Pressure loss Secondary kPa	Flow rate Primary l/h	Flow rate Secondary l/h
VX-1	18	70	60/35	25	20	442	650
	20	80	70/40	25	20	430	603
	24	90	70/40	25	20	476	724
VX2	30	70	60/35	35	20	737	1084
	34	80	70/40	35	20	731	1025
	40	90	70/40	35	20	783	1206
VX-3	36	70	60/35	35	25	1092	1312
	42	80	70/40	35	20	1107	1253
	48	90	70/40	25	25	931	1452

II-lustració 53: Pèrdua de càrrega de l'intercanviador d'un punt de subministrament. Font: Danfoss Model: Termix

Al ser un circuit tancat existeix anada i tornada d'aigua, la pèrdua de càrrega a l'anada és la mateixa que a la tornada, tal i com es pot veure a la II-lustració 54.



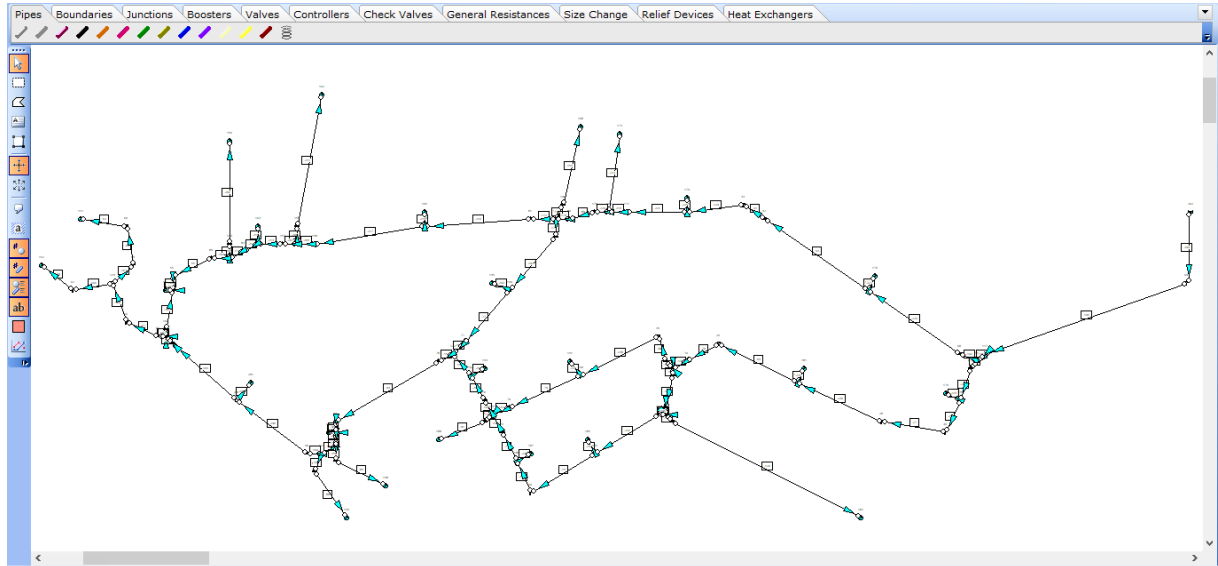
II-lustració 54: La pèrdua de càrrega a l'anada coincideix amb el retorn de l'aigua. Font: euroheat.org

Per tant, al punt de subministrament més allunyat hi ha d'haver una pressió diferencial entre anada i retorn de 0,5 bar en el moment de màxima demanda. Si al principi del tub d'anada hi ha 6 bar i al final del de tornada hi ha 1,5, vol dir que la pèrdua de càrrega no pot ser superior a 4,5 bar, traient els 0,5 bar de l'intercanviador de calor i l'escomesa queden 4 bar de pèrdua de càrrega admissible. Dividint per dos queda que a l'anada es poden perdre com a molt 2 bar de pressió. Per tant la simulació es farà com si als punts de subministrament hi hagués pressió atmosfèrica i a l'estació de bombament 2 bar.

S'ha de recordar que al ser un circuit tancat les diferències de cota no importen al circuit, exceptuant el fet que augmenten la pressió dins el tub. Com que l'estació de generació està situada pràcticament al punt més baix, no hi haurà problemes de pressions massa elevades.

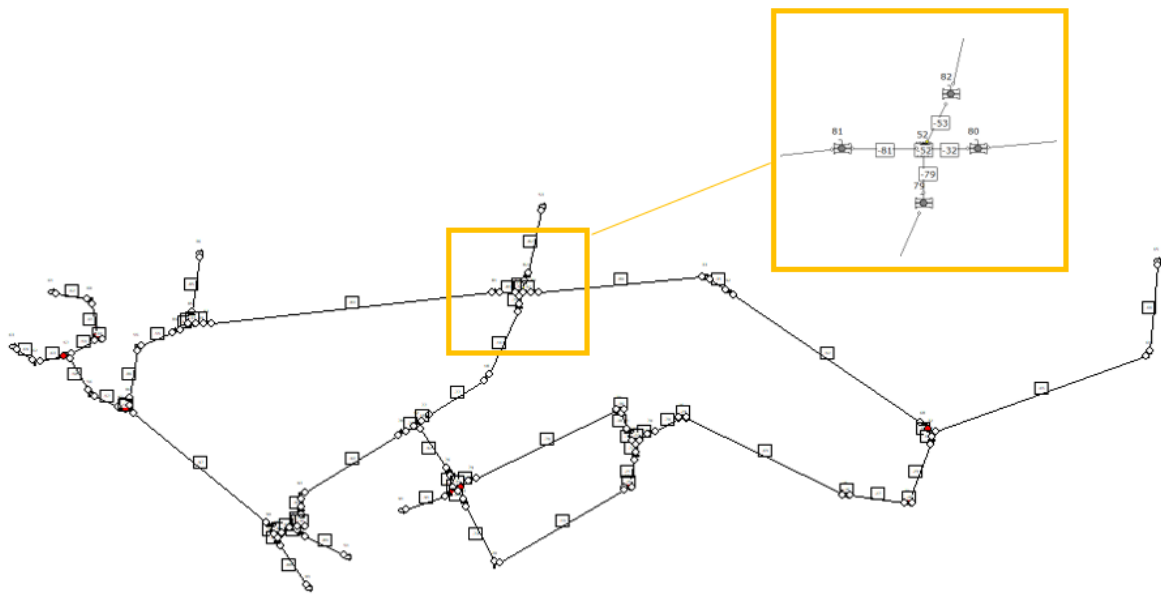
C.2.1 Entrada de les dades al programa

S'ha entrat al Fluidflow el flowsheet de la instal·lació. Queda el mapa de canonades que es pot veure a la Il·lustració 55. L'estació de generació se situa a dalt a la dreta. És exactament el mateix traçat que es pot veure a la Il·lustració 52.



Il·lustració 55: Flowsheet de la instal·lació de district heating entrada al Fluidflow. Font: Pròpia

S'introdueixen a mà totes les distàncies de cada canonada. També s'introdueixen totes les vàlvules necessàries per poder realitzar manteniment d'un tram de canonada sense afectar la resta. A la Il·lustració 56 es pot veure l'exemple de l'encreuament entre el carrer Paret Nova i Sant Sebastià, on hi ha una vàlvula per cada una de les 4 canonades. El mateix sistema està establert en totes les unions T del circuit.



Il·lustració 56: A totes les sortides de les unions hi ha vàlvules per maniobrar sobre el DH. Font: Pròpia

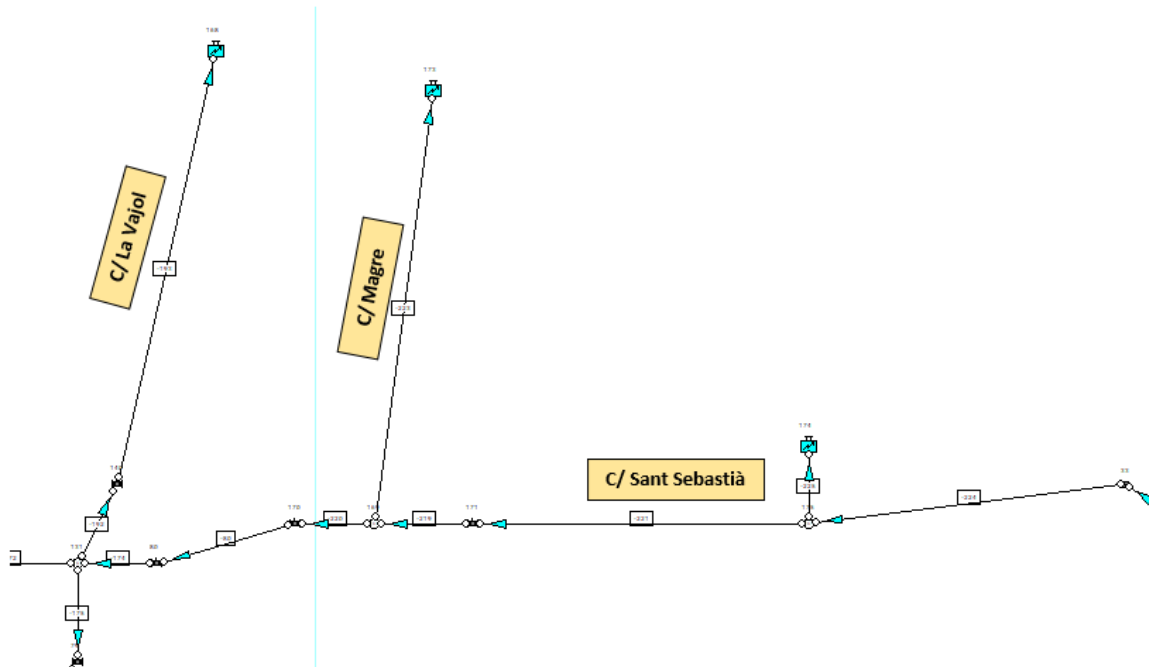
Per simular a l'estació de bombament s'hi situa un dipòsit pressuritzat a 2 bar relatius. Veure Il·lustració 57. Aquest dipòsit simularà les pitjors condicions, quan el district heating necessita una potència de 2 kW per tal de funcionar i la bomba té una pressió a la sortida de 6 bar. Tal i com s'ha vist anteriorment, a l'anada del circuit només es poden perdre 2 bar.

Paleta de Datos				
Mensajes	Entrada	Resultados	Tabla de Datos	Lista
Unique Name				
Status		On		
Elevation		0		
Elevation Unit		m		
Pressure Model		Stagnation Pressure		
Pressure		2		
Pressure Unit		bar g		
Temperature		80		
Temperature Unit		C		
Fluid		water		
Fluid Type		Newtonian/NN-NonSettling		
Properties on Flowsheet		Hide		

Il·lustració 57: L'estació de generació i bombament se simplifica com un dipòsit a 2 bar relatius. Font: Pròpia

Seria difícil simular el circuit posant cada punt de subministrament, pel que s'ha decidit unir tots els punts de cada carrer en un de sol. A la xarxa ramificada, és a dir, la que acaba sense ser circular, el consum del carrer s'ha simulat al final. A la xarxa neural s'ha simulat al centre de cada carrer. Per exemple, a la Il·lustració 58 s'hi pot veure que al carrer de La Vajol i al

carrer Magre el consum se simularà al final mentre que al carrer Sant Sebastià se simularà al centre.



Il·lustració 58: Carrer de La Vajol, carrer Magre i carrer Sant Sebastià al flowsheet de Fluidflow. Font: Pròpia

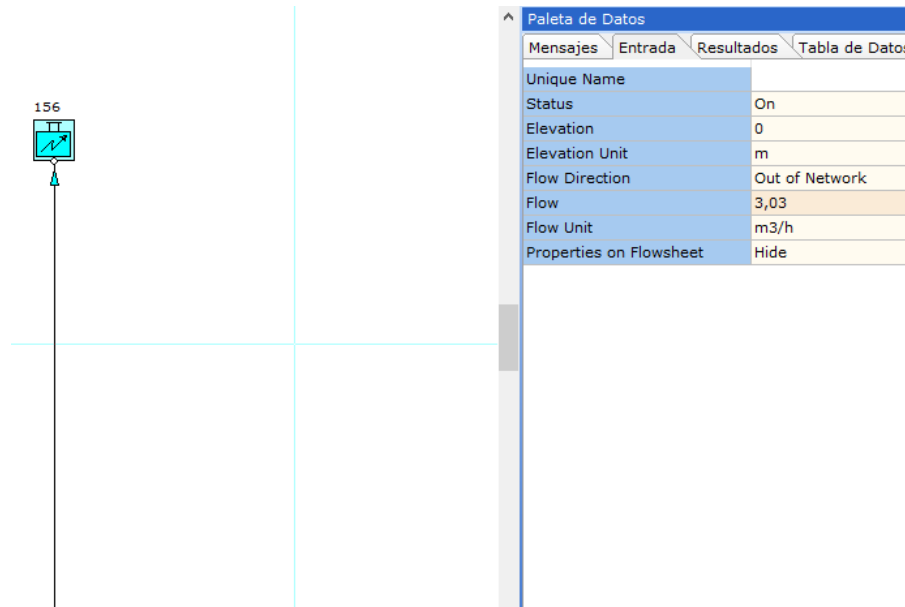
C.2.2 Simulació del consum

A falta de dades reals del consum de cada habitatge, negoci o edifici especial, s'ha decidit que en el moment de màxim consum hivernal comptarà el mateix un edifici habitual que un d'estacional, ja que aquest es pot donar en moments de màxima afluència de gent al poble com podria ser la festa major. Ara bé, els restaurants, hotels i edificis especials seguiran comptant com s'estableix a l'annex A.1.3.

En total existeixen un total de 270 punts de subministrament (tenint en compte que es valoren els hotels i restaurants com si fossin més d'un punt, tal i com s'acaba de comentar). A l'annex B.5.1 es calcula el cabal punta en $54,54 \text{ m}^3/\text{h}$. Aquest cabal s'ha de dividir entre 270 i s'obté que cada punt de subministrament consumirà en mitjana $0,202 \text{ m}^3/\text{h}$.

Com se simularà doncs el consum? Per exemple, al carrer Rectoria s'han comptat 8 habitatges i un hotel restaurant. El total de punts de subministrament equivalent seran $8 + 3$ (hotel) + 4 (restaurant) = 15 PSE . Per tant el consum de càlcul de carrer serà de $3,03 \text{ m}^3/\text{h}$. Com que el carrer Rectoria és xarxa ramificada, se situa el consum al final del carrer.

En el programa de càlcul se li ha d'introduir un flux conegut que surt del sistema (a la realitat aquest flux passaria per l'intercanviador de calor i tornaria cap al dipòsit d'inèrcia pel retorn).

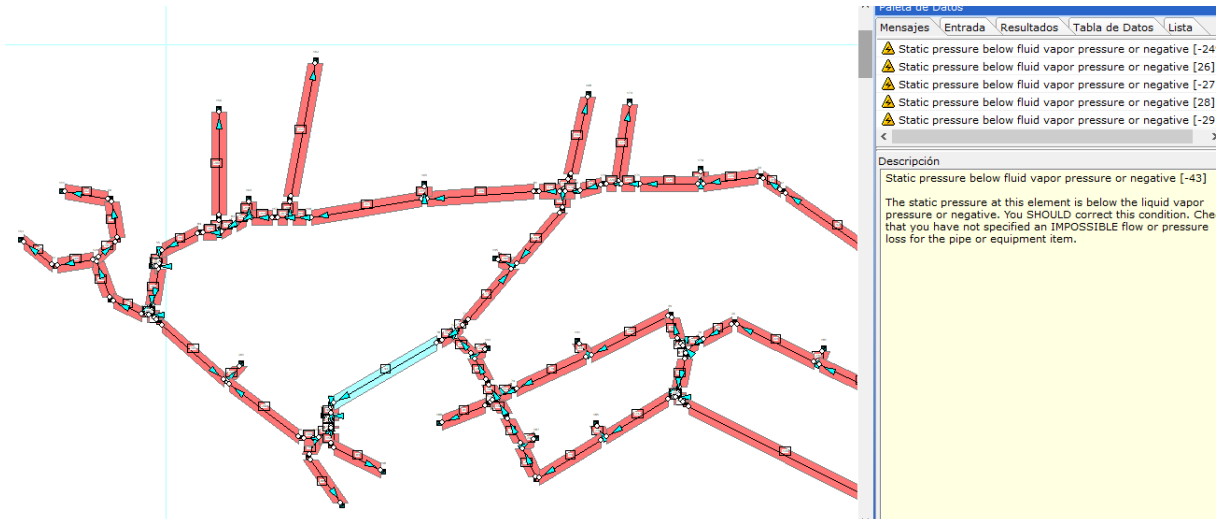


Il·lustració 59: Al carrer Rectoria, el consum estimat serà de 3,03 m³/h

Només es pot aproximar el consum com a cabal perquè a cada punt de subministrament hi haurà un regulador de cabal en funció de la demanda. En un circuit normal de calefacció el consum vindria determinar per les caigudes de pressió de cada punt (cada radiador), però els controladors dels intercanviadors de calor permeten aquesta simulació ja que adequaran el cabal en funció de la potència que hagin de subministrar a l'habitatge.

C.2.3 Primera iteració. Valors d'origen del programa

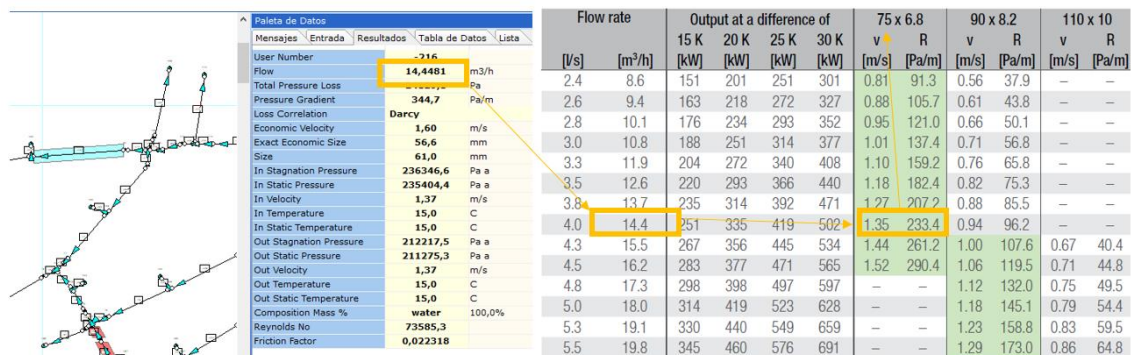
El primer càlcul es fa deixant els valors de diàmetre per defecte de 50 mm del programa, per tal de veure quin cabal passarà per cada tub. S'ha de recordar que els fluxos d'aigua a cada punt de subministrament s'han imposat, de manera que pel programa és impossible no complir amb la restricció. En aquest cas, si s'imposa que els tubs són de 50 mm, que l'entrada de pressió és a 2 bar i que el flux que ha de sortir del circuit és el consum, el programa avisa que en alguns llocs del circuit la pressió serà negativa (cosa irreal).



Il·lustració 60: Amb les restriccions i canonades per defecte, el programa calcula pressions irrealment. Font: Pròpia

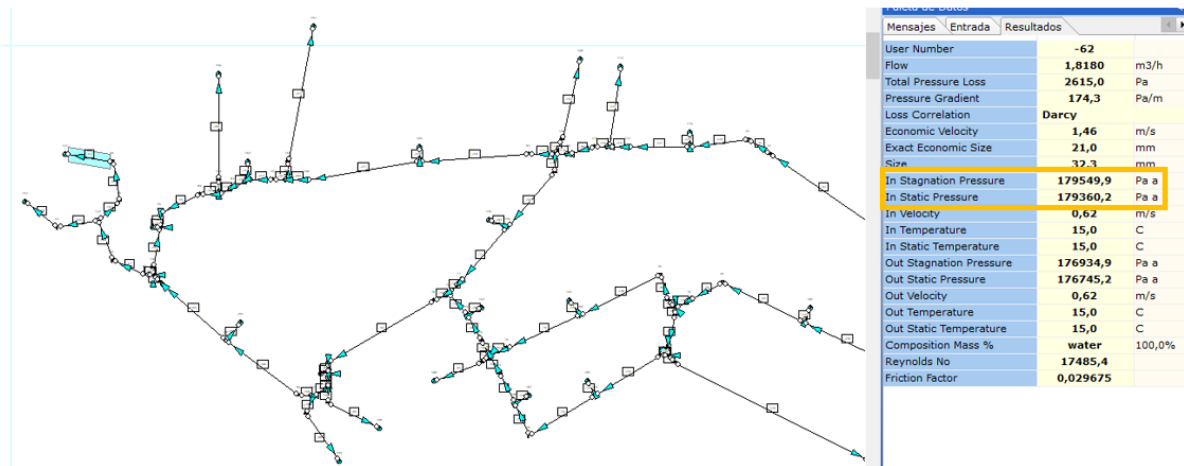
C.2.4 Segona iteració. Valors respecte el fabricant

Per tal de trobar uns diàmetres adequats a cada tub, s'utilitzarà la taula que subministra el mateix fabricant, comparant-la amb el cabal que ha calculat el programa per cada una de les canonades. Per exemple, a la canonada de la Il·lustració 61 el fabricant recomana el diàmetre de 75 mm.



Il·lustració 61: Per la canonada estudiada, el diàmetre recomanat pel fabricant és de 75mm. Font: Pròpia i Rehau

Es canvia el diàmetre de cada tub pel que recomana el fabricant i es re-calcula. Com es pot observar a la Il·lustració 62 fins i tot a la canonada més llunyana la pressió segueix sent de 1,8 bar absoluts, per tant de 0,8 bar relatius (recordar que aquests valors són respecte la simulació, a la realitat el circuit tindrà 6 bar – pèrdua de càrrega d'1,2 bar = 4,8 bar en aquell punt).



Il·lustració 62: A la canonada simulada més allunyada la pressió segueix sent d'1,8 bar. Font: Pròpia

Es pot dir doncs que el sistema treballaria bé en aquestes condicions, però no s'han cobert tots els escenaris.

C.2.5 Modificació 1. Diàmetre mínim de la xarxa ramificada per potència màxima

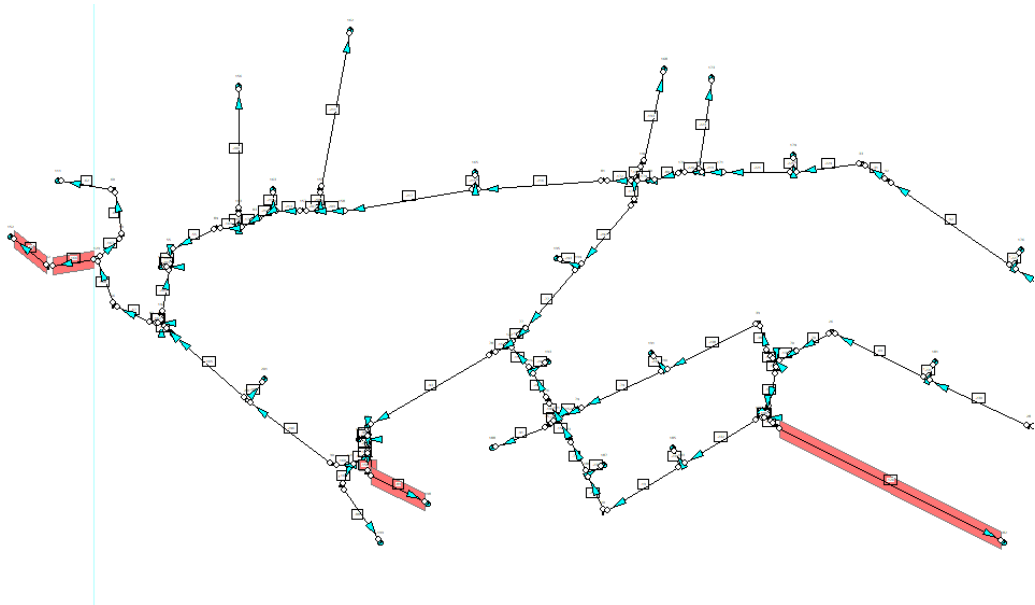
Amb la hipòtesi de càlcul portada a terme s'ha fet la mitjana entre tots els punts de subministrament. Per tant, si en un punt de la xarxa ramificada existien tres habitatges, el tub s'ha dimensionat per $3 \times 0,202 = 0,606 \text{ m}^3/\text{h}$ de cabal.

El fabricant recomana posar una canonada de 25 mm per aquest cabal. Ara bé, una canonada d'aquest diàmetre no és recomanable que treballi a una velocitat més alta de 0,92 m/s (com es pot veure a la Il·lustració 63), limitant per tant la potència a 37,7 kW. Per 3 habitatges aquesta potència és baixa, igual com ho és en tots els altres casos. Per aquest motiu s'ha decidit posar com a diàmetre mínim 50 mm a les ramificacions, amb una potència màxima de 226 kW.

Flow rate		Output at a difference of				20 x 1.9		25 x 2.3	
[l/s]	[m³/h]	15 K [kW]	20 K [kW]	25 K [kW]	30 K [kW]	v [m/s]	R [Pa/m]	v [m/s]	R [Pa/m]
0.06	0.2	3.8	5.0	6.3	7.5	0.29	75.1	0.18	25.0
0.07	0.3	4.4	5.9	7.3	8.8	0.34	98.6	0.21	32.7
0.08	0.3	5.0	6.7	8.4	10.0	0.39	124.9	0.24	41.4
0.09	0.3	5.7	7.5	9.4	11.3	0.44	154.0	0.28	50.9
0.10	0.4	6.3	8.4	10.5	12.6	0.49	185.8	0.31	61.4
0.11	0.4	6.9	9.2	11.5	13.8	0.53	220.3	0.34	72.6
0.12	0.4	7.5	10.0	12.6	15.1	0.58	257.4	0.37	84.8
0.13	0.5	8.2	10.9	13.6	16.3	0.63	297.2	0.40	97.7
0.14	0.5	8.8	11.7	14.7	17.6	0.68	339.5	0.43	111.5
0.15	0.5	9.4	12.6	15.7	18.8	0.73	384.4	0.46	126.2
0.16	0.6	10.0	13.4	16.7	20.1	0.78	431.8	0.49	141.6
0.18	0.6	11.3	15.1	18.8	22.6	0.86	500.0	0.55	174.9
0.20	0.7	12.6	16.7	20.9	25.1	0.94	580.0	0.61	211.3
0.22	0.8	13.8	18.4	23.0	27.6	1.02	672.0	0.67	250.9
0.24	0.9	15.1	20.1	25.1	30.1	1.10	776.0	0.73	293.5
0.26	0.9	16.3	21.8	27.2	32.7	1.18	892.0	0.80	339.3
0.28	1.0	17.6	23.4	29.3	35.2	1.26	1020.0	0.86	388.1
0.30	1.1	18.8	25.1	31.4	37.7	1.34	1160.0	0.92	439.9
0.35	1.3	22.0	29.3	36.6	44.0	1.58	1800.0	1.10	550.0

Il·lustració 63: Una canonada de 25 mm limita la potència màxima a 37.7 kW. Font: Pròpia / Rehaus

El programa protesta perquè considera la velocitat massa baixa, però aquest error simplement indica que per les condicions que se li han entrat posar el diàmetre de 50 mm és perdre-hi econòmicament. El programa no sap, però, que en certs moments es treballarà amb consums molts més alts. Veure II·lustració 64.



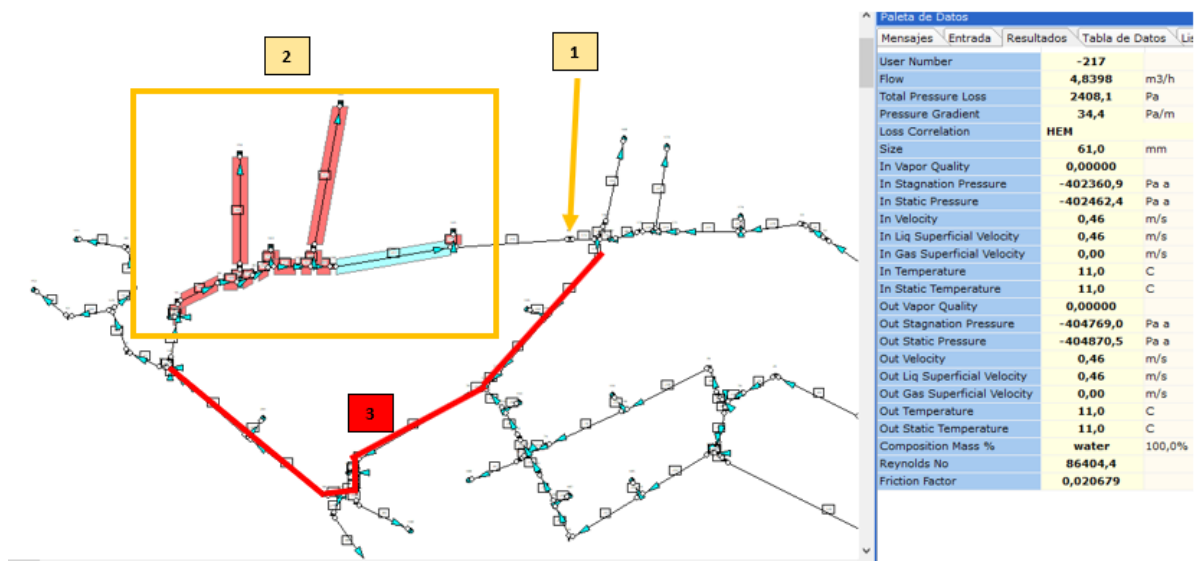
II·lustració 64: El programa indica les canonades amb una velocitat que ell considera massa baixa. Font: Pròpia

C.2.6 Modificació 2. Ininterrumpibilitat

El DH de Maçanet s'ha dissenyat per tal de poder fer modificacions sense afectar al gruix dels usuaris. La xarxa neural que s'ha descrit a la II·lustració 52 està dissenyada per poder donar servei en cas que es talli qualsevol dels seus punts. Perquè això sigui possible, el sistema ha de poder treballar si alguna de les vàlvules està tancada. L'única excepció és la xarxa central (que no es pot parar en cap moment) i la xarxa ramificada, que només té un punt d'entrada d'aigua.

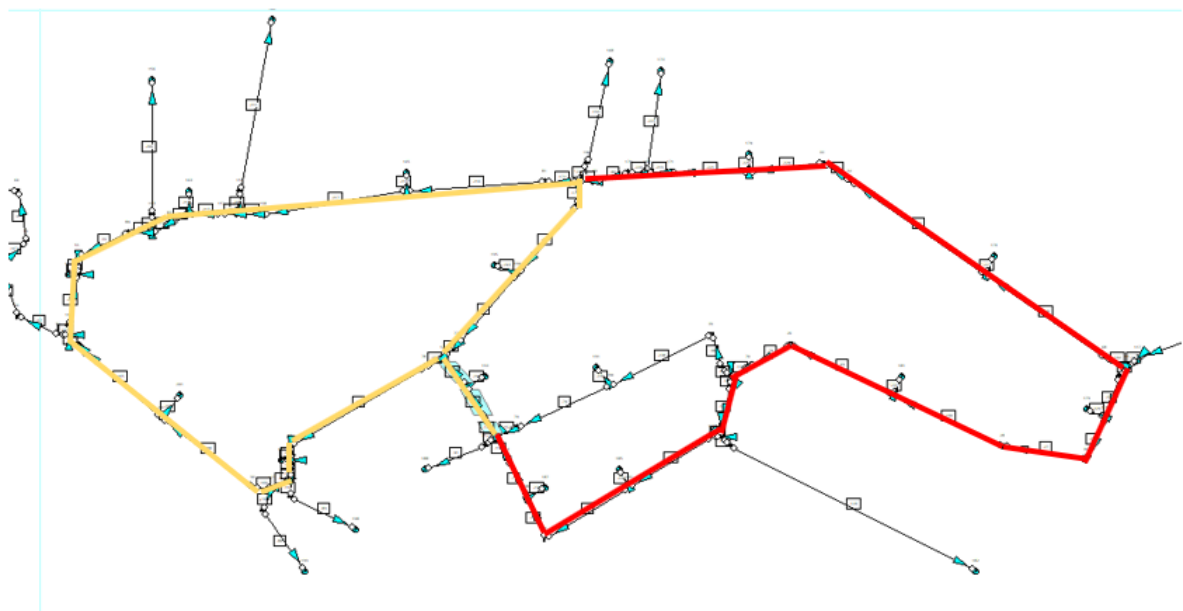
S'aniran tancant progressivament cada una de les vàlvules en el programa i es repetiran els càlculs. Si un dels trams surt amb pressions negatives o velocitats massa elevades, s'augmentarà la secció de la canonada que faci falta.

Per exemple, observar la II·lustració 65. Si per algun motiu s'ha de tancar la vàlvula 1, la pressió de les canonades 2 cau a sota 0 (és a dir, el programa avisa que no és possible). Per solucionar aquesta casuística es decideix passar la secció de 3 de 75 mm a 110 mm.



Il·lustració 65: No arriba prou pressió a 2 si es tanca 1. Augmentar secció de 3. Font: Pròpia

Fent totes les iteracions possibles s'arriba a la conclusió que la xarxa neural ha de ser tota de mínim 110 mm de secció. La part més propera a la xarxa central, però, haurà de ser de 125 mm. A la Il·lustració 66 s'hi poden observar en groc les canonades que hauran de ser de 110 mm, mentre que en vermell surten les que hauran de ser de 125 mm.

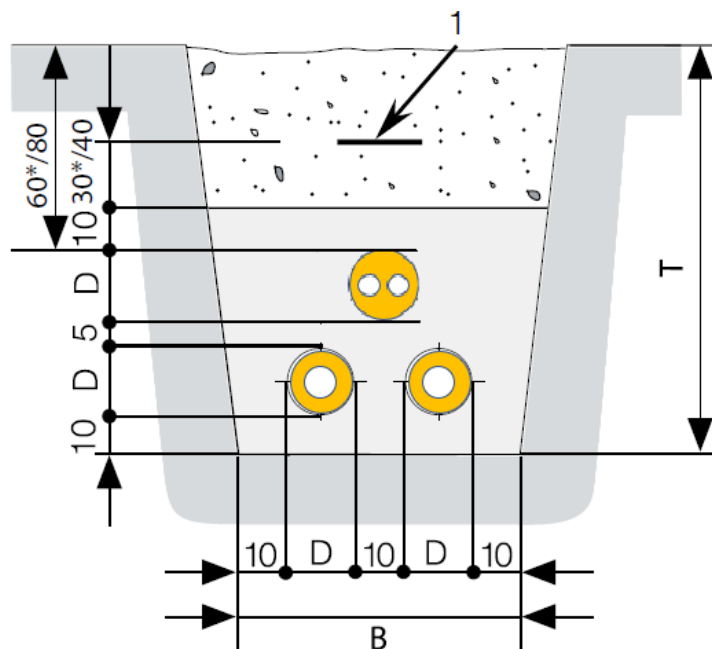


Il·lustració 66: En groc canonades de 110 mm, en vermell canonades de 125 mm. Font: Pròpia.

C.2.7 Modificació 3. Punts de subministrament

La tercera modificació no és una modificació com a tal del circuit existent, sinó que és una ampliació. Hi ha dos motius per fer aquesta ampliació, un és el cost i l'altre el perill d'afectar la xarxa neural.

El que es vol fer és deixar la xarxa neural lliure de punts de subministrament i posar-los tots a la xarxa ramificada. Per tal de fer això tota xarxa neural tindrà per sobre la xarxa ramificada. A la Il·lustració 67 es pot veure un esquema d'un carrer amb xarxa neural.



Il·lustració 67: Esquema de carrer amb xarxa neural i xarxa ramificada. Font: Pròpia i Rehau

La xarxa ramificada anirà amb canonades anomenades DUO pel fabricant. El principi és el mateix que una canonada simple, però en el mateix tub s'hi inclou tant l'anada com la tornada. Això abarateix els costos però limita el diàmetre a 63 mm (no és un problema perquè la xarxa ramificada es farà de 50 mm). La xarxa neural anirà per sota amb una canonada per l'anada i l'altra pel retorn, mai es tocarà a no ser que hi hagi una avaria ja que tots els punts de subministrament es connectaran a la canonada de sobre.

Cada 50-100 metres hi haurà una connexió entre la xarxa neural i la ramificada. No s'inclou en el càlcul ja que les pèrdues de càrrega seran mínimes (el consum per punt de subministrament és mínim).

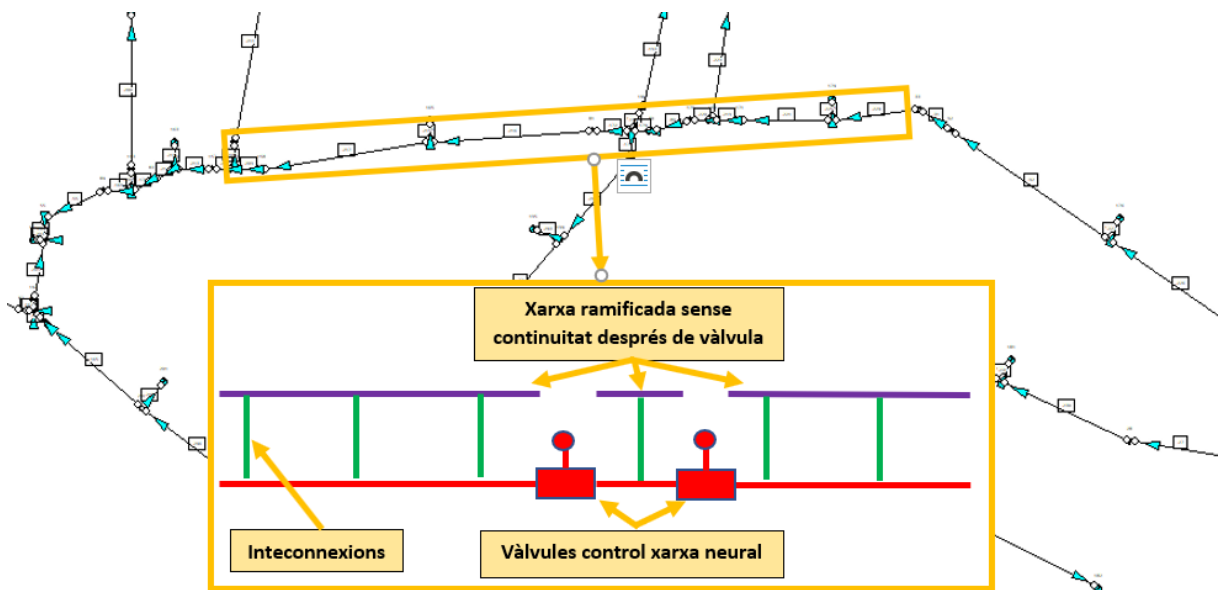
A primera vista sembla que aquesta decisió augmenti els costos ja que s'haurà de posar el doble de canonada. Ara bé, connectar un punt de subministrament a una canonada de 110 mm equival a un 425% més de cost material que connectar-la a una de 50 mm. El cost passa de 142,48€ a 750,42€ (tenint en compte que hi ha dues connexions T per punt de subministrament). A més a més, com que el sistema està concebut per ser municipal, és molt

més fàcil trobar mà d'obra qualificada per obrir noves escomeses amb un tub de 50 mm que amb un de 110 mm o 125mm. Veure Il·lustració 68.

11691521001	50 - 25 - 50	73	69	73	34	47	34	0,830	1 Ud.	1 Ud.	71,24
11691541001	50 - 32 - 50	72	75	80	33	48	41	0,820	1 Ud.	1 Ud.	71,24
11691551001	50 - 40 - 50	81	80	81	42	48	42	0,900	1 Ud.	1 Ud.	73,12
12313561001	110 - 32 - 110	92	109	92	42	48	42	4,300	1 Ud.	1 Ud.	375,21
12219501001	110 - 50 - 110	102	122	102	52	81	52	5,300	1 Ud.	1 Ud.	530,28
12313661001	110 - 63 - 110	109	132	109	59	82	59	5,400	1 Ud.	1 Ud.	530,28

Il·lustració 68: Els costos d'augmentar de secció no són lineals pel que fa les connexions. Font: Pròpia i Rehau

La interconnexió entre la xarxa ramificada i la xarxa neural serà total. És a dir, no hi haurà cap vàlvula que les separi. Aquesta connexió només existirà entre vàlvula i vàlvula de la xarxa neural, és a dir la xarxa ramificada que ressegueix un tram de xarxa neural no està connectada amb la següent xarxa ramificada. D'aquesta manera s'aconsegueix estalviar en costos en vàlvules entre les dues tipologies de xarxa i simplifica el control de la instal·lació (si un operari ha de maniobrar sobre un punt del carrer només ha de tancar les dues vàlvules aigües amunt i les dues vàlvules aigües avall). L'esquema es pot veure a la Il·lustració 69.



Il·lustració 69: La xarxa ramificada que ressegueix la neural no es connecta amb el següent tram. Font: Pròpia

C.3 Elecció del model de les canonades

C.3.1 Canonades Rehau RAUTHERMEX, RAUVITHERM o similar

Les canonades Rehau RAUTHERMEX o similar ofereixen unes prestacions idònies per transportar cabals mitjans a grans distàncies. A diferència d'altres models tenen una conductivitat tèrmica molt baixa, de $\leq 0,0216$ W/m·K.

Les canonades Rehau RAUVITHERM o similar són més barates, però tenen majors pèrdues (coeficient tèrmic de $\leq 0,0430/0,0440$ W/m·K). El seu principal avantatge és la flexibilitat i la facilitat de realitzar unions.

Es pot veure una comparativa visual a la Il·lustració 70.



Il·lustració 70: A l'esquerra, canonada RAUTHERMEX, a la dreta, canonada RAUVITHERM. Font: Rehau

El seu baix coeficient tèrmic fan ideal el model RAUTHERMEX per la xarxa neural, mentre que la flexibilitat i la facilitat de realitzar unions fan ideal el sistema RAUVITHERM per la xarxa ramificada.

C.3.2 Elements del circuit

Tant pel que fa a les vàlvules, els elements d'unió i els elements de divisió es compraran del mateix fabricant que les canonades, per així evitar incompatibilitats de darrera hora.

Si s'opta per Rehau, tenen patentat el sistema de dolla corredissa, que simplifica molt les unions entre els tubs i els elements d'unió. Per altres marques s'haurà de veure quina solució proposen.

C.4 Pèrdues tèrmiques al circuit

El fet de tenir aigua a alta temperatura dins de les canonades fa que hi hagi unes pèrdues de calor, que es transmetran des de la canonada fins al medi subterrani. Existeix normativa específica per tal de calcular aquestes pèrdues, com és la ISO 12241, però el fabricant de les canonades especifica una fórmula que simplifica molt els càlculs.

Per tal d'estimar la potència perduda es pot utilitzar l'equació (8).

$$Q = U \cdot (T_B - T_E) \quad (8)$$

On:

- Q és la potència perduda entre l'interior del tub i l'exterior en W.
- U és el coeficient de transferència tèrmica en W/m·K.
- T_B és la temperatura de l'aigua circulant a l'interior del tub.
- T_E és la temperatura del sòl a l'exterior del tub.

A la realitat, factors com tenir una canonada propera (per exemple anada i retorn de la instal·lació), la velocitat del fluid a dins de les canonades, l'escalfament del sòl amb el temps de funcionament i el refredament del fluid afecten a les pèrdues tèrmiques. Ara bé, el que es buscarà és el cas més desfavorable de tots, suposant que a l'anada es té una temperatura constant de 80°C i al retorn de 50°C.

La potència perduda són 8,6 kW, com es pot veure a la Il·lustració 71. La pèrdua anual d'energia és de 75.300 kWh.

Tram	Metres de canonada	T anada [°C]	T retorn [°C]	T mitjana [°C]	T sòl [°C]	U [W/m·K]	Q [W/m]	P [W]
140 mm UNO	342	80	50	65	10	0,0216	1,19	406
125 mm UNO	1314	80	50	65	10	0,0216	1,19	1561
110 mm UNO	1206	80	50	65	10	0,0216	1,19	1433
50 mm DUO	2197	80	50	65	10	0,043	2,37	5196
Potència perduda [kW]								8,60

Il·lustració 71: Potència de pèrdues tèrmiques a les canonades. Font: Pròpia

Amb un preu estimat de 2,57 c€/kWh al 2019, segons l'ICAEN, es pot trobar que el cost anual de les pèrdues tèrmiques és de 1.935€.

Annex D Anàlisi econòmica del projecte

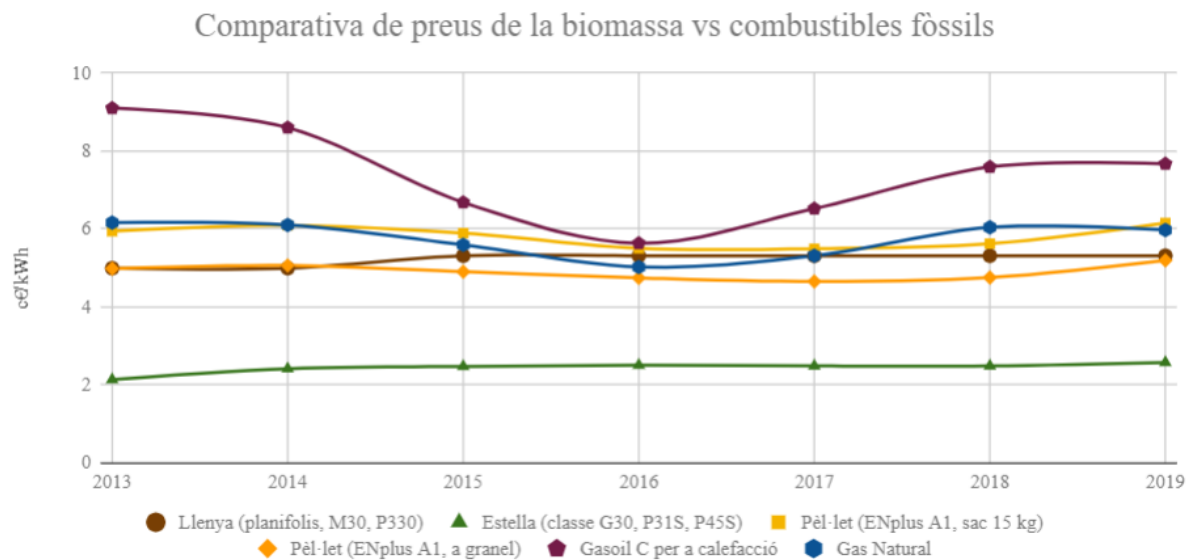
D.1 Inversió inicial

El cost del projecte constructiu del district heating ascendeix a 2.357.666,47 €, IVA a part.

D.2 Comparació entre el cost actual de l'energia i el cost en el DH

D.2.1 Cost actual de l'energia amb la tecnologia dels usuaris a les cases

L'ICAEN fa la comparativa anual entre els preus de diferents combustibles, com es pot veure a la Il·lustració 72. El preu de les diverses tecnologies a dia d'avui es pot observar a la Taula 4.



Il·lustració 72: Comparativa del preu entre els diversos combustibles per any. Font: ICAEN

Tecnologia	Preu [c€/kWh]
Gasoil	7,67
Gas natural	5,97
Gas butà	0,0809
Biomassa (estella)	2,57
Electricitat (REE, PVPC)	0,115221

Taula 4: Preus dels diferents tipus de combustible a 2019. Font: ICAEN, REE

Considerant els percentatges de cada tecnologia en les calderes actuals de Maçanet, s'obté que el preu mitjà al qual es paga l'energia és a 7,44 c€/kWh, tal i com es pot veure a la Taula 5.

Tecnologia	Preu [c€/kWh]	Percentatge d'utilització [%]
Gasoil	7,67	53,8
Gas natural	5,97	10,3
Gas butà	8,09	15,4
Biomassa (estella)	2,57	10,3
Electricitat (REE, PVPC)	11,52	10,3
Preu ponderat		7,44

Taula 5: Preu ponderat de l'energia que es paga actualment. Font: Pròpia

Per tal d'amortitzar els costos d'inversió, es determina que el consorci vendrà l'energia a l'usuari final a el preu de 7,44€/kWh i que podrà variar segons el preu de compra de l'estella.

D.2.2 Cost de l'energia en el DH sense costos d'inversió

El cost de l'energia subministrada pel DH, sense considerar els costos d'implementació, és el preu de l'estella, 2,57€/kWh. Considerant el rendiment de les calderes, les pèrdues de calor a la xarxa i els intercanviadors de calor es pot suposar que s'aprofita un 90% de l'energia.

D.3 Cost operatiu del district heating

És un cost molt difícil de determinar, ja que hi ha pocs projectes tan grans de biomassa. En principi, amb una persona a temps complert fent el manteniment (traient cendra, controlant els nivells d'estella) i una altra a temps parcial n'hi hauria d'haver prou.

També es consideren visites dels serveis tècnics oficials de les calderes, les bombes i elements del circuit.

S'han estimat els costos operacionals en 100.000 euros anuals.

D.4 VAN i TIR de la inversió

Els càlculs del Valor Actual Net i la Taxa Interna de Rendibilitat es poden veure a la Taula 6.

DADES DE PARTIDA	
Consum [kWh]	4.041.768
Preu venda [€/kWh]	0,0744
Cost energia [€/kWh]	0,0257
Cost operacional [€]	100.000
Total venda [€] 300.708	
Total costos [€] 203.873	
Benefici anual [€] 96.834	
Rendibilitat bons de l'estat a 30 anys (risc 0) 2,63%	
Rendibilitat mínima per VAN 2,63%	
Fix, preu de l'estella pràcticament invariable	
FINANÇAMENT	
Inversió inicial [€]	2.357.666
Payback (sense cost operacional) [anys]	12,0
Payback (amb cost operacional aprox) [anys]	24,3
VAN a 30 anys (MIN 2,63%) [€]	-365.590
TIR a 30 anys	1,44%
Inversió no recomanable des del punt de vista lucratiu (VAN negatiu). De totes maneres és un sevei municipal.	

Taula 6: VAN i TIR de la inversió. Font: Pròpia

El benefici anual s'ha fixat el 96.834€. A partir del mix actual d'energia del poble s'ha fixat un preu de venda, que correspon exactament amb el preu que es compra actualment l'energia al poble. Aquest preu seguirà fixat fins que s'hagi pagar la inversió inicial del district heating (24,3 anys a comptar a partir de la data de posada en servei). Quan hagi passat aquest temps s'analitzarà si el preu es pot baixar, s'ha de pujar o es pot mantenir.

Qualsevol subvenció que alteri la inversió inicial ajudarà bé en baixar el preu de venda de l'energia o bé en reduir els anys de retorn de la inversió.

Annex E Anàlisi d'emissions

E.1 Emissions abans del district heating

Els factors d'emissió de grams de CO₂ segons l'oficina del canvi climàtic són els que surten a la Taula 7. A la taula no hi surt el factor d'emissió elèctric (que és de 0,326 kg CO₂ / kWh d'electricitat segons el mix 2018) ni el de biomassa, que es considera neutre.

COMBUSTIBLE	FACTOR D'EMISSIÓ ²⁵
Gas natural (kWh)	0,18 kg CO ₂ /kWh de gas natural ²⁶
Gas butà (kWh)	0,24 kg CO ₂ /kWh de gas butà
Gas propà (kWh)	0,23 kg CO ₂ /kWh de gas propà
Gasoil (kWh)	0,27 kg CO ₂ /kWh de gasoil
Fuel (kWh)	0,28 kg CO ₂ /kWh de fuel
GLP genèric (kWh)	0,23 kg CO ₂ /kWh de GLP genèric
Carbó nacional (kWh)	0,36 kg CO ₂ /kWh de carbó nacional
Carbó d'importació (kWh)	0,36 kg CO ₂ /kWh de carbó d'importació
Coc de petroli (kWh)	0,35 kg CO ₂ /kWh de coc de petroli

Taula 7: Factors d'emissió segons la tecnologia. Font: Oficina pel canvi climàtic (GENCAT)

Les emissions totals es poden aproximar a partir dels valors extrets de l'enquesta segons el tipus de tecnologia a les llars i el consum anuals d'energia. Veure Taula 8.

Energia total anual [kWh]		4.041.768	
Tecnologia	Factor emissió [kg CO ₂ / kWh]	Percentatge d'utilització [%]	kg CO ₂ emesos
Gasoil	0,27	53,8	587.107
Gas natural	0,18	10,3	74.934
Gas butà	0,24	15,4	149.384
Biomassa (estella)	0	10,3	-
Electricitat (REE, PVPC)	11,52	10,3	4.795.800
kg CO₂ emesos		5.607.226	

Taula 8: Emissions de CO₂ sense district heating. Font: Pròpia

Les emissions anuals actuals són de 5.607 tones de CO₂.

E.2 Emissions amb district heating

Si no es té en compte el consum d'electricitat, que és molt petit en comparació amb l'energia que genera el district heating, es poden considerar les emissions de CO₂ com neutres.

Per tant les emissions de CO₂ amb el district heating són 0.

E.3 Estalvi d'emissions

Com que amb el district heating les emissions són 0, l'estalvi són directament les emissions actuals de 5.607 tones de CO₂.