

L'autoabastiment energètic d'un habitatge mitjançant energies renovables

Treball de recerca
2n batxillerat
Curs 2020-2021

ABSTRACT

La importancia de preservar el planeta de las emisiones contaminantes generadas por la producción de energía eléctrica ha comportado un notable aumento del uso de energías renovables en el ámbito doméstico. En este trabajo se explican diferentes procesos de obtención de energía, a saber, solar, fotovoltaica, geotérmica y aerotérmica; así como los diversos elementos que conforman estos sistemas. Concretamente se profundiza en el diseño y el funcionamiento de los mecanismos que permiten producir energía renovable a nivel doméstico con el objetivo de comparar su rentabilidad y escoger la combinación más adecuada para satisfacer las necesidades energéticas de una vivienda ya existente. En este sentido, el marco práctico del trabajo se basa en exponer los sistemas renovables que mejor se adaptan a las condiciones de la localización de la vivienda, y en diseñar y presupuestar la instalación del sistema propuesto. Asimismo, también se tiene en cuenta la amortización del proyecto así como el compromiso con el cambio climático y los perjuicios que comporta.

The importance of preserving the planet from pollutant emissions generated by electric energy production has implied a growth in renewable energies for domestic purposes. In this project the extraction process of solar, photovoltaic, geothermal and aerothermal energies is explained together with the elements that they are made of. More specifically, it delves into the design and the mechanism which allows the production of domestic renewable energies with the aim of comparing the information and the profitability of the four systems and choosing the most suitable combination to fulfill the energy needs of an already existing house. In this sense, the practical framework focuses on discussing the renewable systems that best fit the location of the dwelling, as well as on the design and budgeting of the installation of the proposed system. In addition, the project amortization, the commitment to fight climate change and its damages are also taken into account.

ÍNDEX

1. Introducció	14
2. Marc i dificultats	16
3. Objectius	18
4. Marc teòric	19
1. Què és l'energia renovable?	19
2. Característiques	21
2.1. Potenciació de l'autoconsum	21
2.2. Benefici mediambiental	21
2.3. Els recursos provenen de fonts naturals inesgotables i gratuïtes	21
2.4. Accessible des de regions aïllades	21
3. Les energies renovables en l'àmbit domèstic	21
4. Tipus d'energies renovables	22

ENERGIA SOLAR

1. Origen i necessitat	22
2. Producció	22
3. Clarificació	22
4. El sol, l'inesgotable font natural d'energia	23
4.1. La radiació solar	23
4.2. Aprofitament de la radiació	24
4.3. Rellevància de la radiació	24
4.4. La insolació	25
5. Aprofitament de l'energia solar	26
5.1. Característiques fonamentals	26
5.2. Usos principals de la radiació solar en un habitatge	27
5.3. Altres transformacions de l'energia solar	27
5.4. L'efecte hivernacle	27

5.5.	El sistema d'aprofitament de l'energia solar	27
5.5.1.	L'acumulador	27
5.5.2.	Els col·lectors solars	27
5.5.2.1.	Altres col·lectors solars	30
5.5.3.	Tipus de col·lectors solars	30
5.5.3.1.	Placa solar plana	31
5.5.3.1.1.	Estructura	31
5.5.3.1.2.	Dimensions de les plaques i superfície necessària	33
5.5.3.1.3.	Tipus de plaques solars planes	34
1.	Plaques amb fluid líquid	34
2.	Plaques amb fluid gasós	38
5.5.3.2.	Panells solars de cautxú	39
5.5.3.3.	Col·lectors concentradors	39
5.5.3.3.1.	Inconvenients	40
5.5.3.3.2.	El circuit d'escalfament	40
5.5.4.	Termoacumuladors	41
5.5.4.1.	Estructura	41
5.5.4.2.	Necessitats i dimensions	42
5.5.4.3.	L'intercanviador de calor	42
5.5.4.4.	Funcionament i temperatura	43
5.5.5.	Connexió dels col·lectors	43
5.5.5.1.	Connexions en sèrie	44
5.5.5.2.	Connexions en paral·lel o en bateria	44
5.5.6.	Orientació dels col·lectors	45
5.6.	Disposició del conjunt de plaques solars	45
5.6.1.	Col·lectors integrats a l'edifici	45
5.6.2.	Col·lectors sobreposats	45
5.6.3.	Col·lectors independents	46
5.7.	Fixació	47

5.8.	Estany solar	47
5.9.	Col·lectors heliovoltaics o fotovoltaics	47
5.9.1.	La cèl·lula solar	47
5.9.2.	Funcionament	47
5.9.3.	Mòduls fotovoltaics	47
5.10.	Complements per a la instal·lació fotovoltaica	48
5.10.1.	Regulador de càrrega	48
5.10.2.	Desconnectador de càrrega	48
6.	Tipus de plaques/col·lectors/panells solars	48
6.1.	Plaques solars tèrmiques	48
6.2.	Plaques fotovoltaiques	48
6.2.1.	Monocristal·lines	48
6.2.2.	Policristal·lines	49
6.2.3.	12 volts	49
6.2.4.	24 volts	49
6.2.5.	De connexió a la xarxa	49
6.2.6.	36 cèl·lules	50
6.2.7.	60 cèl·lules o 120 mitges cèl·lules	50
6.2.8.	72 cèl·lules o 144 mitges cèl·lules	50
6.2.9.	Shingle shells	50
6.2.10.	Mitja cèl·lula o cèl·lula tallada	50
6.3.	Panells solars híbrids	50
6.4.	Panells solars de silici amorf o de capa fina	50
6.5.	Panells solars flexibles	51
6.6.	Panells solars per l'autoconsum i els habitatges	51
6.7.	Panells solars per furgonetes i autocaravanes	51
6.8.	<i>Maxeon 5 AC</i>	51
6.8.1.	Rendiment	51
6.8.2.	Productivitat	52

6.8.3.	Garanties	52
6.8.4.	Connexió de l'inversor	52
6.8.5.	Aplicació de seguiment sincronitzada	53
6.8.6.	Assistència tècnica digital	53
7.	Principals aplicacions domèstiques	53
7.1.	Energia solar en un habitatge	53
7.2.	Aigua calenta sanitària (ACS)	53
7.2.1.	Per termosifó	53
7.2.1.1.	Obert	53
7.2.1.1.1.	Característiques	55
7.2.1.2.	Tancat	56
7.2.1.2.1.	Instal·lació	56
7.2.1.2.2.	Accessoris	56
7.2.2.	Circuit amb bomba d'alimentació	57
7.2.2.1.	La bomba de circulació impulsora	58
7.2.2.2.	Instal·lació	59
7.2.2.3.	Temperatura de consum de l'aigua calenta	59
7.2.2.4.	Quantitat d'aigua consumida	59
7.3.	Calefacció solar	60
7.3.1.	Objectius calorífics	60
7.3.2.	Funcionament del sistema	61
7.3.3.	Dimensions de les plaques	61
7.4.	Sistema de calefacció solar	61
7.4.1.	Activa	61
7.4.1.1.	Obtenció d'aigua calenta amb circuit tancat	62
7.4.1.2.	Aplicació domèstica	62
7.4.2.	Passiva	63
7.4.2.1.	Calefacció passiva solar	63
7.4.2.2.	Optimització	63
7.4.3.	Aportació de calor natural mitjançant elements no solars	63

7.4.3.1.	Hivernacles o jardins d'hivern	64
7.4.3.2.	Hivernacle penjant o finestra jardí	64
7.4.3.3.	Acumuladors a la façana	64
7.5.	Climatització de piscines	65
7.5.1.	Necessitats calorífiques	65
7.5.2.	Peculiaritats	65
7.5.3.	Orientació dels col·lectors	65
7.5.4.	Tipus de circuit	65
7.5.4.1.	Circuit obert	65
7.5.4.1.1.	Instal·lació i manteniment	66
7.5.4.2.	Circuit tancat	67
7.5.4.3.	Calor radiant	67
7.5.4.3.1.	Funcionament	67
7.5.4.3.2.	Elements del sistema	67
7.5.4.3.3.	Cost	68
7.5.4.3.4.	Possibilitat d'incloure una coberta	68
7.6.	Energia solar fotovoltaica	68
7.6.1.	Bases de l'energia	68
7.6.1.1.	Conductors	68
7.6.1.2.	Semiconductors	68
7.6.1.2.1.	Intrínsecs	69
7.6.1.2.2.	Extrínsecs	69
7.6.2.	Transformació de radiació solar a corrent elèctric	70
7.6.3.	Mòduls fotovoltaics	70
7.6.4.	Funcions dels mòduls	70
7.6.5.	Altres components del sistema fotovoltaic	71
7.6.5.1.	Bateria o acumulador	71
7.6.5.1.1.	Tipus de bateries	71
7.6.5.1.2.	Classificació segons el voltatge	72
7.6.5.1.3.	Rendiment	72

7.6.5.2.	Regulador o controlador de càrrega	73
7.6.5.3.	Inversor	73
7.6.6.	Possibles connexions del sistema	73
7.6.7.	Disseny d'un sistema d'energia solar fotovoltaica aïllada	74
7.6.7.1.	Determinació del tipus de planta	74
7.6.7.1.1.	Mòdul fotovoltaic	74
7.6.7.1.2.	Diferència de potència entre els mòduls	74
7.6.7.1.3.	Brutícia a la superfície dels mòduls	74
7.6.7.1.4.	Pèrdues angulars	74
7.6.7.1.5.	Pèrdues espectrals	74
7.6.7.1.6.	Pèrdues per temperatura	74
7.6.7.1.7.	Pèrdues per ombra	75
7.6.7.2.	Determinació del consum	75
7.6.7.3.	Especificació de la localització	75
7.6.7.4.	Dimensions i característiques dels elements	75
7.6.7.4.1.	Generador fotovoltaic	75
7.6.7.4.2.	Inclinació idònia	76
7.6.7.4.3.	Quantitat de mòduls	76
7.6.7.4.4.	Quadre de distribució	76
7.6.7.4.5.	Regulador de càrrega	76
7.6.7.4.6.	Bateria	76
7.6.7.4.7.	Càrrega elèctrica	76
7.6.7.4.8.	Inversor	76
7.7.	Refrigeració de l'habitatge	77
7.7.1.	Elements de la instal·lació	77
7.7.1.1.	Compressor	77
7.7.1.2.	Condensador frigorífic	77
7.7.1.3.	Evaporador frigorífic	77
7.7.1.4.	Vàlvula d'expansió	78
7.7.2.	Funcionament del sistema	78
7.7.3.	Inversió del mecanisme	78
7.7.4.	Rellevància de la bomba de calor	79

7.7.5.	La resistència elèctrica	79
8.	Condicions favorables pel millor aprofitament de l'energia solar	79
8.1.	Materials de construcció	79
8.2.	Tipus de casa solar	79
8.2.1.	Casa activa	80
8.2.2.	Casa passiva	80

ENERGIA GEOTÈRMICA

1.	Introducció	80
2.	Desenvolupament sostenible de l'energia geotèrmica	80
2.1.	Energia renovable	80
2.2.	Energia neta	81
2.3.	Energia econòmica	82
2.4.	Energia eficient	82
2.5.	Energia contínua	82
2.6.	Energia local	82
3.	Recursos geotèrmics	83
3.1.	Definició	83
3.2.	Tipus de recursos	83
3.2.1.	Jaciments de molt baixa temperatura	83
3.2.2.	Jaciments de baixa temperatura	84
3.2.3.	Jaciments de mitjana temperatura	84
3.2.4.	Jaciments d'alta temperatura	84
3.2.4.1.	Jaciments de roca seca calenta o sistemes geotèrmics estimulats	86
3.2.4.2.	Jaciments geo pressuritzats	87
3.3.	Investigació de recursos geotèrmics	88
3.3.1.	Investigació de recursos de molt baixa temperatura	88
3.3.1.1.	Col·lectors horitzontals enterrats	88
3.3.1.2.	Sondes geotèrmiques	89
3.3.1.3.	Sistemes de captació d'aigua a menys de	90

400 metres de profunditat	
3.3.1.4. Fonaments geotèrmics	90
3.3.2. Investigació de recursos de baixa temperatura	91
3.3.3. Investigació de recursos de mitjana temperatura	91
3.3.4. Investigació de recursos d'alta temperatura	92
4. Aprofitament d'energia geotèrmica de molt baixa temperatura	93
4.1. Bombes de calor convencionals	93
4.2. Bomba de calor geotèrmica	93
4.3. Sistemes de captació d'energia geotèrmica de molt baixa temperatura	94
4.3.1. Captadors horitzontals enterrats	94
4.3.2. Sondes geotèrmiques	95
5. Utilització directa de la calor geotèrmica	96
5.1. Calefacció d'edificis i producció d'ACS	96
6. Energia geotèrmica a Catalunya	96

ENERGIA AEROTÈRMICA

1. Introducció	97
2. Principi de funcionament	97
2.1. Intercanvi aire-gas	98
2.2. Intercanvi aire-aigua	98
3. Elements del sistema d'aerotèrmia	98
3.1. Bomba de calor	98
3.2. Vàlvula de 3 vies	99
3.3. Dipòsit d'inèrcia	99
3.4. Dipòsit acumulador d'aigua calenta sanitària	99
4. Característiques de l'aerotèrmia	100
4.1. Eficiència	100
4.2. Instal·lació	100
4.3. Producció polivalent	100
4.4. Estabilitat de potència	100

4.5.	Respecte mediambiental	100
5.	Cost de l'energia aerotèrmica	102
5. Marc pràctic		
1.	Plantejament i objectius	104
2.	Càlcul de les necessitats energètiques de l'habitatge	105
3.	Estudi de les condicions d'aïllament actuals de l'habitatge	106
3.1.	Parets	106
3.2.	Coberta	106
3.3.	Desaigües	106
3.4.	Paviment	106
3.5.	Revestiment	106
3.6.	Electricitat	106
3.7.	Fontaneria	106
3.8.	Cristalleria	107
4.	Estudi de la localització i la climatologia	107
4.1.	Orientació dels mòduls	108
<u>1a PART PRÀCTICA: PROJECTE FOTOVOLTAIC</u>		108
5.	Tria dels elements més adequats pel sistema fotovoltaic	108
5.1.	Panells	108
5.1.1.	Elecció dels panells	108
5.1.2.	Quantitat necessària	109
5.1.3.	Dimensionament i distribució	109
5.1.4.	Connexió dels panells	110
5.2.	Inversor	110
5.2.1.	Elecció de l'inversor	110
5.2.2.	Elecció del model d'Enphase	112
5.3.	Bateria	112
5.3.1.	Elecció de la bateria	113

5.4.	Estructura	114
5.4.1.	Elecció de l'estructura de suport dels panells fotovoltaics	114
5.4.2.	Dimensionament	115
5.5.	Cable	115
5.5.1.	Elecció dels cables conductors	115
6.	Valoració del cost i l'eficiència dels elements de la instal·lació	116
6.1.	Panells	116
6.2.	Inversor	116
6.3.	Estructura	116
6.4.	Cablejat	116
7.	Càlcul econòmic segons diversos paràmetres	118
7.1.	Potència generada	118
7.2.	Venda de l'excedent energètic	119
7.3.	Compra d'energia els mesos hivernals	121
7.4.	Càlcul de l'estalvi anual	121
8.	Amortització de la inversió	122
8.1.	Ajudes econòmiques de la Generalitat de Catalunya i de l'Estat Espanyol	122
8.2.	Amortització de la instal·lació amb les ajudes	123
8.3.	Comparació d'ambdues amortitzacions	125
9.	Valoració global del projecte	126
9.1.	Càlcul de CO ₂ estalviat	126

2a PART PRÀCTICA: PROJECTE COMBINAT: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA I AEROTÈRMICA

10.	Introducció a l'energia solar fotovoltaica	128
11.	L'energia solar fotovoltaica aplicada a la realitat	128
11.1.	Producció superior al consum	128
11.2.	Producció inferior al consum	129
11.3.	Producció equivalent al consum	129
12.	Càlcul de la instal·lació fotovoltaica	129

12.1.	Interpretació de la taula de dades	130
13.	Síntesi del càlcul energètic fotovoltaic	132
14.	Càlcul del consum que resta sense cobrir amb la instal·lació fotovoltaica	132
15.	Introducció i adaptació de l'aerotèrmia	137
16.	Estudi dels sistemes actuals de climatització i obtenció d'ACS	137
17.	Càlcul de la potència requerida per la instal·lació aerotèrmica	138
17.1.	Explicació dels paràmetres de la fórmula	138
17.1.1.	Aplicació de la fórmula	139
18.	Elecció de l'aparell d'aerotèrmia	139
18.1.	Comparació de marques fabricants d'aerotèrmia	140
18.2.	Decisió final	140
19.	Cost de la instal·lació d'aerotèrmia	141
20.	Càlcul de l'amortització de la instal·lació aerotèrmica	141
21.	Resum de la producció aconseguida	143
22.	Amortització conjunta d'ambdues instal·lacions renovables	143
23.	Càlcul de CO ₂ estalviat	144
24.	Valoració global del projecte	145
6.	Conclusions	146
7.	Línies de futur	152
8.	Bibliografia	153
9.	Webgrafia	155

1. INTRODUCCIÓ

Durant la darrera dècada ha augmentat l'interès per l'obtenció d'energia amb mitjans renovables, principalment per la conscienciació generalitzada de la necessitat de reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle i d'infrarojos, que contribueixen en l'escalfament del planeta. Conseqüentment, s'ha considerat necessari conèixer algunes iniciatives que podrien dur-se a terme a nivell domèstic, aplicables a la indústria i als serveis públics, per reduir l'increment tèrmic de la Terra.

En aquest treball s'introdueixen tres de les energies renovables més pràctiques i eficients en l'ús domèstic: l'energia solar dins la qual s'exposa la fotovoltaica, la geotèrmica i l'aerotèrmica. Seguidament s'expliquen alguns possibles mètodes d'obtenció de cadascuna i els elements tècnics requerits, així com la seva aplicació pràctica a l'habitatge. Finalment, es reflexen els coneixements obtinguts en un projecte fictici basat en instal·lar els sistemes renovables més eficients i rentables en una casa ja existent per tal que sigui capaç d'autoabastir-se energèticament. També es pressuposta la instal·lació i se'n calcula el rendiment fent un balanç de les conclusions extretes de tota la recerca.

Les raons que m'han impulsat a decantar-me per aquest treball han estat força clares. Primerament, el meu interès per l'obtenció i la producció d'energia, concretament la renovable, ja que ho considero una aplicació pràctica molt útil dels avenços tecnològics de l'últim segle que han permès la creació de sistemes de generació i emmagatzemament d'energia amb un rendiment més elevat que el dels ja existents.

En segon lloc, la curiositat per conèixer amb exactitud el procés d'obtenció de diverses energies renovables i la seva aplicació pràctica, ja que tenia escassos coneixements sobre la matèria i desitjava aprofundir-hi amb l'objectiu de complir la tercera raó per la que s'ha desenvolupat aquest treball: autoabastir energèticament una casa ja existent.

A mesura que vaig pensar com estructurar el treball, em va sorgir molt interès per saber com es podrien cobrir les necessitats energètiques de l'habitatge on visc complint, simultàniament, l'objectiu de trobar iniciatives per frenar el canvi climàtic. Tanmateix, va ser el meu professor de física qui em va proposar orientar

el treball per cobrir aquesta tercera raó ja que alhora englobàvem els altres dos motius que em generaven interès.

Cal destacar que la idea inicial ha patit algunes modificacions, la més destacable és l'afegiment de l'energia aerotèrmica dins el marc teòric i la supressió de l'eòlica arrel d'un replantejament en la part pràctica del treball.

En base als interessos que em motivaven a fer aquest treball, s'ha anat desenvolupant i encaminant de la millor manera que s'ha sabut amb la incondicional ajuda del professorat, d'un enginyer i d'altres coneguts.

2. MARC I DIFICULTATS

Es tracta d'un treball de camp basat en la investigació, la recerca i el contrast d'informació de tipus objectiu, amb la finalitat d'elaborar-ne un recull acompanyat de dades numèriques, empíriques i fonts iconogràfiques per dissenyar el marc pràctic on es reflecteix la investigació realitzada.

Referent a les dificultats, considero que no n'hi ha hagut gaires, principalment pel clar objectiu del treball acordat inicialment amb el meu tutor, per la facilitat de cercar informació avui en dia i per la fonamental guia que em va suposar el llibre *Energía solar para viviendas* de Juan de Cusa en quant als aspectes a tractar de cada tipus energia.

Tanmateix, cal destacar un parell de lleus entrebancs. En primer lloc, quan ja considerava tenir el marc teòric i el pràctic gairebé acabats, em va sorgir la inigualable oportunitat de parlar amb l'enginyer Lluís Orpí Casajuana a l'Ajuntament de Caldes de Montbui. Em va ajudar moltíssim proporcionant-me informació real i desmentint dades d'internet prèviament contrastades, de manera que vam calcular de nou la producció i l'amortització prèviament proposades per millorar-les. Aleshores va convenir incloure l'energia aerotèrmica al treball per combinar-la amb la fotovoltaica al projecte pràctic de la casa d'estudi. És a dir que l'entrebanc va consistir en haver de refer la part pràctica i en afegir una bona part d'informació, tot i que no ho considero una dificultat sinó una immensa oportunitat d'aprenentatge i de millora.

I en segon lloc, que la manca de temps per realitzar el treball ha comportat una limitació en el seu desenvolupament que m'ha frustrat una mica ja que s'ha hagut d'ometre força informació, que considero molt interessants i m'hagués agradat tractar també. Tot i això, penso que se n'ha obtingut una part positiva, que ha estat practicar la capacitat de sintetitzar i resumir la informació.

Per tant, únicament puc agrair pel seu suport, per la seva guia i per les seves recomanacions a tothom qui ha contribuït al desenvolupament d'aquest treball, que malgrat consti jo com a autora, no en soc l'única. El professorat de l'escola, concretament el meu tutor del treball de recerca, el meu tutor personal, la meua professora de llengües, el meu professor de física i la professora d'anglès.

També a la secretària general de l'Ajuntament de Caldes de Montbui, que em va proporcionar la trobada amb l'enginyer Lluís Orpí Casajuana, a qui agraeixo el seu temps i els coneixements transmesos. Al meu tiet, pel seu interès i per haver-me facilitat el projecte de plaques fotovoltaïques de casa seva, i a totes les persones autores dels llibres i pàgines web d'on s'ha extret informació.

Finalment, cal destacar l'opció de donar continuïtat al treball, ja que podria resultar especialment interessant si s'apliquessin noves tecnologies desenvolupades en els propers anys.

3. OBJECTIUS

L'objectiu principal del treball tracta de dissenyar un sistema d'obtenció d'energia amb mitjans renovables en un habitatge ja existent amb la finalitat que pugui considerar-se autosuficient. Concretament gira entorn a la pregunta: ***com es pot autoabastir energèticament un habitatge mitjançant sistemes renovables?***

Més detalladament, l'objectiu principal es pot desglossar en els següents:

En primer lloc, investigar sobre la importància de les energies renovables i analitzar les més pràctiques i eficients en l'àmbit domèstic.

En segon lloc, aprofundir sobre les energies que podrien resultar més útils pel desenvolupament del marc pràctic, tenint en compte les condicions geològiques i climàtiques de la localització on es pretén dur a terme.

En tercer lloc, valorar les energies que ofereixen un rendiment més elevat a la zona d'estudi per dissenyar el projecte pràctic més eficient possible.

En quart lloc, conèixer amb precisió les necessitats energètiques de l'habitatge analitzat per poder dissenyar una instal·lació acurada.

En cinquè lloc, dimensionar la instal·lació dels sistemes renovables escollits segons les necessitats energètiques calculades prèviament.

En sisè lloc, fer una anàlisi del marc pràctic en quant a l'amortització i la rendibilitat.

I finalment reflexionar sobre el compromís mediambiental defensat en el desenvolupament del projecte.

4. MARC TEÒRIC

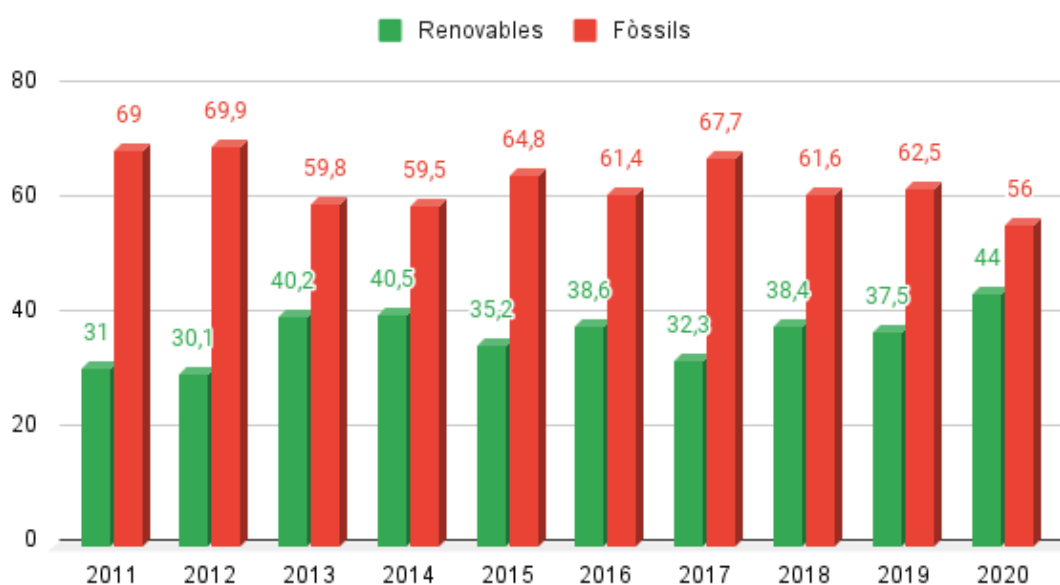
1. QUÈ ÉS L'ENERGIA RENOVABLE?

Les energies renovables provenen de l'ús recursos naturals nets i il·limitats com ara l'aigua, el sol, el vent o la biomassa; per tant, no generen residus contaminants pel medi ambient de manera que també es coneixen com energies verdes o alternatives.

La principal diferència respecte als combustibles fòssils és que no es consideren contaminants, principalment perquè la seva obtenció no requereix un procés de combustió que desprengui gasos d'efecte hivernacle. A més, amb l'ús d'energies renovables s'evita l'emissió d'infrarojos, l'efecte Callendar -basat en l'alteració de microclimes a causa de l'augment de CO₂ a l'ambient- així com l'escalfament globalitzat del planeta, i finalment s'evita la boira fotoquímica composta d'òxids de nitrogen i de sofre, ozó, monòxid de carboni i clorofluorocarburs. Amb l'ús d'energies provinents de recursos naturals i il·limitats es contribueix a frenar el canvi climàtic ja que està estretament relacionat amb les conseqüències de la combustió de combustibles fòssils.

És destacable l'augment produït en l'ús d'energies renovables a Espanya els darrers 8 anys, atès que el 2012 van representar un 30,1% de la producció nacional energètica mentre que el darrer 2020 va incrementar fins al 44%.

Evolució de la producció d'energia espanyola anual (2011-2020)

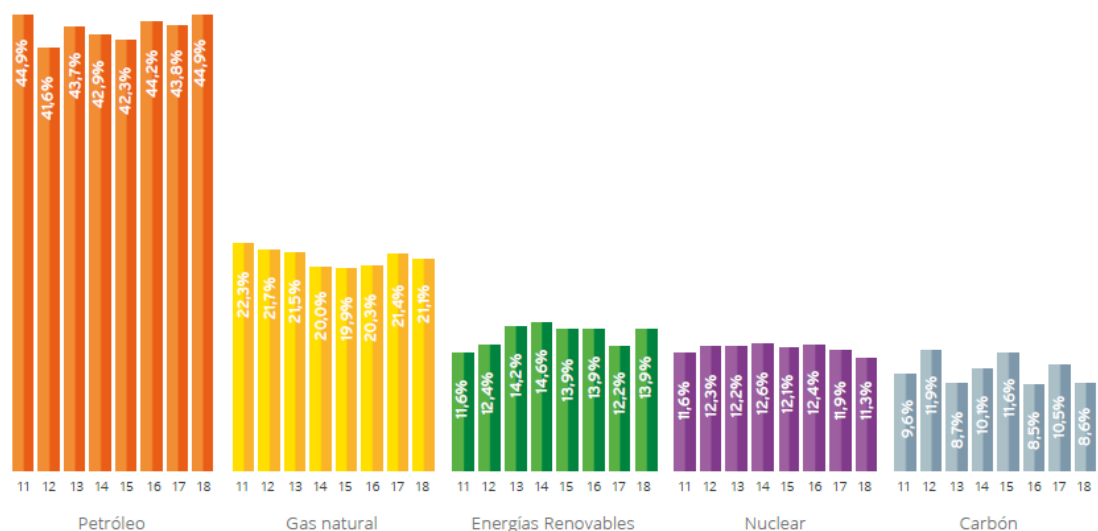


Gràfica 1. Gràfica de l'evolució de la producció d'energia espanyola anual del 2011 al 2020 comparant les energies renovables i les fòssils. (Font pròpia. 20/11/2021)

Concretament, la generació d'energia eòlica va suposar un 21,9% de la producció anual espanyola el passat 2020, mentre que la solar fotovoltaica va representar el 6'1%, xifra que implica un augment del 65% respecte a l'any anterior. Malauradament, la producció d'energia nuclear va continuar al capdavant de la classificació representant un 22% de la producció energètica anual Espanyola. Tanmateix, la *Red Eléctrica de España* apunta que el procés de producció del 66,9% de l'electricitat generada al país el mateix 2020, no va emetre gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. Per tant, es reflecteix una millora respecte al 39,6% que van suposar el 2019.

A més, l'Agència Internacional de l'Energia (AIE) preveu que el 2040 les energies renovables representaran al voltant d'un 44% de la producció mundial, un notable increment en comparació amb el 26% que van suposar al 2018 .

En el context de l'habitatge, les energies verdes han pres notable importància els darrers anys, principalment per l'estalvi econòmic que suposen respecte a les energies fòssils així com per la seva contribució en l'erradicació del canvi climàtic.



Gràfica 2. Gràfica dels percentatges d'obtenció d'energia en l'àmbit domèstic del 2011 al 2018. (Font: Appa. 15/11/2021)

2. CARACTERÍSTIQUES

- 2.1. **Potenciació de l'autoconsum:** les energies renovables contribueixen en l'autoabastiment energètic a les llars majoritàriament mitjançant calderes de biomassa, plaques fotovoltaïques, sistemes d'aerotèrmia o petits molins de vent.
- 2.2. **Benefici mediambiental:** atès que la seva producció no genera residus fòssils ni radioactius, aquestes energies donen lloc a un desenvolupament més sostenible del planeta.
- 2.3. **Els recursos provenen de fonts naturals inesgotables i gratuïtes:** com que el sol, l'aigua i el vent són il·limitats, l'accés a aquests recursos és infinit.
- 2.4. **Accessible des de regions aïllades:** sabent que aquests recursos naturals són presents arreu del planeta, l'ús de les energies renovables és viable tant en pobles aïllats de la civilització com en ciutats massificades. A més, les instal·lacions dels sistemes d'energies renovables no solen ser tan sofisticades ni complexes com les de les energies fòssils, doncs les plaques fotovoltaïques i els molins de vent es poden adaptar a tot tipus d'edificacions mentre que una central nuclear, per exemple, requereix una superfície més extensa i una instal·lació més complexa.

3. ENERGIES RENOVABLES EN L'ÀMBIT DOMÈSTIC

Les energies renovables més freqüents i productives són les vuit següents: solar tèrmica, solar fotovoltaica, eòlica, hidràulica, geotèrmica, aerotèrmica, mareomotriu o undimotriu (que aprofita el moviment de les onades) i biomassa. Tanmateix, n'hi ha algunes que resulten molt complicades d'aplicar en un habitatge com ara la hidràulica o la mareomotriu, i la eòlica que s'adapta en format reduït: la minieòlica. Conseqüentment, l'energia solar tèrmica i fotovoltaica, la geotèrmica, l'aerotèrmica, la biomassa i la minieòlica són les més eficients en l'ús domèstic així com les més utilitzades en l'actualitat.

El motiu pel qual en aquest treball s'aprofundeix en la solar tèrmica, la fotovoltaica, la geotèrmica i l'aerotèrmica és perquè una anàlisi exhaustiva de totes les energies renovables disponibles queda fora de l'abast d'un projecte de recerca de 2n de batxillerat.

4. TIPUS D'ENERGIES RENOVABLES

ENERGIA SOLAR:

1. ORIGEN I NECESSITAT

L'ús d'energia solar per millorar satisfer les necessitats humanes ha estat present al planeta des del paleolític, ja que aleshores ja s'utilitzava per combatre el fred. Amb el pas dels anys el disseny de la construcció d'habitatges ha evolucionat positivament, així com també ho ha fet l'aprofitament de la radiació solar. Concretament a partir de l'any 1973 quan amb l'esclat de la crisi del petroli la necessitat de recuperar l'ús d'energia solar va esdevenir imprescindible. Aleshores calia buscar fonts d'obtenció d'energia més econòmiques i que permetessin un major estalvi energètic, una filosofia que segueix vigent avui en dia. Així doncs, actualment per satisfer el nivell de vida benestant i consumista s'acudeix a la tecnologia solar, una font inesgotable, neta i gratuïta.

2. PRODUCCIÓ

L'aprofitament de l'energia solar prové de la captació de la radiació electromagnètica del sol, de manera que és una de les energies renovables que requereix un procés més senzill per ser aprofitada. A més, es pot captar de forma passiva mitjançant tècniques d'energia bioclimàtica, o bé de forma activa amb plaques fotovoltaïques, cèl·lules fotoelèctriques (que són les que conformen les plaques) o amb heliòstats i col·lectors solars que la transformen en energia solar tèrmica.

3. CLARIFICACIÓ

L'energia solar i la fotovoltaica no són equivalents. Per una banda, l'energia solar tèrmica és la que aprofita l'escalfor de la radiació solar per produir un canvi de temperatura sobre una substància. Com ara en la producció d'aigua calenta sanitària (ACS) mitjançant l'escalfor d'un col·lector per on hi circula el fluid. Mentre que per l'altra banda, l'energia fotovoltaica és la que genera electricitat

mitjançant la transformació d'energia lluminosa en elèctrica a partir de col·lectors fotovoltaics.

A més, existeix la possibilitat d'aprofitar l'energia solar de manera passiva mitjançant l'arquitectura climàtica: elements de la construcció d'un edifici per captar energia solar i emmagatzemar-la el màxim nombre d'hores possible. Alguns exemples són l'orientació de l'habitatge i de les seves estances; un bon aïllament de les parets, portes i finestres; la ventilació creuada; les dimensions de les finestres i la llargada del voladís.

4. EL SOL, L'INESGOTABLE FONT NATURAL D'ENERGIA

- 4.1. **La radiació solar:** l'aprofitament d'energia solar prové del major astre del Sistema Solar, el sol, dotat d'un diàmetre de 1.390.860 km aproximadament. Dins el nucli hi tenen lloc múltiples fusions entre protons que desprenen energia constantment i generen la radiació solar en forma d'ones electromagnètiques que es desplacen multidireccionalment.
- Dins la radiació solar es distingeixen 3 tipus de rajos: els lluminosos, que representen un 47% del total; els infrarrojos, que suposen el 46%; i el 7% restant s'associa als rajos ultraviolats, emesos de manera difusa, directa i reflexada.

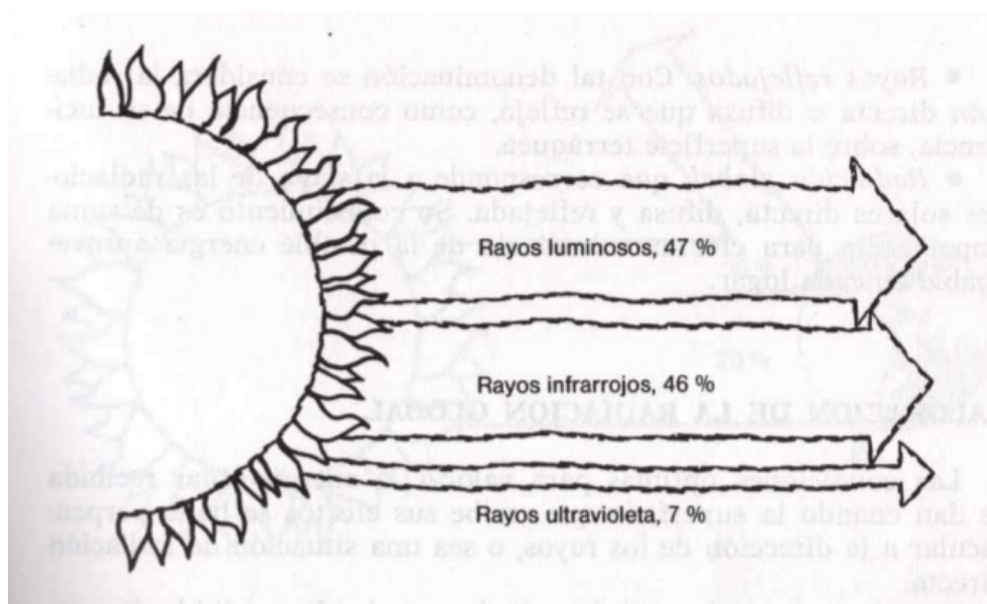


Figura 1. Descomposició de la radiació solar. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

4.2. **Aprofitament de la radiació:** l'aprofitament més eficient es dona quan els rajos s'emeten perpendicularment a la superfície terrestre, fet que només succeeix en períodes concrets de l'any depenent de la zona de la Terra. En aquesta casuística, l'energia generada per la radiació solar equival a la producció conjunta de 173 milions de centrals nuclears.

Amb les dades de radiació s'extreu la "constant solar" equivalent a 1.394 w/m^2 , que relaciona calories i temps en la producció d'energia. Tanmateix, a causa del trajecte quilomètric que han de recórrer els rajos fins a arribar a la superfície terrestre, es calcula que un 30% dels rajos emesos es reflexen i per tant són desaprofitats inevitablement, de manera que la constant solar se situa entre 1000 i 1200 w/m^2 .

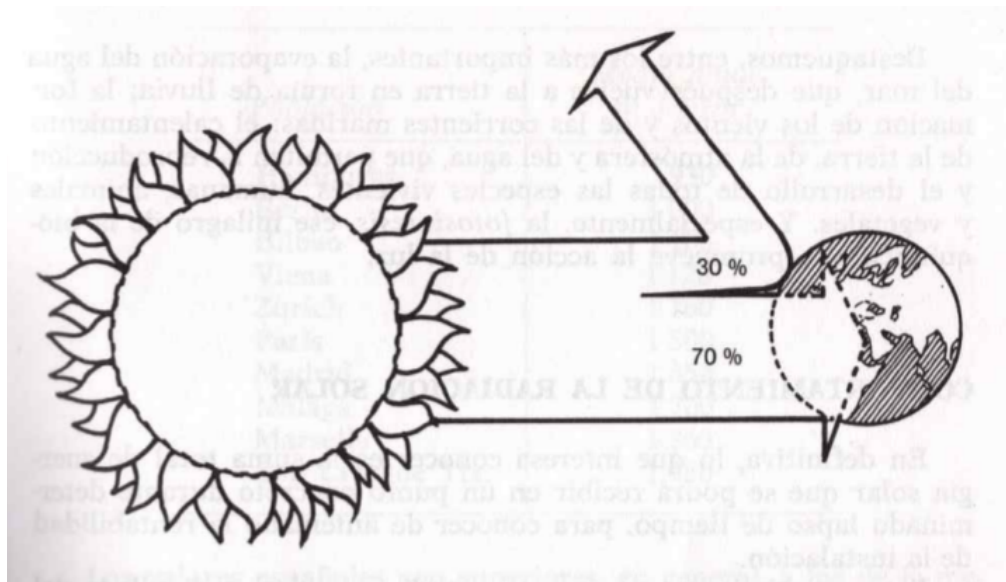


Figura 2. Energia solar absorbida per la Terra i reflexada. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

4.3. **Rellevància de la radiació:** és essencial conèixer l'energia rebuda en la zona específica d'edificació per a poder-ne determinar el seu aprofitament.

Espanya es situa lleugerament per damunt del valor mitjà de la constant solar dels països europeus, a Madrid s'aproxima a 1650 kW/m^2 anuals, on els mesos de juny i juliol són els de major radiació. Per aconseguir el màxim aprofitament dels rajos solars cal tenir en compte la ubicació de les diverses estances de l'habitatge i de les finestres, ja que una orientació adequada permet un notable estalvi energètic tant a l'hivern com a l'estiu.

Orientació sud: estudis europeus sobre la radiació solar al continent afirmen que les superfícies verticals orientades al sud són les més eficients respecte a

l'aprofitament solar, raó per la qual convé exposar cap a aquest punt cardinal el menjador i les sales d'estar.

Orientació nord: pel que fa a l'orientació nord, durant l'estiu rep la radiació de les primeres i les darreres hores del dia, de manera que és convenient orientar-hi el despatx, el rebost i el garatge ja que no requereixen tanta insolació.

Orientació est i oest: referent a la orientació cap a l'est i l'oest, són les que més radiació solar reben a l'estiu a causa de la trajectòria transversal del sol, mentre el recorregut oblic durant l'hivern causa que siguin les més aïllades, doncs únicament reben la insolació de l'albada i del vespre. Per aquest motiu convé ubicar les habitacions i la cuina cap a l'est i els banys a l'oest.

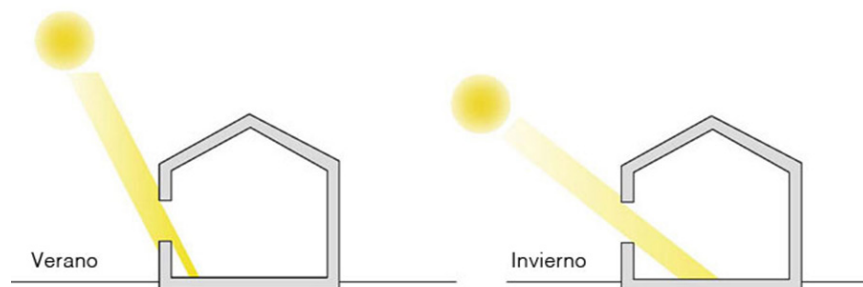


Figura 3. Representació de l'aprofitament de la radiació solar segons el recorregut del sol en estacions oposades. (Font: Julio A. Romero Alonso. 07/06/2021)

4.4. **La insolació:** és la quantitat d'hores diàries de radiació solar que rep una zona, i tot i poder semblar paradoxal, les localitats de la Terra amb insolació més elevada no tenen lloc a l'Equador sinó que són les situades 40° més al nord o més al sud. Aquest fenomen és causat per la inclinació del sol respecte a l'eix del planeta, i per aquesta raó la capital espanyola rep 2900 hores d'insolació anuals, un dels valors més elevats i bastant similar a les 2620 hores de Barcelona.

Conseqüentment, la insolació anual permet calcular l'estalvi energètic per persona i/o habitatge. Per exemple, a l'inici de l'aprofitament domèstic d'energia solar a principis del segle XXI, suposant un valor mitjà de 0'05€ el

kW/h, es calcula que una família de 4 persones podria estalviar uns 8743€ anuals usant aquesta tecnologia solar.

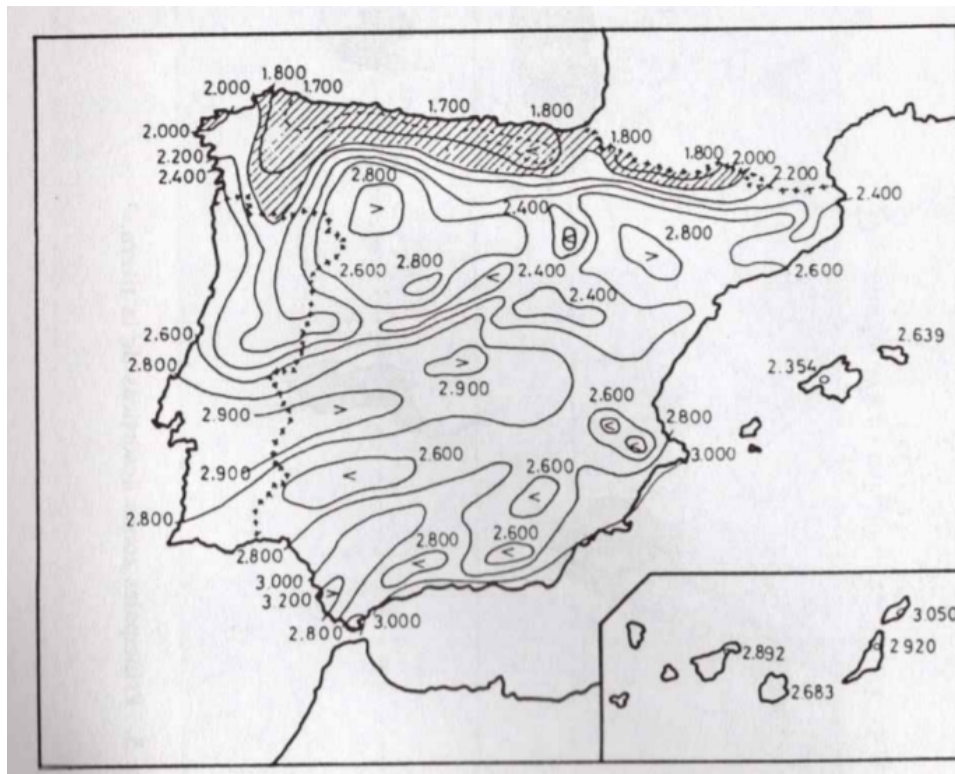


Figura 4. Gràfic de les hores de sol anuals a la Península Ibèrica. (Font: *Monografias de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

5. APROFITAMENT DE L'ENERGIA SOLAR

5.1. **Característiques fonamentals:** és una energia pura i inesgotable que prové de la natura i ofereix els següents avantatges:

- No requereix costos d'obtenció, llevat de la instal·lació inicial, ni de transport ja que es pot produir al mateix punt on s'utilitza.
- És una matèria prima gratuïta que pot ser transformada en energia elèctrica, química o mecànica sense generar pèrdues ni contaminar l'atmosfera.
- No requereix ser emmagatzemada perquè la producció és constant i el manteniment de la instal·lació és pràcticament nul.
- Resulta una font inesgotable atès que s'aproximen els anys de vida del sol a uns 5000 milions.

5.2. **Usos principals de la radiació solar en un habitatge:** Les necessitats que solen ser cobertes amb la captació de la radiació solar i la corresponent transformació i conducció són calefactar l'ambient interior i escalfar l'aigua sanitària.

Els dies clars, considerats els inferiors al 20% de nuvolositat, el sol irradia directament sobre certes zones de l'habitatge en funció de la seva ubicació. Les façanes orientades al sud, a l'est o a l'oest juntament amb la teulada capturen els rajos solars i transmeten l'escalfor a l'interior de l'habitatge.

De la mateixa manera, l'aigua embassada exposada al sol també s'escalfa, per tant si aquesta radiació s'aprofita adequadament, l'energia solar podria substituir altres escalfadors que requereixen energies fòssils per generar ACS.

5.3. **Altres transformacions de l'energia solar:** Tot i que l'ús més conegut d'aquesta font natural és emprat per satisfer les necessitats dels habitatges, cal destacar que les radiacions solars també són transformades en altres tipus d'energies com ara la mecànica, l'elèctrica i la química que posteriorment són aplicades en diversos àmbits tant quotidians com científicotècnics.

5.4. **L'efecte hivernacle:** té vital importància en l'aprofitament de les radiacions solars ja que és la base de tot sistema fonamentat en aquesta tecnologia. Els components principals en són els col·lectors o plaques solars: uns panells de vidre amb unions perfectament aïllades que en conjunt actuen com a captadors de la radiació solar.

El seu funcionament es basa en l'efecte hivernacle ja que permet el pas dels rajos solars però impedeix la seva sortida cap a l'exterior, i per tant s'aconsegueix augmentar la temperatura de dins l'habitatge.

Justificació física: aquests panells permeten el pas dels rajos solars amb una longitud d'ona d'entre 0,25 i 2,5 nanòmetres que en traspasar el vidre modifiquen la seva longitud i adopten la mesura pròpia dels infrarojos situant-se entre 4 i 70 nanòmetres, de manera que els panells de vidre impedeixen la sortida d'aquests rajos de magnituds superiors.

5.5. **El sistema d'aprofitament de l'energia solar:** donat que l'energia produïda per la incidència dels rajos solars al col·lector no s'utilitza al mateix lloc on es

genera, és necessari un mecanisme que la condueixi. Aquest sistema solar consta dels següents elements:

- 5.5.1. **L'acumulador:** com que l'energia obtinguda amb aquestes plaques solars no sempre és utilitzada en el mateix punt de la instal·lació i a les hores nocturnes no es genera calor, cal un sistema de conducció de l'energia obtinguda. Aquest sistema es coneix com a acumulador de calor i es fonamenta en un dipòsit que emmagatzema més energia de la necessària per funcionar durant les hores de major insolació, així garanteix el funcionament de tota la instal·lació en hores o dies de radiació nul·la.
- 5.5.2. **Els col·lectors solars:** l'escalfament de l'ambient interior d'un habitatge que no consti de finestres de vidre es basa en la transmissió de l'escalfor acumulada a les parets cap a l'interior de l'edifici. Conseqüentment, les façanes solen pintar-se de colors foscos, així capten més radiacions i acumulen més calor en una superfície limitada. Per millorar aquesta captació de la radiació solar, s'imita el procés de l'efecte hivernacle adaptant-lo a les parets dels habitatges. Per aquesta raó neixen els col·lectors solars basats en crear un espai unit a la paret i separat de l'exterior amb un vidre per tal d'emmagatzemar més calor.

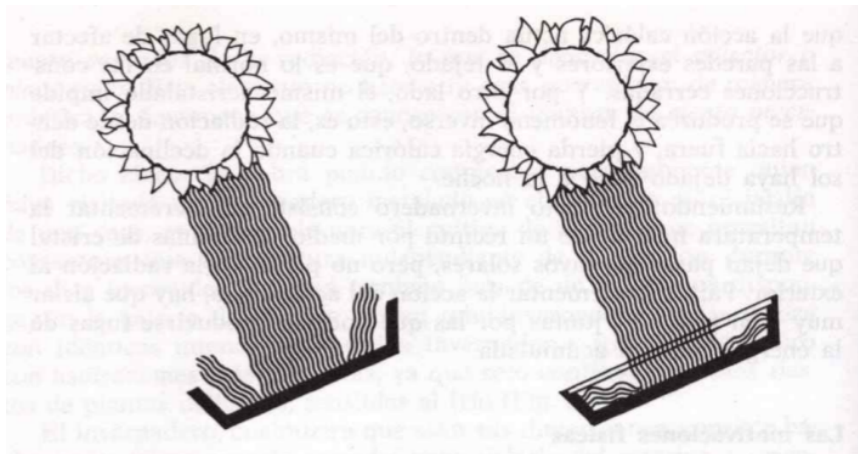


Figura 5. Esquerra: col·lector obert on part de la radiació captada es reflexa i torna a l'aire. Dreta: col·lector tancat amb un vidre simulant l'efecte hivernacle on tota la radiació captada queda retinguda dins el panell. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

Aquest espai aïllat permet un millor aprofitament dels rajos solars aconseguint un rendiment òptim, els col·lectors tancats amb vidre consten de les següents capes:

- Un vidre protector de 5 mm de gruix unit amb goma d'etilpropilè en contacte amb l'exterior que és el primer material en absorbir els rajos solars.
- Una càmera d'aire no gaire gruixuda que s'escalfa amb l'acumulació calorífica.
- Un conducte pertanyent a un circuit connectat a altres col·lectors per on hi flueix la substància a ser escalfada, ja sigui aire, aigua, oli o altres elements que iniciïn el funcionament de sistemes que requereixen energia.
- Una fina superfície que recull l'alta temperatura aconseguida.
- Una capa de material aïllant tèrmic de la meitat del gruix del col·lector que reté la calor dins el sistema i evita que la sigui desaproveitada en irradiar damunt la carcassa.
- I finalment la carcassa rígida que envolta totes les capes, reté la calor i aïlla l'estructura de l'exterior.

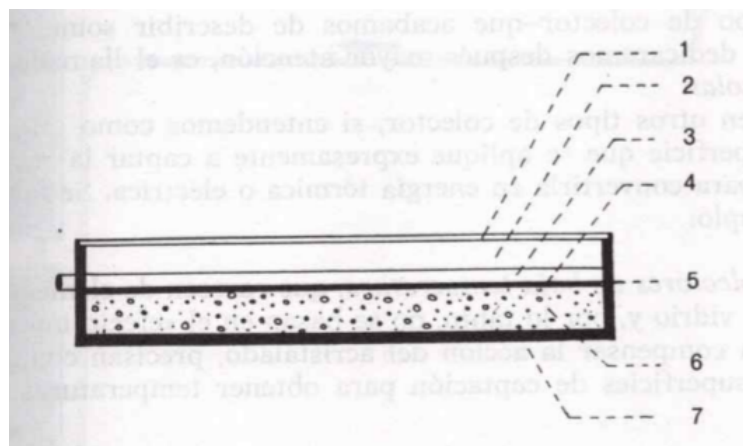


Figura 6. Esquema de la secció d'un col·lector solar pla: 1. vidre protector; 2. càmera d'aire; 3. conducte del circuit interior; 4. superfície receptora absorbent; 5. lateral de la carcassa; 6. material aïllant; 7. fons de la carcassa.

La calor obtinguda pels col·lectors i retinguda al conducte amb la substància escalfada es condueix amb tubs de coure, llautó o altres materials conductors de la calor cap a la caldera. Aleshores el tub pren forma de serpenti per augmentar la superfície de contacte del fluid calent amb la substància a ser escalfada de dins la caldera. A més, hi ha l'opció

d'incorporar una bomba al circuit amb el fi d'accelerar la circulació de l'aigua o la substància de dins el tub de material conductor.

5.5.2.1. Altres col·lectors solars: a més de la placa solar o col·lector pla descrit, hi ha altres mecanismes que permeten l'aprofitament dels rajos solars per ser transformats en energia elèctrica o tèrmica, tot i que en l'ús domèstic no són tan eficients ni convenients com els col·lectors plans.

- Col·lectors de baixa temperatura: basats en una extensa superfície de captació de la radiació per aconseguir temperatures d'entre 50 i 60°C prescindint de vidres i de l'efecte hivernacle.
- Col·lectors fotovoltaics: són transformadors directes de la incidència de rajos solars en electricitat.
- Col·lectors concentradors o d'alta temperatura: aconseguixen obtenir temperatures elevadíssimes de fins a 4000°C mitjançant plaques amb un disseny parabòlic o còncau.

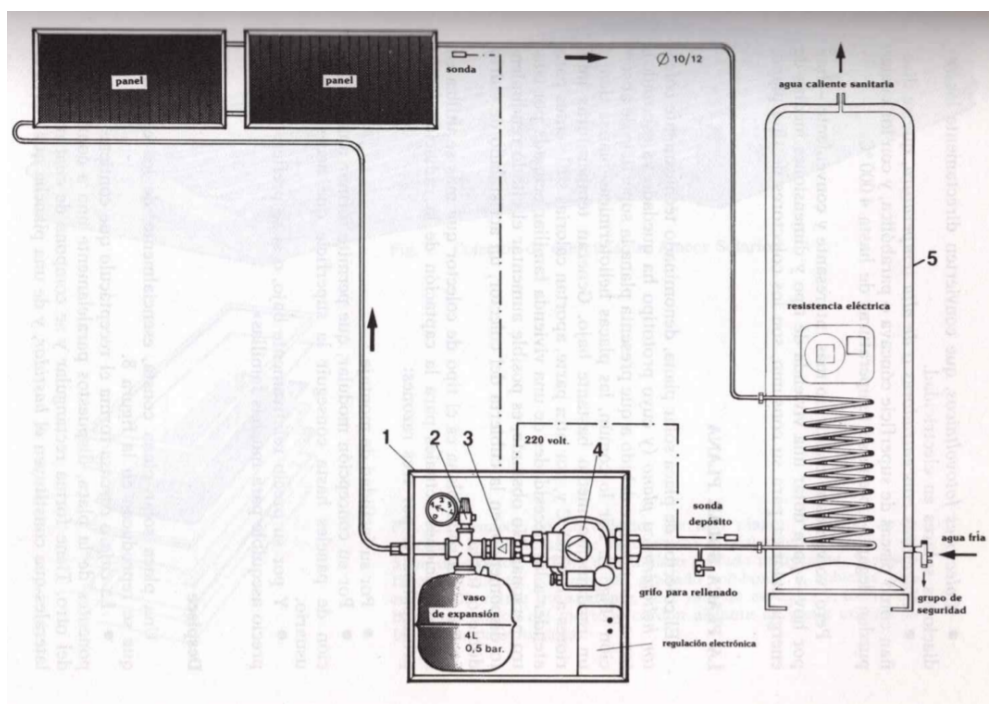


Figura 7. Esquema d'un circuit d'energia solar: 1. grup de circulació; 2. vàlvula de seguretat amb manòmetre; 3. vàlvula de retenció; 4. circulator; 5. acumulador. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

5.5.3. Tipus de col·lectors solars

5.5.3.1. Placa solar plana: tot i que els col·lectors plans, coneguts com a heliòtermics plans, només generen temperatures inferiors als 100°C, el seu rendiment es pot augmentar instal·lant una capa doble o triple de vidre a la zona més externa de la placa. A més, la seva facilitat de muntatge, la possibilitat d'ajuntar-ne diverses per obtenir-ne la superfície de captació desitjada així com el seu preu assequible, fan d'aquest tipus de col·lector el més utilitzat a Espanya.

5.5.3.1.1. Estructura: per obtenir una placa heliòtermica plana calen intercalar un seguit de materials col·locats dins una carcassa rectangular feta de materials preparats per l'exterior com acer, alumini o fins i tot fusta, també consta de quatre parets laterals anomenades bastidors i d'una placa que tapa el conjunt per l'extrem inferior, el fons.

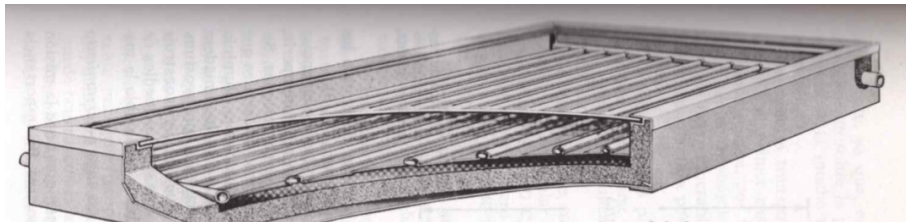


Figura 8. Secció d'un col·lector solar pla. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

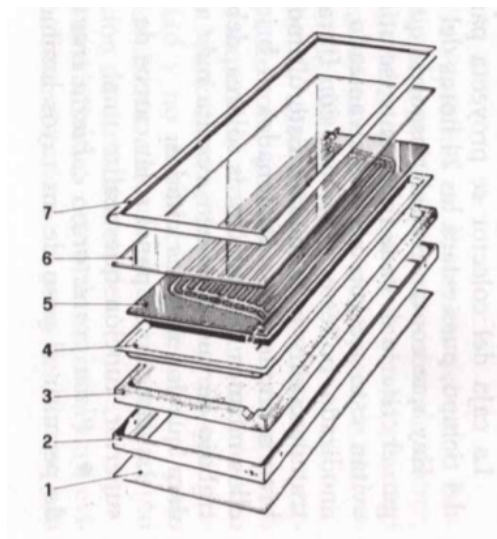


Figura 9. Espequejament d'un col·lector pla: 1. fons de la carcassa; 2. estructura de la carcassa; 3. aïllament tèrmic; 4. alumini reflectant; 5. superfície absorbent amb circuit roll-bond; 6. coberta protectora de vidre de 5 mm de gruix; 7. marc de vidre i cordó aïllant de goma

etiopropilènica. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

La capa superficial és la placa protectora o transparent que fa la funció de coberta superior del col·lector i permet augmentar la temperatura dels rajos refractats que la travessen. Solen ser de vidre temperat de 6 mm de gruix o bé de materials plàstics com metacrilat, clorur de polivinil o policarbonat. Calculant que incidís una radiació mitjana de 800 kcal/h sobre aquest tipus de col·lectors solars, amb una única làmina de vidre s'obtidria una temperatura lleugerament inferior als 100°C, però amb una capa doble se situaria entre 135 i 140°C, mentre que amb triple vidre s'arribaria als 180 o 190°C. A partir de la quarta capa la instal·lació no surt a compte ja que la relació entre el preu de cost i l'augment de temperatura és desproporcionat.

La següent capa del col·lector heliòtèrmic pla és la placa absorbent, formada per alumini, coure, acer o fins i tot goma, que rep els rajos absorbits per la placa o coberta transparent. Per millorar el rendiment del sistema, la part més externa del material absorbent es cromia amb color negre i s'estabilitza amb carbó per protegir-lo de les inclemències meteorològiques.

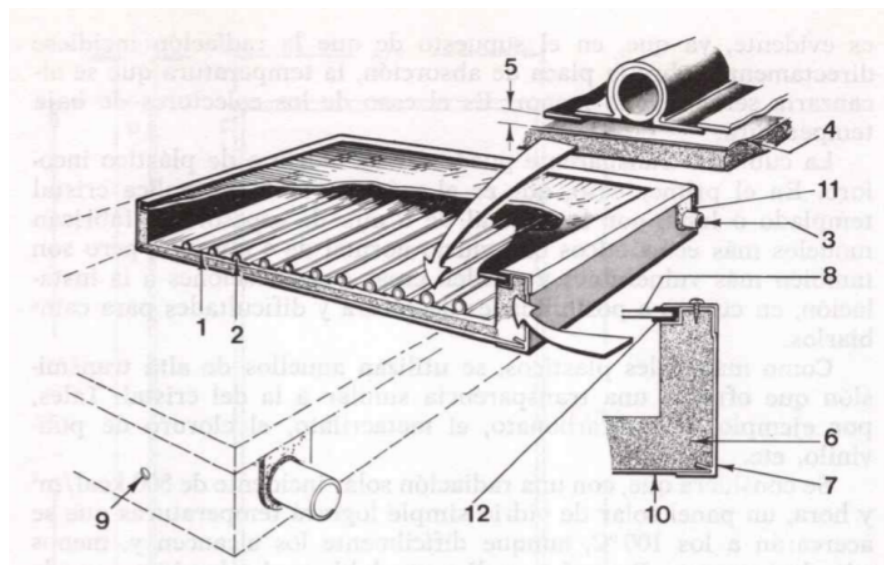


Figura 10. Especejament de la superfície absorbent d'un col·lector solar pla: 1. placa d'absorció; 2. reixa de tubs de coure; 3. connexió externa dels tubs; 4. alumini; 5. càmera d'aire; 6. aïllant; 7. estructura exterior del

col·lector; 8. làmina de vidre; 9. orifici per cargols; 10. fons del col·lector; 11. estructura de reforç; 12. segellat de cautxú i neoprè. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

Donat que en aquesta capa la temperatura ja és molt elevada, just a continuació es col·loca el circuit amb el tub de coure per on circula el fluid que s'escalfa, que sol ser aigua o aire, i condueix la calor fins a l'acumulador o caldera. Es disposa en forma de serpentí abastint la màxima superfície de la capa absorbent per aprofitar al màxim el rendiment del col·lector. Acostumen a ser de 10 o 12 mm de diàmetre i de materials de bona conducció tèrmica.

Tot seguit hi ha una capa d'entre 5 i 7 cm de material aïllant que evita les fuites de calor dins la placa, els materials utilitzats són plaques d'aglomerat de fusta, escuma de poliuretà, fibra de vidre i suro.

Finalment cal aïllar adequadament el col·lector amb totes les seves capes per perfeccionar el rendiment del sistema i evitar fuites de calor per les juntes. Per aquest motiu, és necessari assegurar-les correctament amb materials elàstics resistents a la radiació solar i a les inclemències meteorològiques. Els perfils d'estanquitat són els que ofereixen aquest aïllament perfecte i els materials emprats són perfils de neoprè i cordons de cautxú amb silicona.

5.5.3.1.2. Dimensions de les plaques i superfície necessària: les plaques solen oscilar entre 1 m² i 9 m² d'àrea, tot i que les més freqüents medeixen entre 1,5 m² i 2 m² ja que s'adapten a la majoria de superfícies. En funció de les necessitats energètiques es determina la quantitat de col·lectors adient, i com més assolida sigui la zona, menys plaques caldran proporcionalment.

Es calcula que per una família espanyola de 4 membres calen uns 6,5 m² de plaques per satisfer les necessitats d'aigua calenta i calefacció. A més, cal tenir en compte que el rendiment real dels col·lectors heliotèrmics plans oscil·la entre el 60 i el 75% de l'indicat per

l'empresa fabricant i l'energia produïda a la zona de Catalunya se situa al voltant de 1100 kW/h.

5.5.3.1.3. Tipus de plaques solars planes: els col·lectors es poden classificar en funció del circuit emprat pel transport del fluid i del seu estat: líquid o gasós.

Primerament es divideixen segons si el medi transportat és líquid, que en la immensa majoria de casuístiques és l'aigua; o bé gasós, que pràcticament sempre és aire.

1. **Plaques amb fluid líquid:** van ser les primeres a utilitzar-se ja a l'any 1929 als Estats Units. En aquestes plaques l'aigua flueix constantment pel serpentí de sota la superfície absorbent, que es refreda constantment. L'aigua entra freda o a temperatura ambient i a mesura que recorre la placa s'escalfa, fins que arriba a la màxima temperatura quan en surt. Seguidament és conduïda fins l'acumulador on escalfa la substància continguda i, per tant, perd la temperatura ja que transmet la calor a un altre medi. Aleshores, l'aigua, que torna a ser freda, inicia de nou el circuit per dins la placa.

És un cicle tancat que depenent de les dimensions del circuit pot requerir de 10 fins a 40 litres per hora i metre quadrat, i com que l'aigua es troba sempre estancada convé que sigui el més neutra possible, preferentment destil·lada per evitar possibles incrustacions de calç que redueixen el rendiment del sistema.

Tanmateix, cal tenir present que per escalfar l'aigua de piscines, per exemple, cal un circuit obert, de manera que convé utilitzar tubs de major diàmetre en el muntatge.

- 1.1. Classificació: els col·lectors amb fluid líquid s'agrupen segons la forma dels conductors:

- Sistema de serpentí: es compon d'un conducte metàl·lic que recorre el col·lector força vegades de manera transversal o longitudinal per estar en contacte amb la major part de la superfície possible. Resulta el sistema més utilitzat i antic, malgrat que originàriament els tubs de coure es disposaven damunt la placa absorbent. També hi ha hagut altres millores d'aquest sistema, com

ara gravar-hi canals per on passen els tubs perquè hi hagi un major contacte de la làmina calenta amb el tub de coure i el conjunt resulti més eficient.

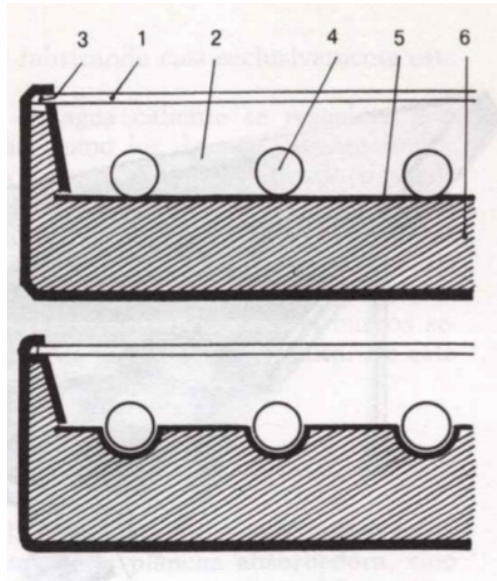


Figura 11. Secció del contacte dels tubs amb la placa absorbent: 1. làmina de vidre; 2. càmera d'aire; 3. juntura aïllant; 4. conductes del circuit primari; 5. placa absorbent; 6. aïllant. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

A més, existeix un nou tipus de contacte, basat en revestir els tubs, de manera que la superfície de contacte es maximitza arribant al 100% d'optimització.

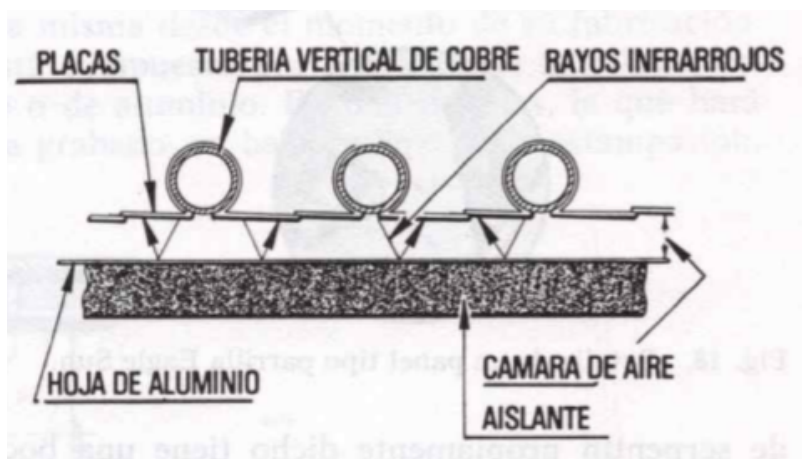


Figura 12. Secció del contacte dels tubs amb la placa absorbent al voltant. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

Finalment, cal destacar una última distribució dels tubs dins la placa que ha pres importància els darrers 20 anys. Es basa en un recorregut dels tubs en forma de graella, de manera que els verticals i els horitzontals queden units pels extrems.

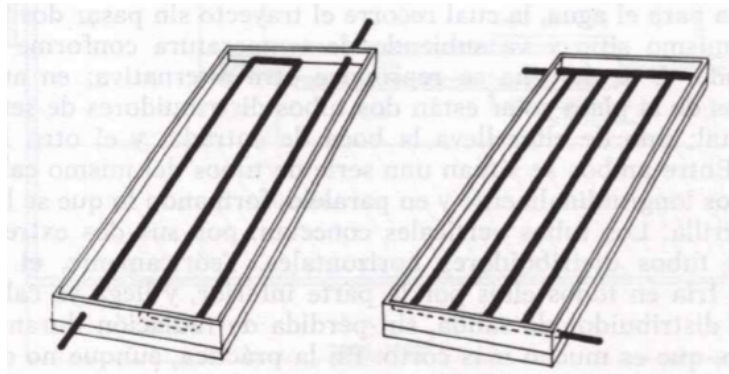


Figura 13. Dues distribucions del circuit de tubs. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

El funcionament es basa en introduir l'aigua freda per la punta inferior del col·lector de manera que es va escalfant a mesura que ascendeix, i finalment surt per la punta superior ja escalfada.

- Sistema rollbond: aquest sistema es basa en un parell de làmines metàl·liques, de coure o alumini, que absorbeixen els rajos solars i tenen petits orificis per on circula l'aigua calenta. D'aquesta manera, els col·lectors i la placa absorbent són dependents entre sí i és un tipus de circuit que ofereix múltiples beneficis, ja que el fet de poder prescindir dels tubs de coure i substituir-los per la placa gravada amb els forats, permet la constitució de circuits molt més extensos. A més, l'aigua té contacte directe amb el material absorbent de la radiació solar, per tant, s'escalfa més ràpidament.

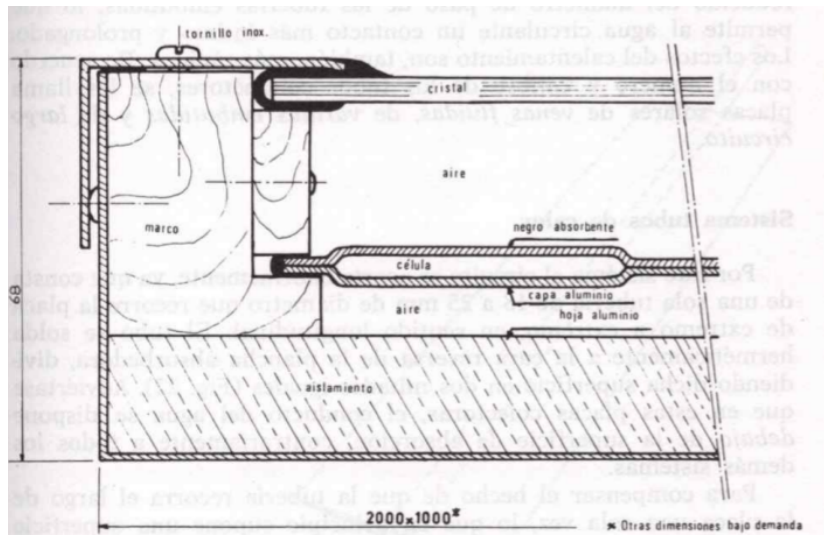


Figura 14. Secció d'un panell Solblanc. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

- Sistema de tubs de calor: és força diferent dels altres dos tipus amb medi líquid, ja que es basa en un tub de material conductor tèrmic d'entre 18 i 25 mm que travessa la placa absorbent longitudinalment dividint-la per la meitat. Així, el tram de circuit queda cobert per la placa absorbent, i a diferència del sistema rollbond i de serpenti, el tub es troba per sota el material absorbent. A més, la llargada d'aquest sistema oscil·la entre els 5 i 6 metres de llargada mentre que els altres se situen entre els 70 i 85 cm. Per tant, aquest sistema queda limitat a un ús en superfícies força extenses, no pas tan reduïdes com en l'àmbit domèstic.

1.2. Característiques dels col·lectors solars amb fluid líquid:

- L'aigua dota d'elevades capacitats calòriques, és a dir que s'escalfa amb ràpidament i reté la temperatura durant força temps.
- La calor pot ser emmagatzemada en calderes o acumuladors durant força temps ja que reté la temperatura i la conserva.
- El muntatge dels 3 sistemes és força senzill i no requereix gaires complicacions.
- L'ús de l'aigua o l'aire escalfat és molt versàtil ja que poden ser utilitzats o bé com a aigua calenta sanitària (ACS), per a iniciar el

funcionament d'un acumulador o qualsevol altre mecanisme, o fins i tot per accionar un sistema de refrigeració de l'ambient.

1.3. Inconvenients d'aquests sistemes en comparació amb els de fluid gasós:

- Els materials conductors utilitzats per als tubs del circuit són susceptibles de patir corrosió, per tant cal evitar l'ús de materials oxidables, així com combinar el coure i el ferro.
- Existeix la possibilitat de congelació a temperatures inferiors als 0°, de manera que abans de l'hivern convé afegir líquid anticongelant a l'aigua del circuit per garantir-ne el correcte funcionament durant els mesos més freds. Cal tenir en compte que, en zones amb temperatures usuales negatives, és necessari combinar l'aigua amb certa quantitat (entre el 15 i el 40%) de solució anticongelant d'etilè-glicol o de propilè-glicol, en funció de les temperatures previstes.
- Les fuites en el conjunt de la placa solar disminueixen notablement el rendiment del sistema, per tant, cal comprar col·lectors amb garanties, fet que probablement suposarà un increment del seu preu.
- Si es consumeix menys calor de la generada, el sistema es pot sobreescalfar i perjudicar el bon funcionament de la tecnologia, fet que únicament comportaria haver de descarregar o purgar l'acumulador o bé buidar l'aigua dels tubs conductors.

2. **Plaques amb fluid gasós (aire):** van començar a ser utilitzades cap al 1944 i el seu funcionament també es basa en aconseguir l'efecte hivernacle per escalfar l'aire, tot i que en lloc d'utilitzar tubs de secció circular, són quadrangulars i de major diàmetre. En relació a l'acumulador, s'acostumen a utilitzar materials amb menys capacitat d'emmagatzemar la calor que no pas l'aigua.

Els avantatges respecte als col·lectors solars són que s'evita la corrosió -al ser aire el medi que flueix- i els riscos de sobreescalfament i congelació també redueixen notablement.

Però com a inconvenient, el seu muntatge resulta més laboriós i l'aprofitament de l'energia produïda és més reduït; per aquests motius les plaques amb fluid gasós són menys utilitzades.

5.5.3.2. Panells solars de cautxú: Són un dels tipus de col·lectors solars amb menys anys d'història ja que van començar a ser utilitzats cap a l'any 2000. Es caracteritzen per la possibilitat de construir superfícies de 12 a 20 metres de llargada evitant connexions innecessàries fet que redueix les reparacions i consegüentment el seu cost.

Un altre avantatge dels panells solars de cautxú és la facilitat de ser tallats a mida i el seu preu força econòmic gràcies a la ràpida i senzilla instal·lació que requereixen. A més, la fabricació amb elastòmers i cautxú sintètic els dota de flexibilitat i capacitat d'adaptació a superfícies irregulars, i cal destacar que el cautxú no es veu afectat per la corrosió, l'ozó i la llum ultraviolada, ni per les extremes temperatures.

Nogensmenys, el material de construcció no reté temperatures gaire elevades, de 35 a 50°C, motiu pel qual s'utilitzen per satisfer necessitats que requereixin una calor moderada com ara escalfar piscines o aclimatar hivernacles.

El rendiment dels col·lectors depèn del model i de la marca, tot i que a grans trets es pot aproximar el cabal d'aigua obtingut en un panell solar de cautxú a 1 l/min/m². Tanmateix, les pèrdues energètiques redueixen en incrementar la temperatura del panell.

5.5.3.3. Col·lectors concentradors: aquests sistemes es basen en el principi de la concentració, no pas en el d'hivernacle com els col·lectors plans, i consisteix en fer incidir els rajos solars sobre una placa absorbidora corba de tipus còncau, la qual fa convergir els rajos reflectats al centre de curvatura. Així, la temperatura obtinguda en aquest punt és més elevada que la d'incidència.

La potència calorífica resultant primerament depèn del material de la superfície absorbidora que sol ser d'acer inoxidable, metall brunyit o altres elements que puguin provocar l'efecte mirall necessari; i en segon lloc, de la curvatura i de la superfície del col·lector. Aquestes

característiques permeten aconseguir temperatures de fins a 4000°C, i per aquest motiu els col·lectors concentradors són emprats en àmbits que requereixen una elevada concentració calorífica.

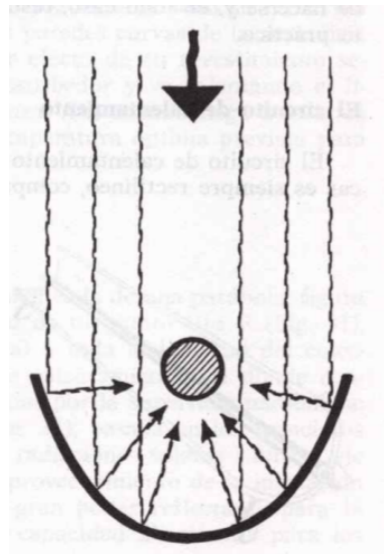


Figura 15. Principi de la concentració de rajos solars en una placa còncaua. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

- 5.5.3.3.1. Inconvenients: els col·lectors concentradors també comporten desavantatges, en primer lloc, el constant manteniment que requereixen al ser sensible a la contaminació ambiental. I segonament, la necessitat de ser reorientats per rebre la insolació directa i poder-ne obtenir el màxim rendiment. Conseqüentment, es requereix un mecanisme automàtic que orienti el col·lector, una instal·lació que encareix més el seu preu.
- 5.5.3.3.2. El circuit d'escalfament: el mecanisme d'escalfament de l'aigua que flueix per l'interior del circuit és força diferent al dels altres col·lectors. En aquest cas, el tub es revesteix de negre perquè capti més la radiació solar, i juntament amb la temperatura del sistema escalfen l'aigua que flueix pel circuit, de manera que quan finalitza el recorregut arribi a la temperatura convenient.
Una variant del col·lector concentrador de superfície parabòlica és el de superfícies planes, que consta de dues parets que s'aixequen de la base amb uns 20° d'obertura exterior respecte l'eix vertical. Amb

aquest disseny els rajos solars no queden tan concentrats i per tant s'escalfa una superfície més extensa però a una temperatura inferior.

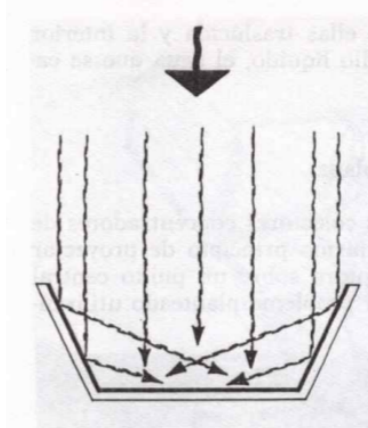


Figura 16. Col·lector concentrador de superfícies planes. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

- 5.5.4. **Termoacumuladors:** Atès que l'escalfor generada per les plaques solars no sempre és convenient utilitzar-la al mateix moment, són necessaris dipòsits totalment hermètics, aïllats i conservadors de la temperatura interior que emmagatzemin la substància escalfada. S'anomenen acumuladors de calor, concretament d'aigua calenta.
- 5.5.4.1. Estructura: són elements cilíndrics que consten d'una planxa exterior resistent i rígida separada d'una altra xapa per uns 3 cm de material aïllant ja sigui poliestirè, escuma de poliuretà, llana de vidre o suro. A més, consten d'una resistència elèctrica amb un termòstat i un tub de coure en forma de serpentí, que recorre la meitat inferior de l'espai interior de la caldera per on hi circula l'aigua o la substància escalfada.

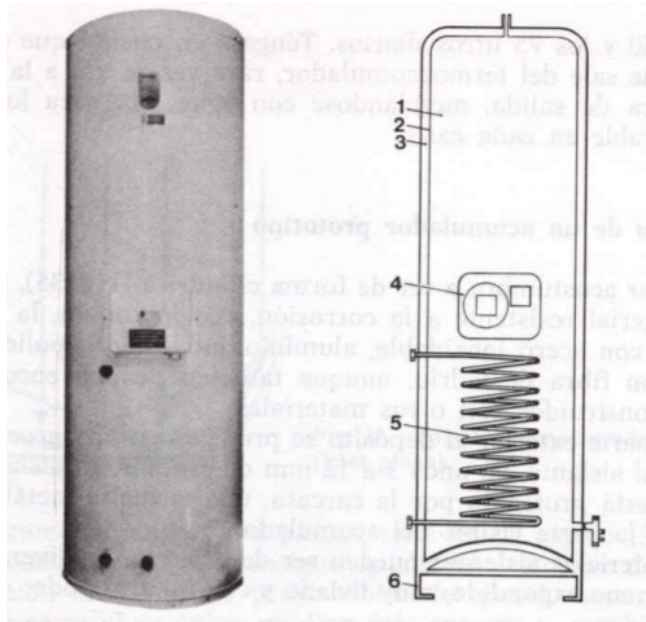


Figura 17. Acumulador amb serpentí i resistència elèctrica: 1. cilindre de xapa d'acer vitrificat; 2. aïllament d'escuma de poliuretà injectat de 35 mm de gruix; 3. xapa exterior lacada al forn; 4. resistència elèctrica i termòstat; 5. intercanviador tubular d'acer inoxidable; 6. suports. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

5.5.4.2. Necessitats i dimensions: es calcula que una persona adulta sol necessitar entre 60 i 80 litres d'aigua diaris, i cal destacar que com que la temperatura del fluid en sortir del termoacumulador és molt elevada, es barreja amb aigua freda per a l'ús personal. Hi ha models de calderes que compten amb una resistència elèctrica que escalfa l'aigua en cas que la incidència de rajos solars amb el col·lector sigui nul·la durant diverses hores.

5.5.4.3. L'intercanviador de calor: és l'element clau per l'escalfament de l'aigua de dins la caldera. Es tracta d'un circuit tancat per on hi circula un fluid que s'escalfa, i en arribar al termoacumulador irradia molta calor a causa de l'elevada temperatura que el col·lector li ha aportat. Aleshores transmet la calor a l'aigua continguda a la caldera i l'escalfa fins que surt freda pel tub de l'extrem inferior de la instal·lació.

Hi ha dos altres aparells connectats al circuit del col·lector solar en direcció a l'acumulador: una vàlvula just abans de la caldera que purga l'aire i garanteix el flux constant del medi; i una clau de buidat al peu de l'acumulador.

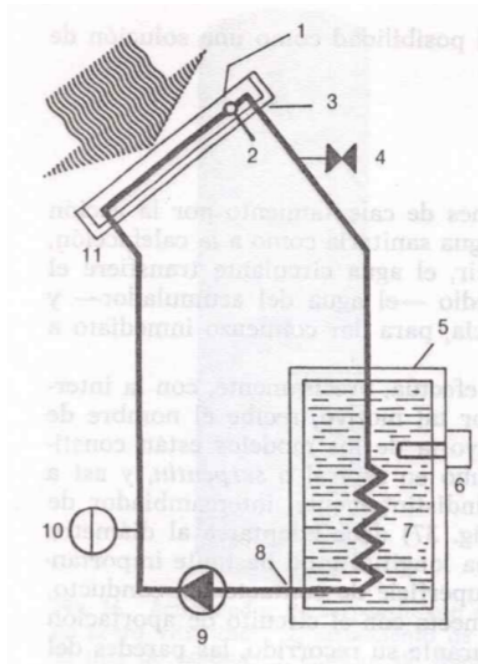


Figura 18. Circuit primari: 1. col·lector; 2. termòstat; 3. sortida d'aigua calenta; 4. vàlvula purgadora d'aire; 5. acumulador; 6. intercanviador de calor; 7. resistència elèctrica; 8. boca de sortida; 9. bomba acceleradora; 10. dipòsit d'expansió; 11. entrada d'aigua freda al col·lector. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

5.5.4.4. Funcionament i temperatura: s'estima que la temperatura emmagatzemada als acumuladors augmenta dels 10 als 55°C en unes 8 hores amb màxima insolació; mentre que durant les 16 hores de menor o nul·la incidència solar, la temperatura disminueix uns 10°C. Per tant, si no es consumeix el líquid retingut ja escalfat, durant el següent període solar la temperatura arriba als 90°C i s'acumula la calor successivament.

5.5.5. **Connexió dels col·lectors:** la majoria de plaques solars solen mesurar entre 1,5 i 2 m² -excepte les de cautxú que acostumen a ser més extenses- per tant, cal connectar-les entre sí. A més, resulta més pràctic empalmar-ne diverses de petites que instal·lar-ne una de més grossa, bàsicament per l'elevat pes que suposa i el difícil transport fins el punt de la instal·lació. I són possibles dues connexions diferents entre els mòduls: en sèrie i en paral·lel; ambdues solen basar-se en la unió mitjançant el sistema Amcor que minimitza l'ús de tubs i per tant, de possibles fuites o avaries. Aquesta

tecnologia consisteix en connectar amb ràcords l'entrada i la sortida superiors de cada placa, a més de connectar-les per parelles a la seva sortida inferior. El sistema consta també d'un purgador d'aire a l'última placa i un tap a l'orifici superior de la primera.

- 5.5.5.1. Connexions en sèrie: es connecta el tub de sortida d'un col·lector amb el d'entrada del següent, i l'últim i el primer s'empalmen al tub conductor de l'acumulador. En aquest tipus d'instal·lacions el medi que circula pel sistema augmenta la temperatura a mesura que travessa cada col·lector. I com a inconvenient existeix la possibilitat que cada col·lector es trobi a una temperatura lleugerament diferent, fet que dificulta l'adequat funcionament d'escalfament del medi, per tant cal instal·lar una bomba que propulsi l'aigua uniformement pel circuit.

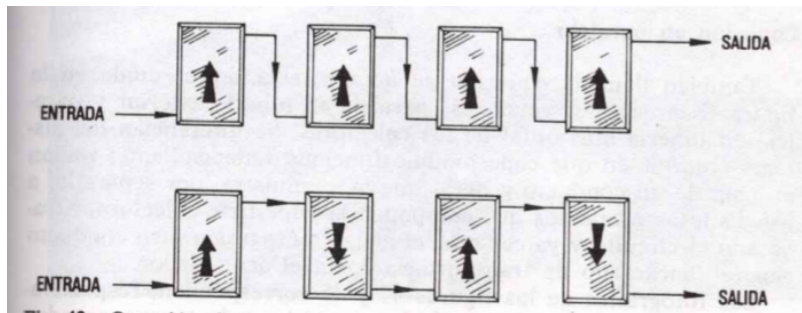


Figura 19. Superior: connexió en sèrie de col·lectors. Inferior: connexió en sèries invertides de col·lectors. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

- 5.5.5.2. Connexions en paral·lel o en bateria: cada col·lector es connecta individualment a un tub general per on entra el medi fred i a un altre conducte on s'aboca el medi escalfat. Per tant, cada placa treballa pel seu compte i la producció l'aporten a un conducte general comú.

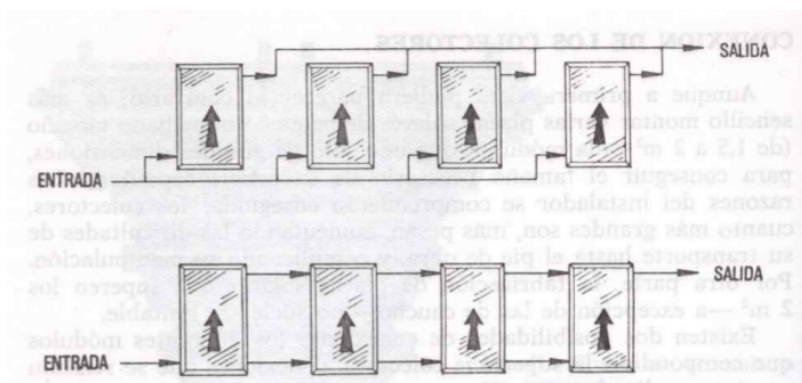


Figura 20. Superior: connexió paral·lela de col·lectors amb tubs exteriors. Inferior: connexió paral·lela de col·lectors amb tubs horitzontals. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

- 5.5.6. **Orientació dels col·lectors:** Donat que l'aprofitament òptim de la radiació solar es dona quan la placa rep el feix de rajos perpendicularment, en habitatges d'ús estival convé inclinar les plaques uns 15° menys de la latitud geogràfica de la situació. I en primeres residències, l'orientació recomanada és cap al sud i uns 10 o 15° més de la latitud per maximitzar el rendiment els mesos freds. En el cas de Caldes de Montbui que es troba a una latitud de $41^\circ 39'$, la inclinació per a plaques a l'estiu seria de $26^\circ 39'$, i durant tot l'any d'uns $51^\circ 39'$.
- 5.6. **Disposició del conjunt de plaques solars:** hi ha 3 opcions en funció de si s'instal·len abans, després o independentment de l'habitatge.
- 5.6.1. **Col·lectors integrats a l'edifici:** es munten al mateix temps que l'edifici i es tenen en compte tant les condicions meteorològiques com l'òptima incorporació segons el disseny de la construcció. Acostumen a reemplaçar part de la teulada, i en cas de constar d'una capa gruixuda d'aïllant podrien substituir alguna paret.
- 5.6.2. **Col·lectors sobreposats:** s'adossen a parets o teulades ja construïdes, s'orienten cap al sud o sud-est i a l'hivern s'obté el seu millor rendiment, essent l'estiu el període de menys rendibilitat a causa de la seva instal·lació en posició vertical. D'aquesta manera, també se'n redueix el manteniment ja que no es diposita tanta pols a sobre del vidre del col·lector.
- La posició obliqua també és freqüent en aquest tipus de muntatges a les teulades, i donada la fragilitat de les teules, s'acostumen a utilitzar plaques de cautxú per la seva lleugeresa característica. Un inconvenient d'aquest muntatge sobreposat és la humitat que poden produir les plaques i les dues maneres més senzilles, pràctiques i econòmiques d'evitar-ho són o afegir una gruixuda capa de material aïllant a sota les teules que a més també ajuda a combatre els bruscs canvis de temperatura i el soroll exterior. O bé instal·lar els col·lectors damunt d'un suport d'acer galvanitzat amb una capa

de neoprè collats a la teulada, de manera que queda un espai entre la placa i les teules i s'evita la humitat.

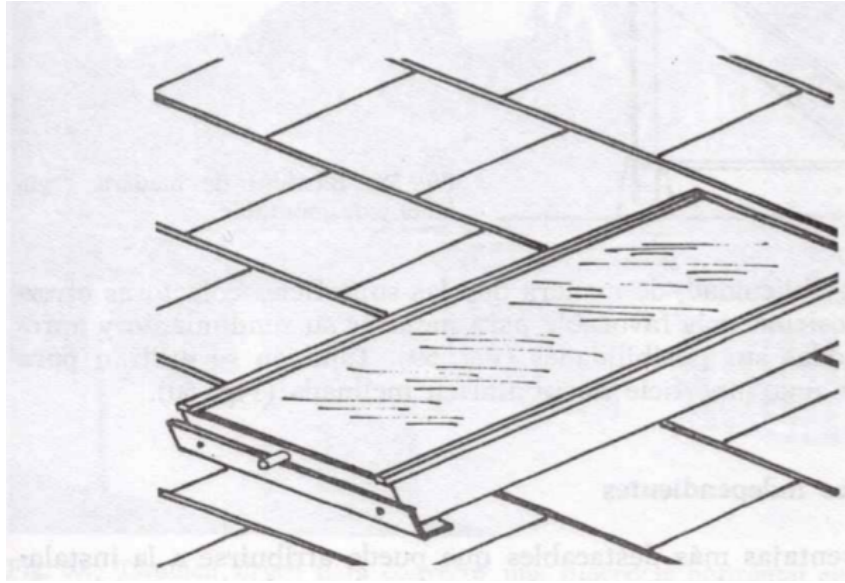


Figura 21. Peça de subjecció dels panells a la teulada o en superfícies inclinades. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

Cal destacar que en teulades planes s'adopta un sistema d'inclinació forçat per aconseguir la pendent obliqua dels col·lectors, que es basa en elevar la part superior de les plaques amb un suport triangular fix o desmontable.

5.6.3. **Col·lectors independents:** són conjunts de plaques situades a prop de la casa o la piscina que ofereixen l'avantatge de poder-se situar a la zona idònia i de major insolació, ja que no han d'instal·lar-se forçosament a la teulada o la façana ja construïdes. Conseqüentment, el seu ús sol ser per a dutxes exteriors, per escalfar l'aigua de la piscina o altres funcions que no requereixen el transport de l'aigua escalfada donat que la temperatura disminueix al llarg del recorregut.

En aquest tipus de disposició, els col·lectors s'instal·len individualment i cadascun dota del seu acumulador, de manera que no es requereix una bomba que impulsi l'aigua pel circuit, ja que la diferència de temperatura al propi circuit ja permet l'adequada fluïdesa del medi que sol ser aigua.

5.7. **Fixació:** Com que els col·lectors solen instal·lar-se en posicions verticals o obliqües, es requereix una acurada fixació del sistema. Les bastides o

escaires triangulars fets d'un material anticorrosiu com l'acer galvanitzat en són l'element estructural. Una fina làmina de neoprè o cautxú fa d'amortiguador amb el col·lector i finalment els cargols de rosca i contrarosca l'uneixen a la superfície base.

- 5.8. **Estany solar:** és un sistema d'origen israelí i es basa en una extensa superfície d'aigua coberta per una capa de plàstic transparent on hi incideixen els rajos solars; així, l'aigua s'escalfa més ràpidament i a una temperatura superior. En conclusió, resulta ser un col·lector solar més econòmic que no requereix plaques, tot i que les temperatures obtingudes no són gaire elevades.
- 5.9. **Col·lectors heliovoltaics o fotovoltaics:** van néixer prop del 1954 al Departament d'Investigació dels Laboratoris Bell als Estats Units, la seva funció és aprofitar les propietats dels materials de construcció dels col·lectors per convertir l'energia solar en electricitat de manera directa.
- 5.9.1. **La cèl·lula solar:** és una placa de silici cristal·lí de 0,4 a 0,5 mm de gruix i entre 80 i 120 mm d'amplada amb forma circular o quadrangular. Tot i que a l'inici aquest material només rendia un 4%, a principis del segle XXI ja s'arribà al 20% en afegir-hi bor i arsènic.
- 5.9.2. **Funcionament:** la radiació solar incident provoca un moviment dels electrons de la capa de silici de manera que cada àtom emet un electró a la capa de bor i seguidament els anions de bor capten un electró de la capa d'arsènic. D'aquesta manera, s'aconsegueix una diferència de càrregues entre les diverses capes: el corrent elèctric; i s'obté una tensió de mig volt per 18 mA/cm². Aquest sistema està pràcticament exempt de manteniment i la seva vida és gairebé infinita, a més l'energia generada pot ser utilitzada en molts àmbits, des del funcionament d'un motor o una bomba fins a l'abastiment de les necessitats energètiques d'una autocaravana.
- 5.9.3. **Mòduls fotovoltaics:** els col·lectors heliovoltaics solen agrupar-se en 34 o 36 unitats amb connexions en sèrie o paral·lel que augmenten el seu rendiment. Estan formats per una làmina finíssima de silici, bor i arsènic coberts per un vidre templat que crea un espai hermètic i minimitza les fuites energètiques a més de protegir el col·lector de fenòmens naturals.

L'altra banda de la placa i el marc de la mateixa es cobreixen amb una capa fina d'alumini i s'asseguren les juntes amb una silicona per exteriors.

Es caracteritzen per la seva morfologia minimalista: el gruix total d'un d'aquests col·lectors fotovoltaics es troba al voltant dels 38 mm que comporta una destacable lleugeresa, doncs una placa d'uns 44 cm² i 38.5 mm de gruix pesa només 6,5 kg.

5.10. **Complements per a la instal·lació fotovoltaica**: hi ha dos accessoris fonamentals per garantir el bon funcionament de la instal·lació així com per assegurar-ne la perdurabilitat en el temps.

5.10.1. **Regulador de càrrega**: protegeix la bateria de possibles sobrecàrregues regulant-ne la seva tensió.

5.10.2. **Desconnectador de càrrega**: és un aparell que desconnecta la bateria si la seva càrrega descendeix notablement i evita així, una pèrdua energètica més brusca.

6. TIPUS DE PLAQUES/COL·LECTORS/PANELLS SOLARS

Les plaques, col·lectors o panells solars són els elements de la instal·lació que transformen l'energia solar en energia útil, ja sigui per calefactar l'ambient, per escalfar l'aigua sanitària o bé per obtenir electricitat. Donada aquesta diferència de finalitat, es classifiquen en plaques solars o tèrmiques -per produir calor- i plaques fotovoltaïques (per generar electricitat).

6.1. **Plaques solars tèrmiques**: escalfen l'aigua que flueix pel circuit de tubs interior per ser utilitzada com a calefacció o bé com aigua calenta sanitària.

6.2. **Plaques fotovoltaïques**: transformen l'energia solar en tensió o corrent elèctric. El mecanisme s'inicia al conjunt enllaçat de cèl·lules fotovoltaïques de l'interior del mòdul en transformar els fotons de la radiació solar en energia elèctrica mitjançant l'efecte fotovoltaic. A més, depenent de la tecnologia de fabricació de la placa, es classifiquen en 3 subgrups:

6.2.1. **Monocristal·lines**: es componen de cèl·lules monocristal·lines en forma de quadrilàter arrodonit formades generalment per silici pur, de manera que els àtoms del cristall de silici estan molt alineats i aquesta estructura millora el rendiment del mòdul. Es caracteritzen pel seu color fosc, pràcticament negre i tot i ser les plaques més cares, el seu rendiment superior a les policristal·lines compensa la despesa inicial.

6.2.2. **Policristal·lines:** estan formades per blocs de silici compostos se diminuts cristalls de silici, per tant no són cristalls tan purs ni ben alineats, per tant, el seu rendiment és inferior al de les monocristal·lines. Si bé és cert que són més econòmiques que el primer tipus, cal destacar que el seu rendiment és inferior, de manera que a llarg termini no compensa l'estalvi inicial.

Les plaques fotovoltaïques també es classifiquen segons el seu voltatge:

6.2.3. **12 Volts:** són panells de dimensions reduïdes emprades per satisfer necessitats molt concretes.

6.2.4. **24 Volts:** són el tipus de plaques més comunes i utilitzades actualment.

6.2.5. **De connexió a la xarxa:** s'utilitzen en grans infraestructures com ara en horts solars o edificis industrials i residencials d'autoconsum. No requereixen bateries per emmagatzemar l'energia ja que permeten el consum directe, tot i que necessiten un regulador MPPT capaç de transformar en 12, 24 o 48 V qualsevol tensió que rebí.

A més, calen tenir en compte un seguit de paràmetres per determinar l'eficiència de les plaques i per triar el tipus que més s'adapti a les necessitats:

- Potència nominal (P_{nom}): és la potència pic màxima aconseguida en les condicions perfectes de radiació i temperatura. Exemple: [420W].
- Tolerància de potència: és la potència pic real de la placa expressada en percentatge o en Watts. Exemple: [+5/0%].
- Eficiència del panell: relació entre la potència elèctrica del panell i la potència incident de radiació solar. Exemple: [23'1%].
- Tensió màxima potència (V_{mpp}): tensió generada pel panell en treballar a la màxima potència. Exemple: [76'89V].
- Corrent màxima potència (I_{mpp}): corrent generat pel panell en treballar a la màxima potència. Exemple: [5'44A].
- Tensió circuit obert (VOC): màxima tensió que pot oferir el panell en actuar com a generador. Exemple: [82'53V].
- Corrent de curtcircuit (ISC): valor del corrent que circula per tensió = 0. Màxim corrent obtingut en una situació ideal de la placa actuant com a generador. Exemple: [5'79A].
- Coeficient de temperatura: percentatge de pèrdua de temperatura per cada °C superior als 25°C que treballa el panell. Exemple: [-0,18%/°C].

Les plaques fotovoltaïques també es poden agrupar en base al nombre de cèl·lules solars enllaçades en sèrie que contenen:

- 6.2.6. **36 cèl·lules:** treballen amb bateries de 12V a una potència de 150W.
 - 6.2.7. **60 cèl·lules o 120 mitges cèl·lules:** també anomenades plaques de 24V, treballen entre 320 i 340 W i s'utilitzen per a l'autoconsum.
 - 6.2.8. **72 cèl·lules o 144 mitges cèl·lules:** carreguen bateries de 24V i la seva potència oscil·la entre els 385 i els 415W.
 - 6.2.9. **Shingle shells:** el nombre de cèl·lules pot variar ja que es tallen en forma de teula i s'uneixen per treballar com una cèl·lula de grans dimensions.
 - 6.2.10. **Mitja cèl·lula o cèl·lules tallades:** són cèl·lules tallades en dues parts i unides en sèrie, que es poden enllaçar evitant zones ombrívols i així oferir un millor rendiment. Tanmateix, tenen elevades possibilitats d'avarar-se a causa de la pròpia unió.
- 6.3. **Panells solars híbrids:** combinen el sistema tèrmic i el fotovoltaic. Per una banda, l'energia solar fotovoltaica s'obté amb la captació de la radiació solar; i per l'altra banda, la calor tèrmica que el primer sistema no pot emmagatzemar s'aprofita amb un intercanviador de calor. Per tant, els panells solars híbrids generen calor i electricitat simultàniament.
- 6.4. **Panells solars de silici amorf o de capa fina:** es formen amb silici amorf, de menor qualitat que el silici cristal·lí, propi dels panells monocristal·lins i policristal·lins, per tant, el seu rendiment és el més baix dels quatre tipus exposats fins el moment. Resulten eficients pels sistemes de bombeig solar ja que treballen en un rang de tensió molt extens, abarçant des de baixos voltatges fins a dotzenes de volts. Un aspecte molt favorable és el respecte mediambiental que suposa aquesta tecnologia, ja que prescindeix de metalls tòxics com el plom i el cadmi. El seu aspecte és compacte, quadrangular i fosc, i no permet diferenciar les cèl·lules solars com en els panells de silici cristal·lí.
- 6.5. **Panells solars flexibles:** es caracteritzen per constar d'un marc resistent que enquadra l'estructura i per utilitzar polímers que els donen certa flexibilitat. Per

la seva construcció cal emprar cèl·lules flexibles per evitar microrrotures en doblegar-la.

A part de la classificació segons la finalitat o tecnologia dels panells, també es poden agrupar segons l'aplicació que se'ls dona:

- 6.6. **Panells solars per l'autoconsum i els habitatges**: són les plaques fotovoltaïques policristal·lines o monocristal·lines estàndard amb potències compreses entre els 300 i els 400W. Les dimensions no solen superar els 1'7x1 metres o les 60 cèl·lules ja que aquesta mida permet un millor aprofitament de l'espai disponible als habitatges. I en cas d'edificis industrials són freqüents els panells de 2x1 metres o 72 cèl·lules ja que es disposa de major superfície per instal·lar-les.
- 6.7. **Panells solars per furgonetes i autocaravanes**: són panells de 12V que carreguen la bateria quan el vehicle està parat i així garanteixen les necessitats energètiques en hores de poca o nul·la insolació.
- 6.8. **Maxeon 5 AC**: independentment de les classificacions exposades és essencial destacar els panells solars fotovoltaïcs SunPower *Maxeon 5 AC*, una nova tecnologia de la mà de la companyia singapuresa Maxeon Solar Technologies que supera el rendiment de qualsevol altre tipus de col·lector ja existent. La seva nova proposta es caracteritza per la integració d'un microinversor Enphase a cada panell solar que transforma el corrent continu dels mòduls en el corrent altern necessari pel consum. Seguidament s'analitzen algunes característiques de la tecnologia *Maxeon 5 AC*:
 - 6.8.1. **Rendiment**: SunPower garanteix un augment del 50% durant 25 anys de la producció energètica del sistema respecte a les instal·lacions convencionals. Donat que l'estructura dels panells Maxeon situa les connexions elèctriques al revers i prescindeix d'un marc, el 100% de la part frontal de la placa capta les radiacions solars fet que augmenta el rendiment de la superfície que treballa. A més, la potència dels panells oscil·la entre els 400 i els 420W i l'eficiència se situa al voltant del 22% respecte al 19% que ofereixen les plaques convencionals.

Cal destacar la funció dels microinversors individuals, que converteixen el corrent continu generat pels panells en corrent altern per consumir; doncs redueixen les pèrdues del sistema i el risc d'incendi degut al sistema d'apagat ràpid. A més, atès que per començar a produir energia només necessiten 22V de corrent continu, les hores productives augmenten ja que amb els primers rajos del matí inicia la producció que es prolonga fins el vespre.

6.8.2. **Productivitat:** les cèl·lules que componen aquests mòduls capten un rang de freqüències més ampli, sobretot de tons blaus i vermells, així, la producció en dies de poca insolació augmenta considerablement respecte als panells convencionals. Conseqüentment, la durabilitat es prolonga fins els 40 anys de garantia vers els 25 o 30 que ofereixen altres models.

6.8.3. **Garanties:** la vida útil estimada dels panells és de 40 anys però la garantia cobreix fins els 25 i la producció energètica és un 35% superior als panells usuals ja que segueix generant energia quan hi ha poca insolació o temperatures superiors als 25°C. A més, la potència garantida els primers 12 mesos és del 98%, la disminució anual és del 0'25% i la potència garantida el 25è any és del 92%.

6.8.4. **Connexió de l'inversor:** normalment els mòduls fotovoltaics es connecten en sèrie i a un únic inversor de corrent continu a altern que treballa a elevades tensions perjudicials pels elements del conjunt. Tanmateix, la tecnologia *Maxeon 5 AC* ofereix un microinversor Enphase per cada panell.

Amb aquest sistema les pèrdues energètiques es redueixen notablement ja que els mòduls funcionen i produeixen individualment, i en cas d'avaría el rendiment del sistema no s'adapta a la producció més baixa, sinó que un panell deixa de funcionar, mentre que la resta continuen amb normalitat. Per tant, la capacitat de producció del sistema *Maxeon* és força superior al sistema convencional *String*, i *Maxeon Solar Technologies* aproxima la producció de 15 panells *Maxeon 5 AC* a 20 de convencionals.

6.8.5. **Aplicació de seguiment sincronitzada:** aquesta tecnologia també ofereix un sistema de monitorització individual dels mòduls per conèixer-ne el funcionament en directe, així com les dades mediambientals i energètiques.

A més, els microinversors disposen d'una aplicació que ofereix els valors de producció individuals i del sistema de manera instantània.

- 6.8.6. **Assistència tècnica digital:** la tecnologia també disposa d'una connexió en directe amb l'empresa instal·ladora que informa sobre el funcionament del sistema i els possibles desajustos o problemes tècnics, així es detecten ràpidament i es poden conèixer telemàticament evitant desplaçaments innecessaris.

7. PRINCIPALS APLICACIONS DOMÈSTIQUES

- 7.1. **Energia solar en un habitatge:** l'energia obtinguda amb els col·lectors solars s'empra principalment per calefactar o refredar l'ambient de l'habitatge, per escalfar l'aigua calenta sanitària, per abastir les necessitats de la cuina incloent-hi els forns solars, per convertir-la en electricitat i per climatitzar piscines.

- 7.2. **Aigua calenta sanitària (ACS):** és l'aplicació fonamental i més bàsica de l'energia generada amb plaques solars i inclou el consum de l'aigua al bany i a la cuina. Requereix un panell solar amb el seu termoacumulador i un circuit distribuïdor de l'aigua arreu de l'habitatge, i en funció del tipus de circulació de l'aigua es consideren dues instal·lacions:

- 7.2.1. **Per termosifó:** l'aigua continguda en un dipòsit s'escalfa per l'extrem inferior, de manera que la de sota s'escalfa primer i com que és menys densa que la freda que es troba a la part superior, se'n genera un corrent ja que la calenta puja i la freda descendeix per densitat. A més, depenent de la disposició dels tubs de circulació de l'aigua, es diferencien dos tipus de circuits:

- 7.2.1.1. **Obert:** el col·lector solar es connecta pels dos extrems amb l'escalfador que conté l'aigua, així, la calor generada per la placa escalfa l'aigua que flueix pel tub que la travessa i aleshores és transportada a la part superior del dipòsit on s'inicia de nou el recorregut.

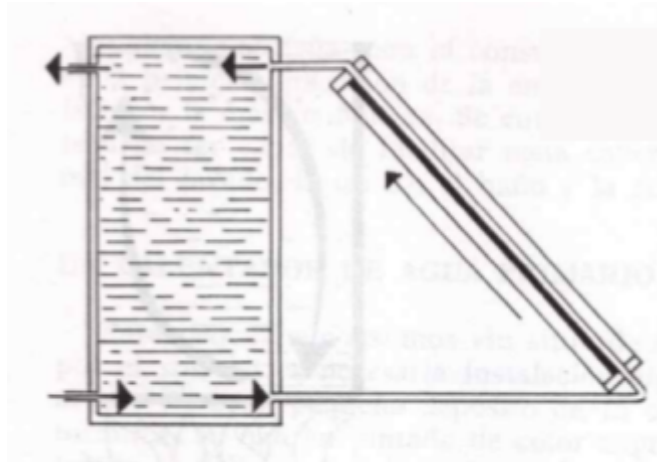


Figura 22. Esquema d'un sistema elemental d'escalfador solar d'aigua per ús domèstic. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

Aquest tipus de circuit presenta l'inconvenient de produir canvis bruscs de temperatura en utilitzar un considerable volum d'aigua calenta de cop. Per aquest motiu s'inclouen diverses vàlvules al llarg del sistema que garanteixen un rendiment adequat. Una de les vàlvules se situa a l'entrada d'aigua de l'acumulador, que només permet el pas de la que està suficientment calenta; una altra es troba dins l'acumulador per regular l'entrada de l'aigua freda al col·lector; i una tercera a l'entrada d'aigua general del circuit que regula el pas d'aigua segons la que es consumeix. També s'afegeix una connexió a la part superior de l'acumulador que condueix un possible excedent d'aigua cap a un petit dipòsit més elevat.

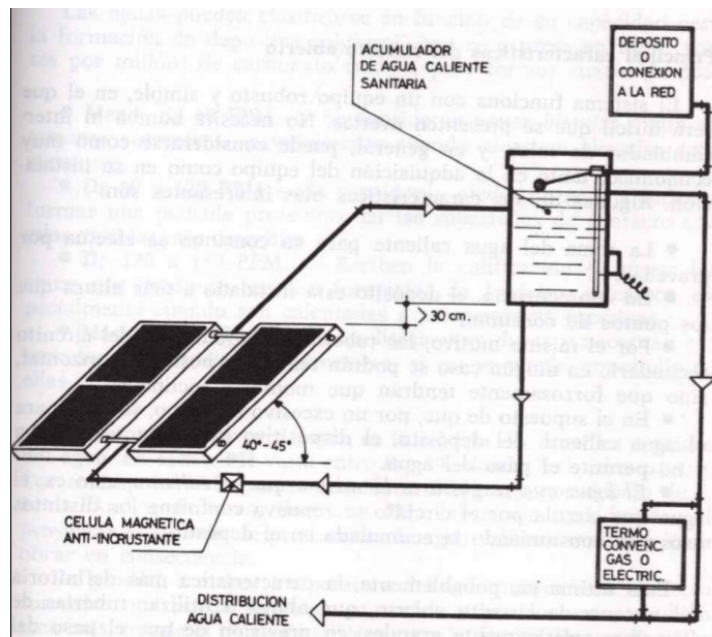


Figura 23. Esquema d'un sistema solar d'aigua calenta en circuit obert mitjançant el termosifó. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

7.2.1.1.1. Característiques: és un sistema senzill amb reduïdes possibilitats de fuites o avaries en evitar elements complexos i entroncaments innecessaris, i algunes de les seves peculiaritats són: la regulació de l'entrada d'aigua calenta per gravetat (per tant, l'acumulador s'instal·la almenys 30 cm més elevat que els col·lectors), la inclinació de les canonades, el bloqueig automàtic de l'entrada d'aigua en cas de no consumir l'escalfada i el total aprofitament de l'aigua calenta, ja que només s'escalfa la en proporció de la consumida. Tanmateix, un inconvenient que presenten és la facilitat de generar incrustacions de calç al sistema a causa de la constant circulació d'aigua amb carbonat càlcic. Per aquest motiu, a l'entrada de la placa s'instal·la una cèl·lula magnètica antiincrustant.

Abans de muntar un sistema per termosifó i obert, cal analitzar la duresa de l'aigua, que augmenta segons el contingut de carbonat càlcic; i també el PH, que d'un rang entre 0 i 14 es considera per sota de 7 aigua alcalina i per sobre, àcida. Per tant, convé que l'aigua sigui tova i alcalina per evitar incrustacions de calç al circuit, sinó, convé mantenir la temperatura de l'aigua que flueix per sota els 60°C.

7.2.1.2. Tancat: l'aigua s'escalfa indirectament ja que l'aigua que flueix pel circuit i la de consum domèstic no es barregen ni estan en contacte directe. El seu funcionament es basa en escalfar l'aigua que circula pel circuit de dins la placa i un cop arriba a la màxima temperatura, es condueix cap al tub en forma de serpentí de dins l'intercanviador que conté l'aigua que cal escalfar. La calor que desprèn el serpentí escalfa l'aigua de l'acumulador i la de dins el circuit torna a iniciar el recorregut cap al col·lector.

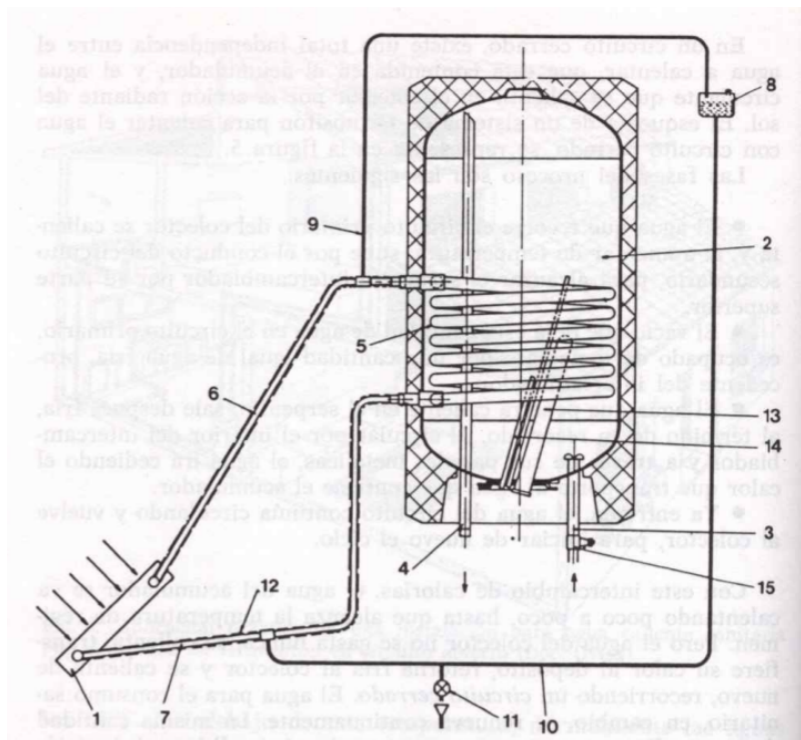


Figura 24. Equip complet d'escalfament d'aigua calenta en circuit tancar i termosifó: 1. panell solar; 2. dipòsit d'acumulació; 3. tub d'entrada al dipòsit; 4. tub de sortida de l'aigua calenta del dipòsit; 5. serpentí intercanviador; 6. tub de connexió del panell amb el serpentí; 7. tub de retorn; 8. dipòsit de càrrega i expansió; 9. tub d'expulsió de l'aire; 10. tub de càrrega de fluid transmissor; 11. aixeta de buidat del fluid transmissor; 12. aïllament tèrmic; 13. resistència elèctrica auxiliar; 14. termòstat elèctric; 15. vàlvula de retenció, de seguretat i clau de buidat. (Font: *Monografias de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

7.2.1.2.1. Instal·lació: En aquest tipus de muntatges també és necessari situar l'acumulador més amunt dels col·lectors, al menys 60 cm i a

diferència de l'obert, convé afegir líquid anticongelant a l'aigua del circuit tancat per evitar que es glaci a l'hivern. Endemés, el circuit requereix una supervisió periòdica i un afegiment de líquid antioxidant i antiincrustant, raó per la qual és més car que un sistema de circuit obert però més eficient.

7.2.1.2.2. Accessoris: és necessària la instal·lació d'alguns elements al circuit per optimitzar-ne el rendiment. En primer lloc, un termòstat elèctric que controla la temperatura de l'aigua continguda a l'acumulador i acciona la resistència en cas que la temperatura sigui massa baixa o la desconnecta en cas contrari. Segonament, cal una resistència elèctrica d'entre 0,5 i 2,5 kW que escalfi l'aigua de l'acumulador en cas que sigui necessari. En tercer lloc, s'afegeixen diversos gots d'expansió o dilatació que controlen la pressió de l'aigua que flueix pel circuit. I finalment s'afegeix una vàlvula de seguretat que regula la pressió general del sistema.

7.2.2. **Circuit amb bomba d'alimentació**: aquest sistema es basa en la mateixa instal·lació que el sistema de circulació per termosifó de circuit tancat, però amb una bomba que impulsa i augmenta la circulació de l'aigua. D'aquesta manera es solucionen 3 inconvenients que presenta la circulació per termosifó: la lentitud d'escalfament de l'aigua, la col·locació de l'acumulador (que no cal que sigui per damunt dels col·lectors) i la posició dels tubs (que pot ser horitzontal).

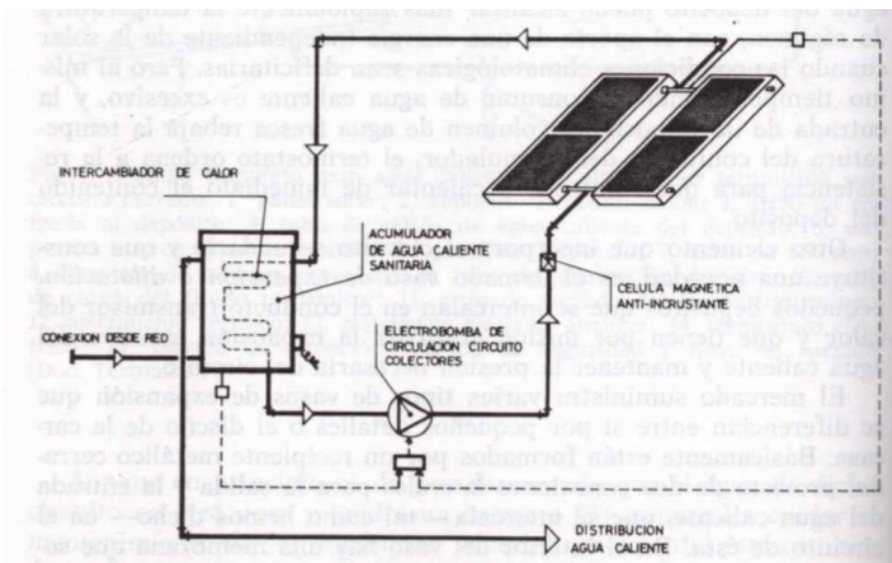


Figura 25. Equip d'aigua calenta sanitària amb serpentí intercanviador i electrobomba. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

- 7.2.2.1. La bomba de circulació impulsora: se situa a la sortida de l'acumulador o intercanviador de calor, i impulsa de nou l'aigua freda que pràcticament ha perdut la seva inèrcia. Es recomanen bombes que permetin el pas d'aigua a 95°C i amb un rendiment mínim del 60%. A més, és recomanable inclinar la bomba uns 30° respecte al tub del circuit ja que impulsa l'aigua de manera més regular reduint així les turbulències i el soroll. Una família de 4 persones, proveïda d'un col·lector de 4 m² i un acumulador de 250 litres, necessita una bomba d'uns 20 V que impulsaria l'aigua a 1,25 m/s.

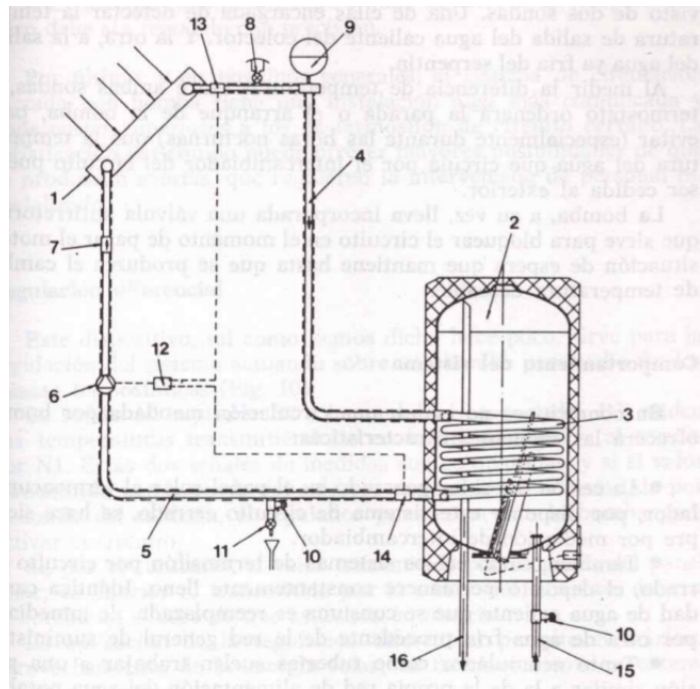


Figura 26. Sistema Termosol de circulació forçada per una bomba: 1. Panells solars; 2. Escalfador d'aigua; 3. Intercanviador tèrmic; 4. Tub de connexió del panell a l'intercanviador; 5. Tub de retorn; 6. Bomba de circulació; 7. Vàlvula de retenció; 8. Vàlvula de ventilació; 9. Dipòsit d'expansió; 10. Vàlvula de seguretat; 11. Aixeta de buidat; 12. Termòstat diferencial; 13 i 14. Sonda; 15. Tub d'entrada d'aigua freda; 16. Tub de sortida d'aigua calenta. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

7.2.2.2. Instal·lació: es basa en el mateix sistema que el de termosifó tancat però amb dues diferències principals. Per una banda, que el termòstat consta de dues sondes situades a la sortida d'aigua calenta del col·lector i a la sortida d'aigua freda del serpentí per indicar les respectives temperatures. Segons la diferència de temperatura, el termòstat acciona o para la bomba per no malgastar energia les hores de poca o nul·la insolació. I per altra banda, s'afegeix un nou element: la bomba, dotada d'una vàlvula que bloqueja el motor quan la temperatura de l'aigua és la desitjada.

Donades aquestes incorporacions al circuit, aquest sistema de circulació amb l'ajut d'una bomba requereix una instal·lació lleugerament més complexa, i conseqüentment, el preu de la instal·lació incrementa així com també augmenten les possibilitats d'avaries i fuites.

7.2.2.3. Temperatura de consum de l'aigua calenta: l'aigua de les aixetes sol situar-se entre els 20 i 25°, la de la dutxa entre 30 i 35°, mentre que al bany augmenta fins als 40°, i la de la cuina al voltant dels 60°. Cal tenir present que electrodomèstics com la rentadora o el rentaplats doten d'una resistència pròpia per escalfar l'aigua. Per tant, és suficient la instal·lació d'acumuladors que suportin els 120°, tot i que només treballin entre els 60 i els 90°.

7.2.2.4. Quantitat d'aigua consumida: s'aproxima el consum diari d'una persona als 70 litres, és a dir que en una família de 4 persones es requereix un acumulador d'uns 300 litres. Conseqüentment, la superfície de col·lectors requerida se situa al voltant dels 3 o 3,5 m². Cal destacar que es preferible instal·lar conjunts de menys de 10 m² de col·lectors ja que el preu a partir d'aquesta extensió augmenta exponencialment. En relació als acumuladors, és recomanable connectar-ne dos de 250 litres aproximadament, en lloc d'instal·lar-ne un de 500 litres o més. En aquesta casuística, la sortida d'aigua calenta es troba al segon acumulador que rep l'escalfada pel primer.

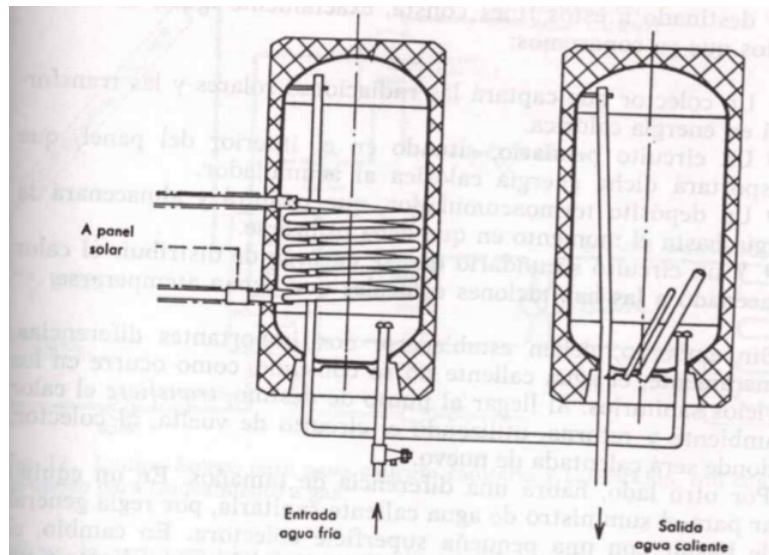


Figura 27. Dos acumuladors en bateria. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

7.3. **Calefacció solar:** el mecanisme d'obtenció de les radiacions solars mitjançant els col·lectors i la futura transformació en energia calòrica és molt similar al procés seguit en l'escalfament de l'aigua sanitària (ACS). El sistema es basa en una placa solar que transforma els rajos solars que hi incideixen en energia; un procés dut a terme mitjançant el circuit primari que circula pel seu interior, també encarregat de transportar l'aigua escalfada cap a l'acumulador tèrmic que l'emmagatzema. Endemés, consta d'un circuit secundari que reparteix la calor generada cap a les diverses estances on es requereix l'escalfor.

El sistema de producció d'ACS i el de calefacció solar es diferencien, en primer lloc, per les seves dimensions.

Donat que la despesa d'energia calòrica és molt superior a la d'aigua, cal una superfície més extensa de col·lectors solars que captin les radiacions així com un acumulador de major capacitat. La segona diferència notable és el principi de funcionament, que resulta lleugerament diferent respecte al de l'aigua calenta, doncs el medi escalfat no es consumeix sinó que actua com a mitjà per transferir l'escalfor a l'ambient. I la tercera distinció entre ambdós sistemes és que el d'aigua funciona tot l'any, mentre que el de calefacció es redueix a uns 5 mesos anuals segons la mitjana espanyola.

7.3.1. **Objectius calorífics:** cal conèixer la temperatura de la que es parteix en cada estança de l'habitatge i la que es vol aconseguir per saber la

producció de calor necessària. A termes generals, es considera que la temperatura ideal en un habitatge oscil·la entre els 20°C i els 22°C, tot i que depenen de l'estació de l'any i del confort desitjat pels residents.

- 7.3.2. **Funcionament del sistema:** el procés d'escalfor de l'ambient amb un circuit fonamentat en plaques solars tèrmiques es basa en la igualació de temperatura entre l'aigua calenta dels tubs conductors del sistema i l'ambient. Donada aquesta tendència a igualar les temperatures, l'aigua del circuit desprèn calor a l'ambient que es transforma en energia calòrica. Conseqüentment, l'aire s'escalfa i l'aigua es refreda per iniciar de nou el cicle circulant per la placa.

Per tant, la calor específica de l'aigua (C_e): quantitat de calor necessària per augmentar 1°C la temperatura d'1kg del material en qüestió; és una dada essencial per saber l'energia necessària per escalfar l'aire ambiental. La C_e de l'aigua és 1 kcal/kg/°C i l'equivalència en watts és 1'163 Wh/kg/°C. Per exemple, un acumulador amb capacitat per a 300 litres d'aigua i amb diferencial de temperatura de 25°C entre l'aigua freda inicial i la calenta obtinguda desprèn 8722,5 Wh.

$$1,163 \text{ Wh/kg/}^\circ\text{C} \times 200 \text{ l} = 348,9 \text{ Wh}$$

$$348,9 \text{ Wh} \times 25^\circ\text{C} \Delta t = 8722,5 \text{ Wh}$$

D'aquesta manera es poden calcular de manera molt precisa les necessitats energètiques de l'espai d'estudi, malgrat que és laboriós obtenir-ne els valors.

- 7.3.3. **Dimensions de les plaques:** les dimensions depenen de la superfície de l'habitatge, ja que els metres quadrats de plaques solen representar entre un 20% i un 50% de l'extensió total que cal escalfar.

En funció de la ubicació de l'edifici es calculen les hores d'insolació aproximades així com el consum aproximat anual. En el cas de Caldes de Montbui (41'65° N, 2'15° E), s'aproxima el consum energètic per una superfície de 200 m² entre els 22050 i els 28000 kWh/any.

7.4. **Sistema de calefacció solar:**

- 7.4.1. **Activa:** aquest sistema es basa en la mateixa estructura i funcionament que els circuits que generen aigua calenta sanitària però en lloc de subministrar directament el fluid escalfat, aquest cedeix calor a l'ambient per temperar l'aire. Cal destacar que hi ha dos tipus de calefacció solar

activa en funció del fluid que circula, doncs pot ser aigua (el més freqüent) o aire. Ambdós parteixen d'una placa solar tèrmica que capta la radiació solar i escalfa el medi, tanmateix la distribució dels tubs conductors varia, ja que si s'utilitza aigua els conductes es disposen sota el terra i cedeixen la calor escalfant l'ambient en ordre ascendent; mentre que si el medi és aire, els tubs la cedeixen des del sostre, en ordre descendent.

7.4.1.1. Obtenció d'aigua calenta amb circuit tancat: consta dels mateixos elements que un circuit subministrador d'aigua calenta sanitària: un col·lector solar connectat a un acumulador; una bomba que impulsa el medi a escalfar; un circuit tancat de tubs que dirigeixen l'aigua; un dipòsit d'expansió que emmagatzema part de l'aire escalfat que ha augmentat de volum; un purgador i una o diverses vàlvules de seguretat.

7.4.1.2. Aplicació domèstica: es basa en la calefacció de terra radiant, la instal·lació de la qual es basa en disposar una capa de material que absorbeixi la humitat damunt el forjat del terra de l'edifici. Seguidament, un gruix considerable de material aïllant cobert per una altra capa de material antihumitat. A continuació es distribueix el tub conductor de l'aigua del circuit i es cobreix amb ciment, finalment hi ha la capa més externa: el paviment, que pot ser parquet, rajoles o el desitjat. Mitjançant aquesta instal·lació de calefacció per terra radiant, l'aire ambient s'escalfa quan l'aigua calenta que flueix pel tub transmet la calor al ciment i posteriorment al paviment i a l'ambient.

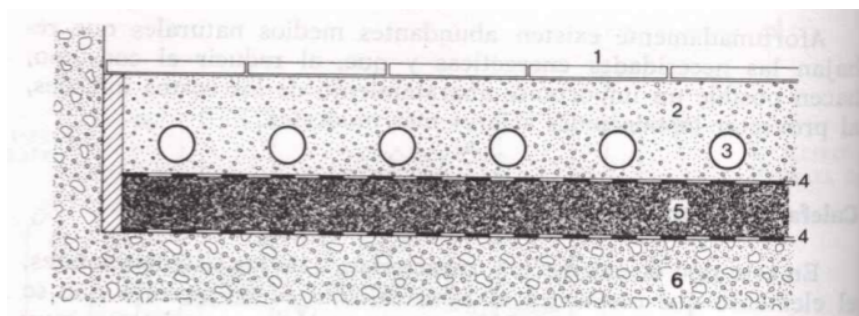


Figura 28. Secció d'una instal·lació de calefacció per terra radiant: 1. paviment; 2. morter; 3. tubs; 4. pel·lícula antihumitat; 5. aïllant; 6. forjat. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

D'aquesta manera, la temperatura al terra és d'uns 24°C i disminueix lleugerament fins als 20°C al sostre de l'estança.

Tot i l'escassa complexitat del circuit, cal destacar que aquest tipus de calefacció no produeix suficient energia calòrica com per escalfar un habitatge tot l'any, doncs és necessari un acumulador d'uns 6000 litres o bé un acumulador auxiliar alimentat amb electricitat.

7.4.2. **Passiva:** Com que els sistemes de calefacció activa requereixen equips de captació i costoses instal·lacions, es combinen amb medis passius de captació dels raigs solars per millorar-ne l'eficiència i economitza els costos de les instal·lacions. Aquests sistemes es divideixen en la calefacció passiva solar i l'aportació natural mitjançant elements no solars.

7.4.2.1. Calefacció passiva solar: consta de l'aprofitament dels raigs solars mitjançant finestres o parets de vidre, que es transformen en energia calòrica un cop travessen el vidre. Al territori espanyol, s'aproxima l'energia captada per metre quadrat de vidre ben orientat als 700 kWh, mentre que durant la tardor i l'hivern es redueix als 300 kWh. Hi ha certs factors que cal tenir en compte en construir aquests finestrals:

- Orientar-los cap al sud-est o sud-oest ja que a l'hivern reben insolació tot el dia mentre que a l'estiu només durant mig dia.
- Aconseguir l'hermeticitat de les unions dels finestrals per evitar pèrdues energètiques.
- Construir els finestrals de la major alçada possible per rebre els rajos solars durant el major temps possible al llarg del dia.

7.4.2.2. Optimització: també es recomana el doble o triple vidre per optimitzar l'aprofitament dels rajos incidents, així la finestra actua com una placa fotovoltaica plana i a més redueix les pèrdues energètiques durant les hores d'escassa o nul·la insolació dels 200 kWh als 75 kWh. Endemés, amb els esmentats sistemes de calefacció solar passiva es pot prescindir de la calefacció tant a principis de la tardor com la primavera. Doncs durant el dia les finestres permeten el pas de la calor, que retenen fins a 24 hores.

7.4.3. **Aportació de calor natural mitjançant elements no solars:** hi ha altres sistemes que no estan únicament relacionats amb l'aprofitament de la radiació solar però que també contribueixen en l'escalfor de l'habitatge.

- Components aïllants propis de l'estructura de l'edifici que retenen la calor dins el mateix, com ara materials aïllants a les parets i finestres, les persianes o els tendals.
- Altres elements que no només tenen una funció decorativa, com poden ser el color de la pintura de l'edifici (preferiblement blanca), els cels rasos, les cortines, les estores i catifes, el material dels mobles (preferentment de fusta), o bé el tipus de paviment com ara el parquet.
- L'aprofitament de la calor que desprenen alguns electrodomèstics, làmpades, la planxa, i fins i tot els habitants de l'edifici també són factors externs a l'aprofitament de l'energia solar que contribueixen a l'escalfament de l'interior de l'habitatge.

El correcte aprofitament d'aquestes aportacions de calor poden arribar a representar un 25% de l'escalfor necessària en un habitatge els mesos de fred moderat, i juntament amb el 50% que pot oferir la calefacció solar passiva, només cal generar al voltant d'un 25% de l'energia calorífica total requerida.

- 7.4.3.1. Hivernacles o jardins d'hivern: són estructures adossades a una de les parets de l'habitatge, construïdes amb suports de fusta tractada i envoltats de vidre, que alhora permeten guanyar espai habitable a l'edifici. Aquests tipus de jardins d'hivern solen desmuntar-se a l'estiu ja que no convé captar la calor exterior, però durant els mesos més freds acostumen a utilitzar-se com a menjadors o sales d'estar. Funcionen com a col·lectors solars ja que capten les radiacions lluminoses i les transfereixen a l'interior de l'hivernacle en forma d'energia calorífica, i a més, doten de la capacitat de mantenir la calor al seu interior durant força hores.
- 7.4.3.2. Hivernacle penjant o finestra jardí: és una versió reduïda dels jardins d'hivern construïda a les finestres o balcons, doncs consta de la mateixa estructura de fusta tractada i vidre però està separada entre 30 centímetres i un metre del vidre de la finestra. Així s'aconsegueix un espai d'aire enmig que s'escalfa amb la radiació solar i transmet la calor al mur de l'edifici que permet l'augment de temperatura de l'edifici a més de la plantació de vegetals.
- 7.4.3.3. Acumuladors a la façana: és un sistema emprat des de fa milions d'anys a Orient consistent en pintar les parets exteriors de color negre i

cobrir-les amb vidre, així s'absorbeixen més raigs solars i la calor es transmet constantment a l'interior de l'habitatge tot escalfant-lo.

7.5. **Climatització de piscines:** donat que l'ús de les piscines exteriors es fa a l'estiu, quan la insolació és més elevada, resulta molt convenient aprofitar-la per escalfar l'aigua mitjançant col·lectors solars.

7.5.1. **Necessitats calorífiques:** cal tenir en compte que la temperatura de les piscines exteriors els mesos d'estiu oscil·la entre els 17 i els 20°C al Vallès (la zona d'estudi) i la ideal se situa entre els 22 i 25°C, per tant les temperatures que cal aconseguir no són gaire elevades en comparació amb la requerida per l'escalfament de l'ambient de l'interior de l'habitatge. Endemés, aquests col·lectors solars també poden generar energia els dies nuvolats.

7.5.2. **Peculiaritats:** una característica pròpia d'aquesta instal·lació és la possibilitat de prescindir d'acumulador tèrmic, ja que la piscina ja realitza aquesta funció en retenir l'aigua escalfada, d'aquesta manera s'abarateix el cost del sistema. A més, també ofereix la possibilitat de combinar el circuit de subministrament d'aigua calenta amb el d'escalfament de la piscina, així s'evita la construcció d'un dels circuits.

7.5.3. **Orientació dels col·lectors:** cal buscar l'espai més proper a la piscina que rebí la major insolació possible durant l'estiu, cap al sud, que sol ser a la teulada de l'edifici o de la coberta de la depuradora de la piscina. L'extensió de plaques solars acostuma a representar al voltant del 50% de la superfície de la piscina si la orientació dels col·lectors rep força incidència solar. En cas d'orientar-se cap a l'oest, l'àrea de les plaques solars hauria d'equivaler al 75% de la superfície de la piscina; i les orientacions est o nord convé descartar-les.

7.5.4. **Tipus de circuit:** principalment hi ha dues instal·lacions possibles per a la climatització de piscines amb col·lectors solars:

7.5.4.1. **Circuit obert:** aprofita el bombeig de l'aigua de la piscina que circula per la depuradora per fer-la fluir per sota la placa, escalfar-la i tornar-la a la piscina. En aquesta instal·lació es requereix en primer lloc, una bomba a l'inici del circuit que impulsi l'aigua freda i en segon lloc, un termòstat que accioni el sistema quan convingui escalfar l'aigua si no s'encén la bomba manualment.

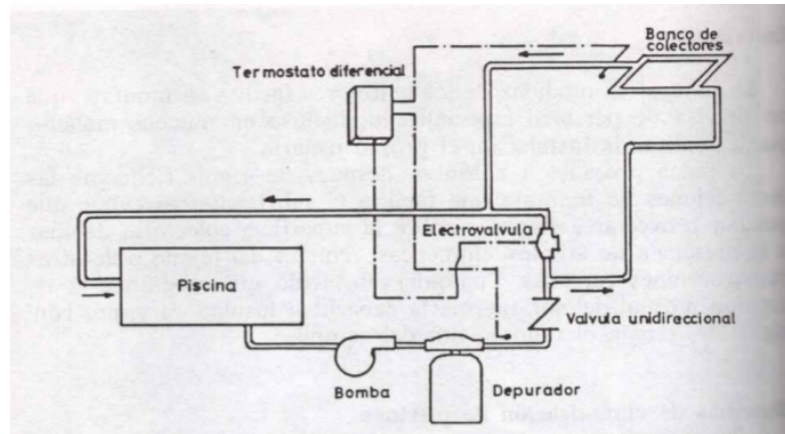


Figura 29. Esquema del circuit obert de la climatització d'una piscina.
(Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

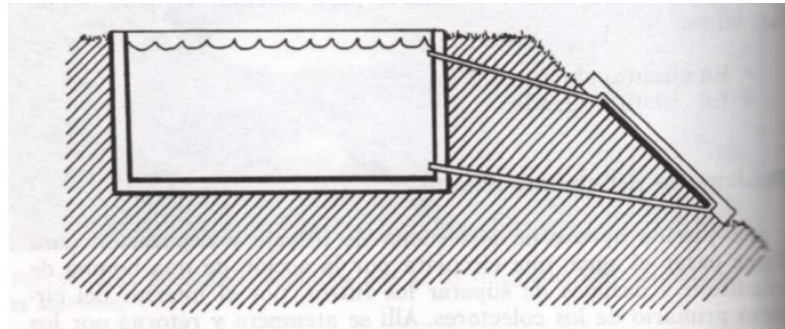


Figura 30. Circulació per termosifó de l'aigua escalfada als panells cap a la piscina. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

7.5.4.1.1. Instal·lació i manteniment: resulta ser un sistema força econòmic i senzill de muntar per diverses raons: només cal instal·lar un tub que circuli per la placa i torni l'aigua a la piscina, es pot afegir a una piscina ja construïda, pot desmuntar-se pel propi usuari un cop finalitzada la temporada d'estiu per augmentar la durada dels components del sistema, i les plaques poden ser de cautxú (de les més econòmiques) ja que no cal aconseguir una temperatura superior als 30°C a l'aigua abocada directament a la piscina.

Tanmateix, un inconvenient d'aquest sistema de climatització és l'elevada possibilitat de corrosió dels tubs en circular-hi l'aigua per l'interior. Per tant, es recomana que siguin de PVC o de polietilè, però atès que no són bons conductors de la calor com el coure, cal que

siguin d'un diàmetre major, al voltant dels 4 o 5 centímetres, per no disminuir la pèrdua de calories al llarg del recorregut.

7.5.4.2. Circuit tancat: l'aigua que circula pel sistema sempre és la mateixa. Primerament s'escalfa en passar per sota els col·lectors solars, i tot seguit pren forma de serpenti i travessa el termoacumulador ple d'aigua freda de la piscina on hi transfereix la calor. D'aquesta manera, l'aigua de la piscina s'escalfa gradualment fins que s'aconsegueix la temperatura desitjada. En aquest tipus de circuits les plaques també poden ser de plàstic o de cautxú, doncs la temperatura de funcionament no és gaire elevada.

7.5.4.3. Calor radiant: es basa en el mateix sistema que el terra radiant per calefactar l'ambient i és l'únic que escalfa l'aigua de la piscina uniformement. Considerant que la instal·lació es basa en distribuir el tub de coure del circuit en forma de serpenti al fons i a les parets de la piscina, aquest mecanisme d'aclimatació només pot ser instal·lat al mateix temps que es construeix la piscina.

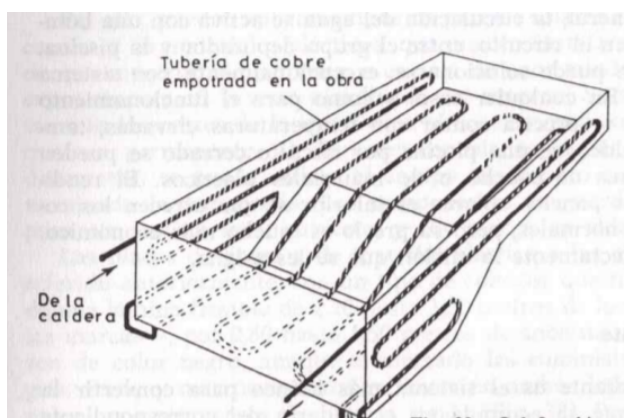


Figura 31. Circuit de calefacció radiant als fonaments d'una piscina. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas.* 25/08/2021)

7.5.4.3.1. Funcionament: com és habitual en l'aprofitament de l'energia solar, una placa absorbeix les radiacions solars i transfereix la calor a l'aigua que circula pel circuit tancat, que quan ja s'ha escalfat inicia el recorregut per les parets i el fons de la piscina on la calor és cedida al formigó i posteriorment a l'aigua.

7.5.4.3.2. Elements del sistema: els únics que es requereixen són una bomba a l'inici del circuit, i el tub que recorre les plaques solars. L'acumulador

no és necessari perquè l'aigua de la piscina ja retén la calenta, és a dir que té implícita la funció d'emmagatzematge.

- 7.5.4.3.3. Cost: cal destacar que aquest sistema és el que requereix una inversió inicial més elevada. Tanmateix, el seu rendiment és superior als altres, principalment per la mínima pèrdua de calories en el circuit.
 - 7.5.4.3.4. Possibilitat d'incloure una coberta: la construcció d'una coberta de plàstic a la piscina contribueix a reduir el 50% de pèrdues d'aigua i escalfor ja que evita la convecció, l'evaporació i la radiació. Per tant, és un complement que no requereix manteniment i contribueix a mantenir la calor generada pel circuit alimentat amb energia solar.
- 7.6. **Energia solar fotovoltaica**: es basa en la transformació de l'energia solar (captada pels col·lectors) en energia elèctrica mitjançant la conversió de corrent continu a altern, molt recomanable en construccions aïllades de la xarxa de subministrament de corrent.
- 7.6.1. **Bases de l'energia**: resulta fonamental conèixer l'estructura i els materials de la placa solar fotovoltaica per interpretar-ne el seu funcionament. Els elements que la componen es classifiquen en conductors, semiconductors i aïllants.
 - 7.6.1.1. Conductors: primerament cal mencionar els metalls conductors en estat cristal·lí, és a dir amb els àtoms perfectament ordenats dins el cristall i amb una força d'atracció màxima entre sí. Aquests enllaços forts són deguts a la compartició mútua dels electrons de la capa de valència entre els àtoms i del núvol que creen al seu voltant, de manera que es forma un conjunt resistent, cohesionat i bon conductor tèrmic i elèctric. Els electrons de l'última òrbita formen part de la capa de valència i pertanyen a la banda de conducció, doncs reben una energia superior a la que els correspon en estat fonamental. Aleshores s'exciten i poden circular lliurement pel núvol electrònic compartit del cristall, així, el metall esdevé un bon conductor del corrent elèctric.
 - 7.6.1.2. Semiconductors: en segon lloc, hi ha els materials semiconductors, el comportament dels quals ve determinat per la temperatura de l'ambient. Per una banda, poden actuar com a conductors si es sotmeten a temperatures elevades, fet que implica que els electrons de la banda de valència captin energia i pertanyin a la banda de conducció. Aleshores

poden conduir el corrent elèctric com els materials conductors. I per altra banda, poden actuar com a aïllants si es tracta d'elements que necessiten rebre molta energia a la capa de valència per excitar els electrons i que pertanyin a la banda de conducció per conduir el corrent elèctric.

En resum, els electrons dels materials conductors necessiten rebre poca energia per pertànyer a la banda de conducció i transportar el corrent; i els dels aïllants n'haurien de rebre tanta que mai arriben a establir connexió entre les bandes de valència i de conducció, de manera que no esdevenen conductors elèctrics ni tèrmics.

Quan un material semiconductor capta la radiació solar amb l'energia equivalent al diferencial entre les seves dues bandes, transfereix un electró de la banda de valència a la de conducció. Aquests materials es classifiquen en dos grups segons la seva puresa:

- 7.6.1.2.1. Intrínsecs: els semiconductors intrínsecs com el silici són purs.
- 7.6.1.2.2. Extrínsecs: i els semiconductors extrínsecs que tenen un baix percentatge d'impuresa. Els àtoms que els formen tendeixen a perdre i a captar electrons amb facilitat i s'anomenen dopats. Donada aquesta característica, la unió d'àtoms semiconductors extrínsecs genera una distribució asimètrica de càrregues dins l'àtom, i produeixen el potencial elèctric requerit per crear corrent elèctric. Segons el tipus d'impureses del semiconductor, es classifiquen en donadors o de tipus "n" si tendeixen a perdre electrons, i acceptors o de tipus "p" si solen captar-ne.

Per exemple, els cristalls de silici pur consten d'àtoms units a 4 altres, un enllaç per cada àtom de la capa de valència. En substituir un àtom de silici per un de fòsfor amb 5 electrons de valència, un d'aquests 5 electrons no queda unit, aleshores se separa del fòsfor amb el potencial aplicat a l'àtom i el conjunt esdevé un material semiconductor donador o de tipus "n".

- Efecte fotovoltaic: Un altre exemple pràctic és la unió del silici amb el bor, que té 3 electrons de valència, en enllaçar-se, el silici tindrà un electró desaparellat i es crearà un buit amb el bor. Conseqüentment, el buit serà ocupat per l'electró del costat i es crearà el buit al següent espai, de manera que es produeix una

inestabilitat de càrregues al conjunt que avança en direcció contrària als electrons que ocupen el buit. Aquesta successió de buits i electrons i la separació de càrregues generada pot unir-se amb un material conductor, i el conjunt, en absorbir la radiació electromagnètica crearà corrent elèctric al circuit. Aquest fenomen és l'efecte fotovoltaic.

- 7.6.2. **Transformació de radiació solar a corrent elèctric:** es duu a terme a la cel·la fotovoltaica composta per una fina làmina de material semiconductor, usualment formada per l'estructura cristal·lina de silici dopada amb bor i fòsfor exposada anteriorment. Mesuren uns 10x10 centímetres i oscil·len entre els 0'25 i 0'35 mil·límetres de gruix.

Quan els fotons de la radiació solar incideixen damunt de la cel·la, els electrons de tipus "n" repel·leixen els de tipus "p" i aquesta diferència de càrregues produeix el potencial elèctric a la unió.

En unir en sèrie un conjunt de cel·les fotovoltaïques amb el funcionament exposat, es creen mòduls fotovoltaïcs que generen l'energia elèctrica aprofitable.

- 7.6.3. **Mòduls fotovoltaïcs:** solen compondre's per 33 o 36 cel·les connectades en sèrie i ocupen una superfície de 0'5 a 1'2 m². En relació als materials, solen ser de silici monocristal·lí ja que ofereix un rendiment energètic d'un 16%, tot i que el silici policristal·lí amb un 13% de rendiment també s'utilitza força. A més, hi ha els de telur de cadmi; els d'arseniur de gali; els de diseleniur d'indi i coure; i els de silici amorf, que es descarten pel rendiment inferior al 10%. Referent al rendiment dels mòduls, la producció energètica indicada pel fabricant s'aconsegueix als 25°C i a 1000 W/m² de radiació solar, tot i que si s'incrementa la radiació, el rendiment també pot augmentar.

També consten de dues capes que protegeixen les cel·les de les inclemències meteorològiques, primerament un frontal de vidre antireflectant i molt resistent i seguidament una coberta de plàstic.

- 7.6.4. **Funcions dels mòduls:** les 3 tasques principals que desenvolupen són: transformar l'energia solar en energia elèctrica de manera directa i eficient, emmagatzemar l'energia sobrant produïda i conduir l'energia als consumidors. Per tant, es requereix un equip que possibiliti aquest sistema fotovoltaic productiu.

7.6.5. **Altres components del sistema fotovoltaic:**

7.6.5.1. Bateria o acumulador: emmagatzema l'energia elèctrica que generen els mòduls i difereix de les altres bateries pel seu funcionament de cicle profund. Les bateries pròpies dels sistemes fotovoltaics es caracteritzen per poder descarregar tota l'energia continguda durant moltes hores i de manera constant, sense haver de recarregar-se durant el procés. La bateria representa entre un 15 i un 20% del cost total del sistema, per tant, requereix un manteniment adequat i un controlador de càrrega. La temperatura idònia perquè rendeixi i es prolongui la seva vida útil és de 25°C, a temperatures inferiors la resistència interna augmenta i en conseqüència el voltatge de sortida també; i a temperatures superiors l'eficiència és més elevada i supera el 100% però la vida útil s'escurça radicalment.

7.6.5.1.1. Tipus de bateries: Els tipus de bateries més utilitzats en instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum són les de plom àcid amb electròlit gelificat, les de plom àcid amb electròlit líquid i les de liti més modernes, concretament les BYD.

- Bateries de liti: es caracteritzen per emmagatzemar l'energia solar en el període de més producció i menys consum per utilitzar-la les hores de menor insolació i a la nit, conseqüentment són força cares.
- Bateries estacionàries: són capaces de mantenir-se carregades un llarg període de temps i descarregar-se ràpidament en un pic de demanda, de manera que resulten útils per alimentar sistemes de consum ininterromput com ara senyalitzacions de trànsit o llums d'emergència.
- Bateries monoblock: s'instal·len en sistemes fotovoltaics aïllats de la xarxa de corrent, suporten condicions meteorològiques extremes i majoritàriament no emeten gasos contaminants a l'ambient.
- Bateries de gel: contenen diòxid de silici, un element que actua com a gelificant de l'electròlit, i que permet instal·lar aquestes bateries en qualsevol posició atès que els components del seu sistema no poden vessar.

- Bateries AGM o d'electròlit absorbit: l'electròlit està contingut en fibra de vidre polimètrica o microporosa situada entre les plaques, per tant, redueix les pèrdues energètiques del sistema i n'augmenta el rendiment. A més, aquest tipus de bateries també pot instal·lar-se en qualsevol posició, té una resistència interna molt baixa i resulta molt eficaç en sistemes que requereixen molt corrent en poc temps.
- Bateries d'arrencada: descarreguen una intensitat elevadíssima de corrent en un instant breu, són molt econòmiques però, els primers separadors que la componen i l'electròlit d'alta densitat redueixen les seves aplicacions a sistemes amb plaques planes amb connexió paral·lela.

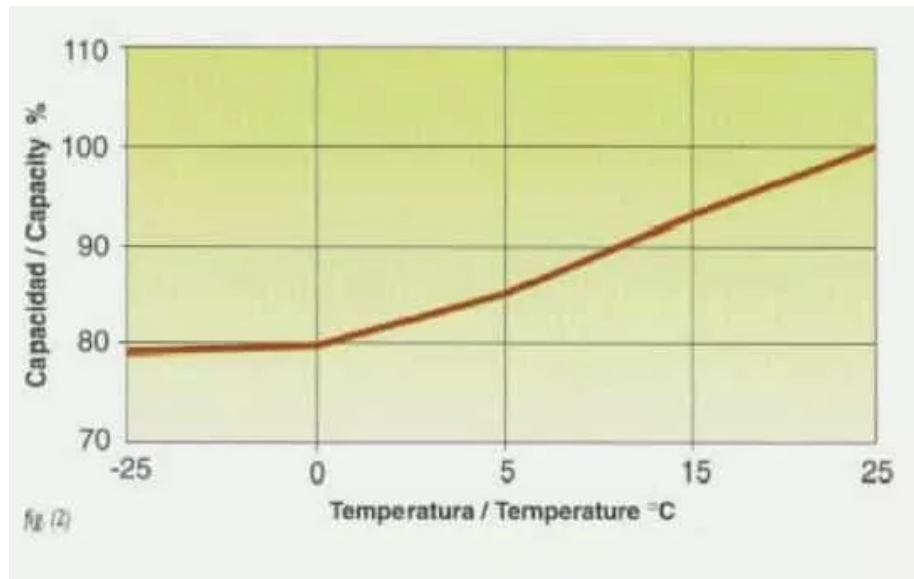
7.6.5.1.2. Classificació segons el voltatge:

- 12 Volts: recomanades per potències d'1 kW i consums màxims de 100 kWh mensuals.
- 24 Volts: indicades per potències d'entre 1 i 5 kW i un consum mensual d'entre 100 i 150 kWh.
- 48 Volts: s'instal·len en sistemes de més de 5 kW de potència i consums mensuals superiors als 150 kWh.

7.6.5.1.3. Rendiment: s'obté de la relació entre la quantitat d'energia que consumeix per funcionar i la quantitat d'energia que subministra, i sempre cal calcular-lo a una densitat de corrent, una temperatura i un voltatge determinats.

Cal destacar-ne diversos tipus:

- Rendiment faradaic: és la relació en [Ah] entre la càrrega despresa durant la descàrrega i la càrrega necessària per recuperar l'estat de càrrega inicial i repetir el cicle. És a dir que com més baix és el rendiment faradaic, més productiva resulta la bateria ja que genera més intensitat de corrent del que necessita per funcionar.
- Rendiment energètic: és menor que el faradaic i es calcula fent la relació en [Wh] entre l'energia despresa durant la descàrrega i l'energia necessària per recuperar l'estat de càrrega inicial.



Gràfica 3. Eficiència d'una bateria segons la temperatura de treball. (Font: SunFields Europe. 10/07/2021)

Temperatura (°C)	Capacidad (%)	Eficiencia
30	105	1,05
25	100	1
16	90	0,9
4	77	0,77
-7	63	0,63
-18	49	0,49

Taula 1. Taula comparativa de la capacitat i l'eficiència d'una bateria segons la temperatura. (Font: SunFields Europe. 10/07/2021)

- 7.6.5.2. Regulador o controlador de càrrega: controla el flux de corrent de càrrega provinent dels mòduls fotovoltaics cap a la bateria i de descàrrega cap als aparells consumidors per protegir-la de sobrecàrregues.
- 7.6.5.3. Inversor: donat que els aparells de consumició de l'energia necessiten corrent altern per funcionar, cal un element que transformi en corrent altern de 220V el corrent continu de 12V ofert per la bateria.
- 7.6.6. **Possibles connexions del sistema**: en funció de la quantitat i del tipus d'energia que requereixen els aparells consumidors, es classifiquen 3 tipus de sistemes fotovoltaics: els sistemes centralitzats aïllats de la xarxa

elèctrica, els centralitzats connectats a la xarxa elèctrica, i els individuals de corrent continu i corrent altern.

7.6.7. **Disseny d'un sistema d'energia solar fotovoltaica aïllada:** atès que aquest sistema només resulta productiu durant les hores de sol i a la nit també hi ha demanda energètica, calen acumuladors o bateries per satisfer les necessitats diàries de l'edifici. El disseny i la instal·lació del mateix consta dels següents 4 passos:

7.6.7.1. Determinació del tipus de planta: primerament, calen destacar els components del sistema: les plaques fotovoltaïques, seguides dels distribuïdors del corrent continu i el regulador de càrrega, en quart lloc la bateria connectada a l'inversor i finalment la connexió a l'habitatge.

En segon lloc, és necessari valorar les pèrdues energètiques, que resulten un factor essencial per determinar el rendiment del sistema:

7.6.7.1.1. Mòdul fotovoltaic: es produeixen pèrdues energètiques si la potència que reben els mòduls és inferior a la que requereixen. És a dir que mòduls que requereixen una potència de $\pm 10\%$ i reben 1 kWp, haurien de produir una potència d'entre 0'9 i 1'1 kWp. Nogensmenys, freqüentment no s'arriba a 1'1 a causa de les pèrdues energètiques.

7.6.7.1.2. Diferència de potència entre els mòduls: si es connecten en sèrie o en paral·lel mòduls amb lleugeres diferències de potencial, el conjunt treballa a la potència més baixa, de manera que el rendiment disminueix notablement.

7.6.7.1.3. Brutícia a la superfície dels mòduls: si la brutícia és uniforme, la tensió i el corrent produïts pels mòduls disminueix; mentre que si la brutícia és localitzada, la producció és desigual i es desajusta el sistema.

7.6.7.1.4. Pèrdues angulars: considerant que la potència dels mòduls es calcula amb un angle d'incidència de la radiació solar de 0° , es generen pèrdues si l'angle varia.

7.6.7.1.5. Pèrdues espectrals: en funció de la longitud d'ona de l'espectre de la radiació solar incident damunt les plaques, l'energia generada augmenta o disminueix, de manera que pot produir pèrdues energètiques, però també guanys.

7.6.7.1.6. Pèrdues per temperatura: la potència produïda pel conjunt fotovoltaic varia un 4% per cada 10°C , de manera que tant la velocitat del vent i

temperatura ambient, com la radiació solar i la orientació dels mòduls generen variacions al rendiment del sistema.

7.6.7.1.7. Pèrdues per ombra: si les plaques fotovoltaïques reben ombra durant les hores d'insolació, la superfície de captació de la radiació disminueix. Conseqüentment, la potència del mòdul decreix i atès que el sistema treballa al nivell de la potència més baixa, el rendiment disminueix notablement.

- A més d'aquestes set pèrdues energètiques més freqüents, la reducció del rendiment de l'inversor, les avaries d'elements del sistema i la variació de la resistència elèctrica dels cables del circuit, són tres altres factors que poden produir pèrdues energètiques a la planta fotovoltaïca.

7.6.7.2. Determinació del consum: és necessari conèixer la demanda energètica de l'habitatge per calcular la potència de la planta fotovoltaïca, per tant, cal tenir en compte els dies anuals de demanda així com el consum corresponent. A més, també és necessari conèixer el rendiment dels diversos elements del sistema: els mòduls, el regulador, l'inversor, la bateria i el cablejat. Per conèixer la demanda energètica, pot haver-hi la opció de recórrer a factures d'electricitat de l'habitatge, o bé es multipliquen els watts dels aparells consumidors pel temps d'ús diari i se n'obté la suma mensual.

7.6.7.3. Especificació de la localització: s'han d'estudiar les dades de radiació solar i de producció d'electricitat de la zona amb les coordenades de la localització, per exemple amb l'aplicació de PVGIS, i calcular-ho en diversos graus d'inclinació per conèixer la més favorable per la productivitat i el bon rendiment del conjunt.

7.6.7.4. Dimensions i característiques dels elements:

7.6.7.4.1. Generador fotovoltaïc: es compon d'un conjunt de panells subjectats per una estructura amb la inclinació idònia. Poden ser de diversos tipus de silici i d'altres compostos tot i que el silici monocristal·lí és el que ofereix millor rendiment energètic. Per conèixer la superfície necessària de panells cal basar-se en les "Hores Solars Pic" (HSP): les hores diàries amb radiació solar constant de 1000 W/m^2 . Un valor obtingut en dividir el valor de la irradiació incident (en J/m^2) entre el valor d'irradiància en condicions de 1000 W/m^2 .

- 7.6.7.4.2. Inclinació idònia: s'aconsegueix multiplicant per 1000 el consum diari (en Wh) i dividint-lo per la irradiació en (Wh/m²). El mes amb un resultat més elevat és el de menor producció, per tant, cal buscar la inclinació òptima per reduir al màxim aquest valor. En conseqüència, els mesos de més irradiació es genera un excedent d'energia aprofitat en períodes menys productius.
- 7.6.7.4.3. Quantitat de mòduls: per saber l'energia necessària (Nt) cal dividir la demanda mitjana diària mensual (Lmd) entre l'energia produïda per cada mòdul (Ep).
- $$Nt = Lmd / Ep$$
- I l'energia produïda per cada mòdul (Ep) s'obté en multiplicar la potència pic del mòdul a condicions estàndards (Pmpp) en Watts, per les Hores Solar Pic del mes menys productiu (HSP), pel factor global de funcionament del mòdul (PR) que oscil·la entre 0'65 i 0'90.
- $$Ep = Pmpp \cdot HSP \cdot PR$$
- 7.6.7.4.4. Quadre de distribució: és l'element que reparteix el flux de corrent als diversos punts on es consumeix, solen haver-n'hi dos, un pel corrent altern i l'altre pel continu.
- 7.6.7.4.5. Regulador de càrrega: mesura el corrent rebut pel generador fotovoltaic i el necessari pels aparells consumidors, i garanteix un flux de corrent constant pel circuit durant les hores de major radiació solar, atès que resisteix càrregues entre un 15 i un 20% superiors a la produïda pels generadors.
- 7.6.7.4.6. Bateria: solen ser específiques per als circuits fotovoltaics, normalment de plom àcid i de 2V cadascuna de manera que en connectar-les en sèrie o en paral·lel s'aconsegueix la tensió desitjada, ja siguin 12 V, 48 V o més. Concretament la tensió requerida depèn de la potència de la càrrega elèctrica: inferior a 1500 W calen 12 V, de 1500 a 5000 W equivalen entre 24 i 48 V, i superior a 5000 W corresponen entre 120 i 300 V.
- 7.6.7.4.7. Càrrega elèctrica: es mesura en Ampere per hora (A·h), és la capacitat d'emmagatzematge d'una bateria. El temps de descàrrega d'una bateria es calcula en dividir la càrrega entre el consum.
- 7.6.7.4.8. Inversor: és un aparell electrònic que transforma el corrent continu (produït pels generadors) en corrent altern per l'ús domèstic. Els més

freqüents són els que treballen amb entrada de corrent continu i tensions de 12, 24 o 48 V; que endemés poden ser monofàsics per instal·lacions particulars i d'oficines, o trifàsics per sistemes de transports o plantes industrials. Es classifiquen segons la potència, els de baixa són inferiors als 2000 W i els d'alta potència, superiors. En qualsevol cas, la capacitat de l'inversor ha de ser un 20% major al sumatori de corrent altern requerit per garantir un bon funcionament del sistema.

Per calcular la potència necessària de l'inversor cal sumar el consum en Watts de tots els aparells consumidors de corrent altern, multiplicar per 4 el valor dels electrodomèstics (ja que poden necessitar el quàdruple de potència per encendre's), i sumar el 20% de marge de seguretat al valor obtingut.

7.7. **Refrigeració de l'habitatge:** hi ha diversos sistemes per refredar l'ambient d'un edifici, tot i que el més comunament utilitzat és la bomba de calor, un element que s'utilitza tant en l'escalfament com en el refredament d'ambients en poder invertir la direcció del recorregut. El funcionament es basa en captar aire de l'ambient i comprimir-lo per elevar-ne la temperatura o bé dispersar-lo per aconseguir-lo més fred. Tanmateix, el medi inicial pot ser aire o també es poden aprofitar la calor generada per la terra i l'energia de l'aigua.

7.7.1. **Elements de la instal·lació:** el muntatge d'aquest sistema està constituït per 4 components:

7.7.1.1. Compressor: comprimeix i liqua l'aire que capta de l'exterior mitjançant una bomba amb un èmbol que actua a una velocitat elevadíssima.

7.7.1.2. Condensador frigorífic: està constituït per diversos serpentins de ferro forjat refrigerats amb aigua o bé amb aire i segons el sistema de refrigeració poden ser de doble serpentí, de regadora o d'immersió. Nogensmenys, existeix la combinació condensador-vaporitzador que treballa com una sola màquina i permet un refredament del medi molt més veloç, en comparació amb els altres tres tipus de condensadors.

7.7.1.3. Evaporador frigorífic: refreda el líquid refrigerant del circuit transformant-lo en gas perquè reiniciï el procés de nou.

7.7.1.4. Vàlvula d'expansió: regula el flux del circuit i garanteix la circulació uniforme del líquid frigorífic.

- 7.7.2. **Funcionament del sistema:** el procés de refrigeració mitjançant la bomba de calor s'inicia al compressor que aspira el gas freó provinent del vaporitzador, n'augmenta la temperatura i la pressió mitjançant un procés de compressió i posteriorment el bombeja cap al líquidador. Cal destacar que és l'únic element de la bomba de calor que consumeix electricitat, tot i que només representa una quarta part de la generada. El condensador és l'element que continua el procés, doncs liqua el gas comprimit emès pel compressor mitjançant una vàlvula reductora i la calor restant indesitjada s'expulsa a l'exterior. Seguidament, el líquid és conduït al vaporitzador que el transforma en gas degut a la baixa pressió a la que treballa i aquest brusca canvi de temperatura refreda l'aire exterior que està en contacte amb el circuit, i conseqüentment refreda l'ambient. Paral·lelament, el gas freó del circuit inicia de nou el recorregut cap al compressor.
- 7.7.3. **Inversió del mecanisme:** l'obtenció d'aire calent es duu a terme amb el mateix sistema però alterant-ne el sentit de treball mitjançant una vàlvula inversora de quatre passos que canvia les funcions del condensador i de l'evaporador.

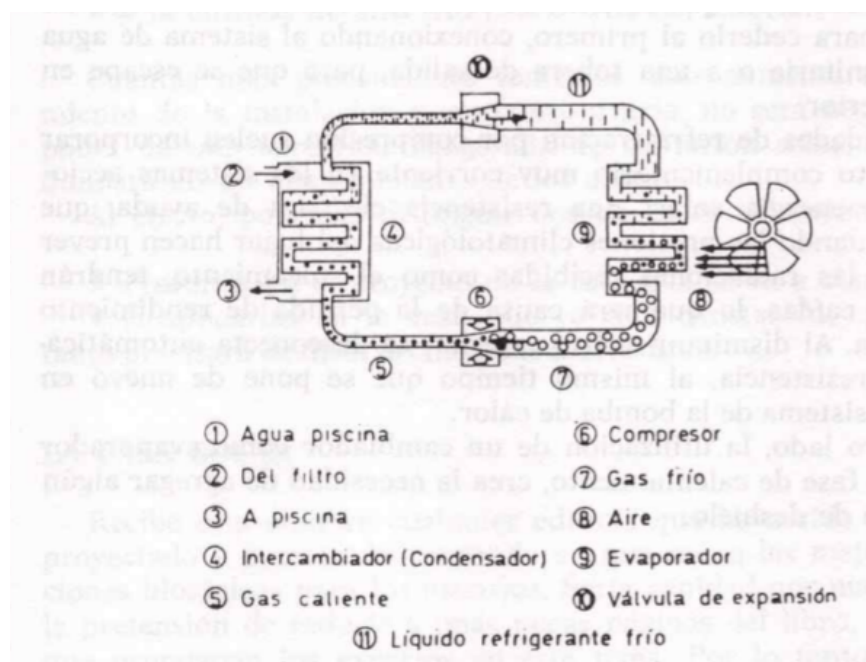


Figura 32. Esquema del cicle de la bomba de calor. (Font: *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas*. 25/08/2021)

- 7.7.4. **Rellevància de la bomba de calor:** la bomba de calor és un component obligatori en els sistemes de calefacció solar, doncs garanteix

l'escalfament i el refredament de l'habitatge al llarg de tot l'any. Per una banda, en cas que a l'hivern la radiació solar sigui insuficient per escalfar l'aigua i l'ambient de l'habitatge, la bomba de calor augmenta la temperatura del medi del segon acumulador connectat al circuit solar, i així pot utilitzar-se com a aigua calenta sanitària o pot ser la d'un circuit tancat. Per altra banda, a l'estiu resulta essencial per captar calories de l'aigua retinguda al segon acumulador i transferir la baixa temperatura al primer.

- 7.7.5. **La resistència elèctrica:** donades aquestes irregularitats en la intensitat de la radiació solar al llarg de l'any, és convenient incloure una resistència elèctrica al circuit que accioni o desactivi la bomba de calor en preveure brusques disminucions de radiació solar mitjançant la pressió atmosfèrica.

8. CONDICIONS FAVORABLES PEL MILLOR APROFITAMENT DE L'ENERGIA SOLAR

Prèviament a la instal·lació del sistema més adequat i precís d'aprofitament de l'energia solar en un edifici, cal descartar qualsevol pèrdua calorífica assegurant-se que els materials de construcció són bons aïllants i retenen la calor, així com verificant que les portes i les finestres ajusten a la perfecció i no permeten ni l'entrada d'aire exterior ni la sortida del de l'interior.

- 8.1. **Materials de construcció:** resulta imprescindible valorar les propietats de diversos materials per escollir els més adequats segons la funció que hagin d'exercir a l'edificació. Primerament, cal tenir en compte la conductivitat tèrmica d'alguns materials: per una banda els metalls, el marbre i el formigó, que són freds per naturalesa i tendeixen a captar la calor de l'ambient; i per altra banda la fusta, un material càlid que ofereix caliu i aïlla entre 5 i 10 vegades més que el formigó i unes 1500 més que l'alumini. En segon lloc, cal evitar la humitat prioritant la construcció amb totxana (que s'asseca completament en uns 250 dies) abans que el formigó que tarda 4 anys, és unes 6 vegades més lent.
- 8.2. **Tipus de casa solar:** en funció del procés d'aprofitament de l'energia solar es distingeixen dues classes d'habitatges solars:

- 8.2.1. **Casa activa:** utilitza les radiacions solars mitjançant la seva captació, transformació i distribució amb col·lectors solars, que són els mètodes exposats amb anterioritat.
- 8.2.2. **Casa passiva:** estructures o sistemes relacionats amb l'edifici que permeten la disminució de la despesa energètica sense col·lectors solars mitjançant dos mètodes:
- Primerament, afavorint l'idoneïtat natural de la temperatura interior mitjançant l'orientació, l'aïllament i la protecció de les finestres, el doble o triple vidre, les cortines, evitant els corrents d'aire indesitjats i l'aparició d'humitats a les parets i al sostre, o afegint sostres rasos a uns 2'5 metres per reduir l'alçada de l'habitatge.
- I en segon lloc, distribuir les estances de la casa segons la temperatura que requereixin.

ENERGIA GEOTÈRMICA

1. INTRODUCCIÓ

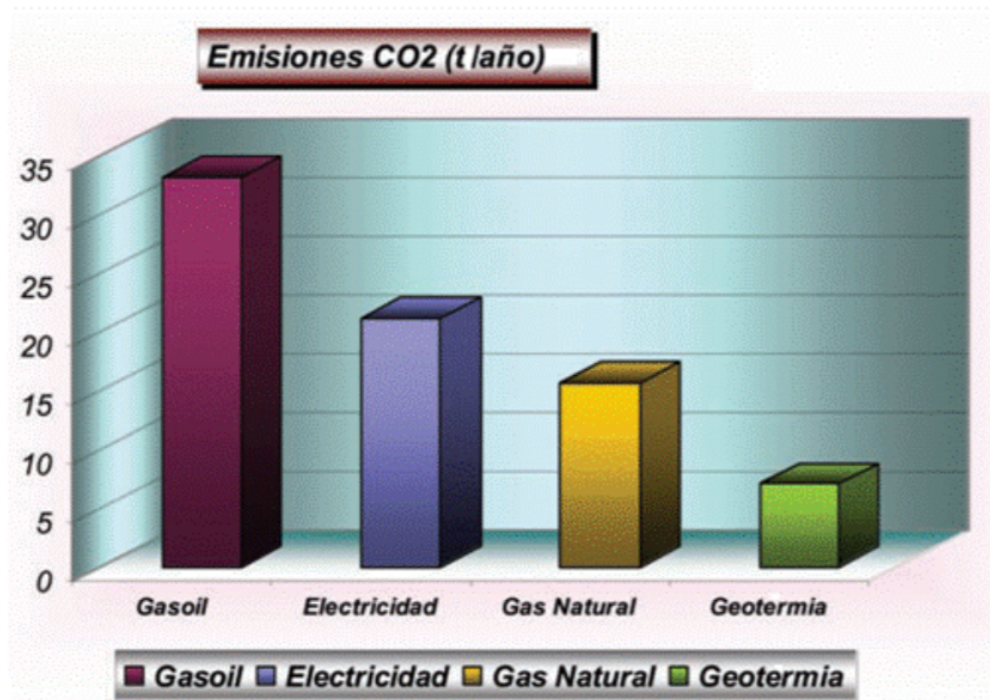
Donat que aquest tipus d'energia funciona amb una bomba de calor que pot generar calor o fred depenent de l'estació de l'any, l'elevat cost de la instal·lació inicial es veu amortitzat a més curt termini perquè funciona durant moltes hores a l'any. A més, cal tenir en compte que el preu de les energies fòssils augmentarà amb els anys degut a l'esgotament dels recursos naturals no renovables, mentre que el cost de l'energia geotèrmica un cop instal·lat el sistema és pràcticament nul. Per tant l'amortització de l'energia geotèrmica encara resulta més ràpid.

2. DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE

L'energia geotèrmica és una font natural d'energia extremadament antiga ja que el nucli de la Terra sempre ha després calor, independentment de la localitat, de l'estació de l'any i de les condicions climatològiques exteriors.

- 2.1. **Energia renovable:** la geotèrmia és el recurs natural més potent que existeix i es basa en aprofitar la calor il·limitada del subsòl, que disminueix uns 130°C cada mil milions d'anys. Les explotacions geotèrmiques rendeixen entre 20 i 40 anys i per allargar-ne la vida, és convenient estudiar el sistema de retorn de l'aigua freda i així evitar refredar la temperatura del subsòl.

- 2.2. **Energia neta:** atès que no es requereix cap procés de combustió per l'obtenció de l'energia geotèrmica, s'evita l'emissió de gasos tòxics a l'atmosfera. Tanmateix, cal tenir en compte que les bombes de calor del sistema consumeixen energia elèctrica, per tant les úniques emissions contaminants possibles provenen del procés de generació d'aquesta electricitat.



Gràfica 4. Tonelades de CO₂ emeses anualment en la producció de la calefacció d'una casa de 150 m² per quatre tipus d'energia. (Font: Llopis, G., i Rodrigo, V. 10/08/2021)

A més, cal destacar que el líquid refrigerant de les bombes de calor no es reposta pràcticament mai, de manera que es minimitzen les emissions de diòxid de carboni i de diòxid de sofre i s'anul·len les d'òxid de nitrogen.

En relació a l'impacte visual de les instal·lacions d'obtenció d'energia geotèrmica, és gairebé nul, ja que a nivell particular només s'aprecia una tapa metàl·lica a la superfície, i a nivell de plantes industrials, s'ocupen entre 0'5 i 3'5 hectàrees per megawatt, un valor molt més agradable que les 8'5 hectàrees de les centrals de carbó. A més, com que no requereixen maquinària de combustió ni transport, s'adapten força bé al paisatge.

- 2.3. **Energia econòmica**: la inversió de la instal·lació inicial és força elevada, sobretot en comparació amb els sistemes de calefacció clàssics, però les despeses d'extracció i de manteniment són pràcticament nul·les. Endemés, l'elevat rendiment que ofereixen permet un notable estalvi a la factura energètica.
- 2.4. **Energia eficient**: com que és un sistema que aprofita la temperatura del subsòl constant durant tot l'any, les bombes de calor poden ser de menor capacitat ja que no han de combatre bruscs canvis de temperatura. Les instal·lacions també es poden fonamentar en bombes de calor geotèrmiques que ofereixen un millor rendiment treballant a temperatures extremes.
- Els sistemes geotèrmics utilitzen energia elèctrica per activar la bomba de calor que modifica la temperatura de l'aire, i produeix entre el doble i el quàdruple de l'energia necessària per funcionar. Conseqüentment, el rendiment d'aquests sistemes oscil·la entre el 200 i el 400%, mentre que les energies elèctriques convencionals ofereixen un rendiment màxim del 100%.
- 2.5. **Energia contínua**: Un avantatge que ofereix l'energia geotèrmica és la seva constant disponibilitat ja que la temperatura del subsòl sempre és la mateixa a diferència de l'energia solar, per exemple, que només resulta productiva durant les hores d'elevada insolació. La seva obtenció depèn únicament de les propietats del subsòl, com ara l'augment de temperatura per cada 100 metres de profunditat sota terra (anomenat gradient geotèrmic), la permeabilitat i la composició de la roca, i les formacions geològiques. Per tant, com que aquestes condicions són estables tot l'any, l'obtenció d'energia geotèrmica és molt regular i els elements no han de combatre adversitats meteorològiques.
- 2.6. **Energia local**: per naturalesa, l'ús d'energia geotèrmica s'ha de desenvolupar al mateix lloc on s'extreu, motiu pel qual els usos domèstics més freqüents són l'escalfament i refredament de l'ambient així com de l'aigua calenta sanitària. Aquesta característica la converteix en una energia més neta perquè primerament, s'eviten pèrdues energètiques i

emissions nocives en el transport i en segon lloc, no n'augmenta el seu cost.

3. RECURSOS GEOTÈRMICS

3.1. **Definició:** el recurs geotèrmic és l'aprofitament de calor concentrada a l'escorça terrestre que amb els medis actuals pot ser extreta. La calor pot haver-se produït de manera natural o bé a causa de l'acció humana, com ara mitjançant galeries i túnels subterranis, amb bombes de calor, amb la calor generada als túnels de carreteres i vies fèrries o l'expulsada en mines subterrànies d'extracció de minerals que necessiten evacuar la calor. Conseqüentment, l'extracció i l'aprofitament d'energia geotèrmica al subsòl no requereix una despesa econòmica tan elevada com pot semblar.

3.2. **Tipus de recursos:** en funció de la temperatura del subsòl es poden classificar els recursos geomètrics, tot i que a les zones amb temperatura inferior a 30° són massa escassos per aprofitar aquest tipus d'energia. De 30 a 90°C es considera un territori de baixa temperatura, mentre que fins a 150°C es coneixen com a recursos mitjans, i les zones que superen el llindar dels 150°C s'anomenen recursos d'alta temperatura. A banda d'aquesta classificació, les zones amb característiques d'extracció favorable i econòmica d'energia geotèrmica (anomenades jaciments geotèrmics), també es poden catalogar segons el mètode d'explotació, el context geològic i l'ús que se li dona. Tanmateix, la classificació més freqüent es realitza en funció de la temperatura del subsòl que determina les característiques de cada zona.

3.2.1. **Jaciments de molt baixa temperatura:** representen la major extensió de la capa terrestre i la seva captació, a poca profunditat o prop d'aquífers, s'aprofiten per la climatització d'edificis mitjançant una bomba geotèrmica.

Cal tenir en compte que a partir dels 15 metres de profunditat aproximadament, la temperatura del subsòl oscil·la entre els 7 i els 13°C tot l'any. Doncs l'escassa circulació d'aigua permet emmagatzemar l'escalfor, i a més, la radiació solar només modifica la temperatura estacional fins als 10 metres de profunditat.

La temperatura de la roca subterrània a 15 metres varia segons la vegetació, el relleu del terreny, el clima i l'acumulació de neu; mentre que a partir dels 20 metres depèn exclusivament de les característiques geològiques i geotèrmiques de la zona. Es calcula que als 500 metres de profunditat la temperatura és d'entre 25 i 30°C arreu del món considerant que augmenta uns 3°C per cada 100 metres de descens.

- 3.2.2. **Jaciments de baixa temperatura:** es donen en zones on el gradient geotèrmic és igual o superior a 3°C com ara en conques sedimentàries, ja que exigeixen elements geològics permeables entre els 1500 i els 2500 metres de profunditat per on hi circula un fluid que absorbeix l'escalfor de les roques subterrànies. Per aquest motiu, la temperatura als 2000 metres de profunditat se situa al voltant dels 70 o 90°C.

La fissió o desintegració d'isòtops radioactius a les roques del subsòl són una de les fonts de calor més eficients, fenomen que es dona en conques sedimentàries, especialment en les formades més recentment. Per tant, prop de rius o embassaments d'aigua és on el gradient geotèrmic és major, com ara a la Conca Pannònica d'Hongria que se situa entre 5 i 6°C per cada 100 metres, o bé a Boise als Estats Units d'Amèrica que s'obté aigua a 80°C a partir dels 268 metres de profunditat.

- 3.2.3. **Jaciments de mitjana temperatura:** també són presents en zones del planeta prop de conques sedimentàries. Aconsegueixen temperatures d'entre 90 i 150°C al voltant dels 2000 i els 4000 metres sota terra a causa de falles i de les discontinuïtats de l'escorça, que permeten l'immediata sortida de l'aigua del subsòl a la superfície terrestre. La Conca austríaca del riu Salzach n'és un exemple, ja que als 2300 metres s'extreu aigua a 106°C, útil per a la producció de calefacció i electricitat.

- 3.2.4. **Jaciments d'alta temperatura:** són poc freqüents perquè només es donen temperatures superiors als 150°C damunt de zones amb

activitat volcànica i sísmica recent, especialment a sobre les convergències entre plaques litosfèriques amb un moviment d'entre 1 i 20 centímetres per any. L'obtenció d'escalfor es duu a terme entre els 1500 i els 3000 metres de profunditat a causa del moviment de plaques litosfèriques o de considerables masses de roca fosa, anomenades magmes creadores dels volcans. Existeixen 5 zones de la terra amb amb la mencionada propensió d'obtenció calorífica del subsòl:

- Zones de convergència de plaques: la col·lisió de plaques genera una subducció que produeix la fusió de l'escorça i consegüentment forma magmes, com per exemple a l'oest d'Amèrica del Sud on convergeixen la placa de Nazca i la sudamericana.
- Zones d'activitat distensiva de plaques: causades per l'ascens de magmes en àrees on l'escorça terrestre és molt fina, com ara a la Depressió del Rin a Alemanya o al Gran Rift del Riu Bravo entre Texas i Mèxic.
- Dorsals centre-oceànics: zones on les plaques tendeixen a separar-se i es crea un pas per on ascendeix el magma, les Illes Açores o Islàndia en són un exemple.
- Punts calents: focus de calor concentrada a l'interior de plaques litosfèriques (dins el mantell, per sota l'escorça) amb una elevada activitat geotèrmica i capacitat de generar activitat volcànica i d'escalfar l'escorça terrestre. Aquests punts són fixes, mentre que les plaques es mouen, de manera que quan els volcans formats per les plaques es desplacen del focus d'escalfor, es refreden i perden l'activitat. El parc nacional de Yellowstone als Estats Units o les Illes Hawaii són dos d'aquests punts calents.

Els jaciments d'alta temperatura es caracteritzen per les següents tres condicions geològiques:

- Font de calor: és el magma localitzat entre 5000 i 10000 metres de profunditat, tot i que en àrees d'elevat moviment tectònic pot estar més proper a la superfície terrestre o

ascendir per una falla. Les temperatures oscil·len entre els 700 i els 1000 °C.

- Aqüífer: limitat per roques permeables que permeten la circulació de l'aigua i la transferència de calor perquè ascendeixi a la superfície a temperatures elevades, ja sigui en estat líquid o en forma de vapor, i pot contenir gasos o sals dissoltes.
- Capa impermeable: reté la pressió i l'aigua continguda a l'aqüífer ja que es localitza damunt seu.

Els jaciments d'alta temperatura que oscil·len entre els 200 i els 300°C, s'associen a fonts termals, guèisers o altres fenòmens naturals a la superfície terrestre. El procés d'aprofitament d'aquestes elevades temperatures es duu a terme mitjançant pous per on ascendeix l'aigua líquida que perd pressió i temperatura i genera vapor, el qual s'extreu amb un separador de fases i s'aprofita per fer girar una turbina i generar energia elèctrica.

Hi ha dos tipus de jaciments d'alta temperatura en funció de l'estat de l'aigua en el recorregut del pou: per una banda, els de vapor humit, que presenten aigua a la sortida del pou com el de Reykjanes a Islàndia. I per altra banda, els de vapor sec, que se sobreescalfen i produeixen més vapor d'aigua, essent així més eficaços en la generació d'energia elèctrica. *The Geysers* a Califòrnia (Estats Units) o el de Larderello a la Toscana (Itàlia), en són dos exemples.

A més, calen destacar dos altres tipus de jaciments d'alta temperatura:

- 3.2.4.1. Jaciments de roca seca calenta o sistemes geotèrmics estimulats: que només compleixen dues de les condicions que caracteritzen els jaciments d'alta temperatura: la calor subterrània i una profunditat accessible per la maquinària actual. Les dues condicions restants: la permeabilitat de les roques i la circulació de l'aigua són, en aquests casos, millorades artificialment.

La hidrofracturació, consistent en injectar un elevat volum d'aigua a alta pressió pel pou per dividir les roques del fons,

és la solució a la permeabilitat de les roques. I en relació a la circulació de l'aigua, es construeix un pou prop del principal que capta l'aigua injectada un cop arriba a la roca incandescent, i amb el vapor després genera energia elèctrica, després condueix de nou l'aigua cap al primer pou.

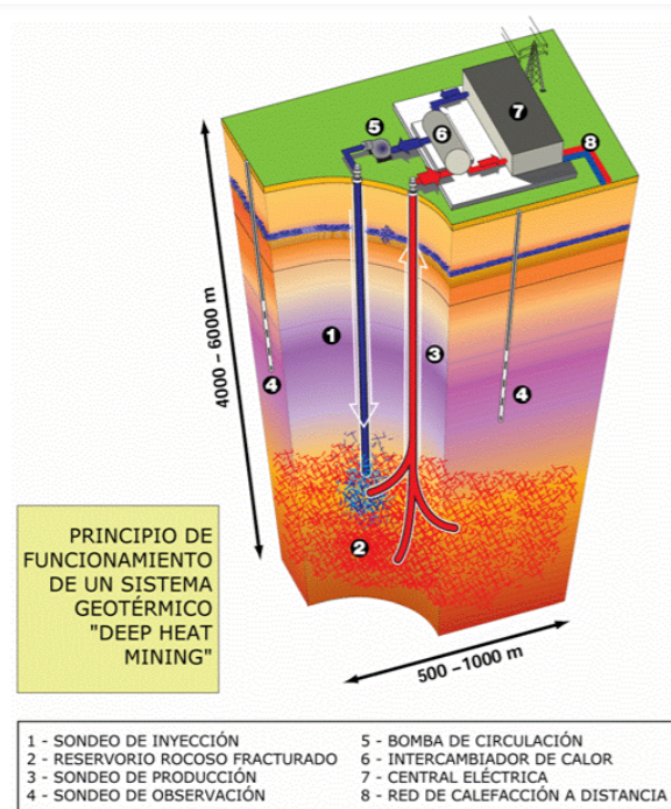
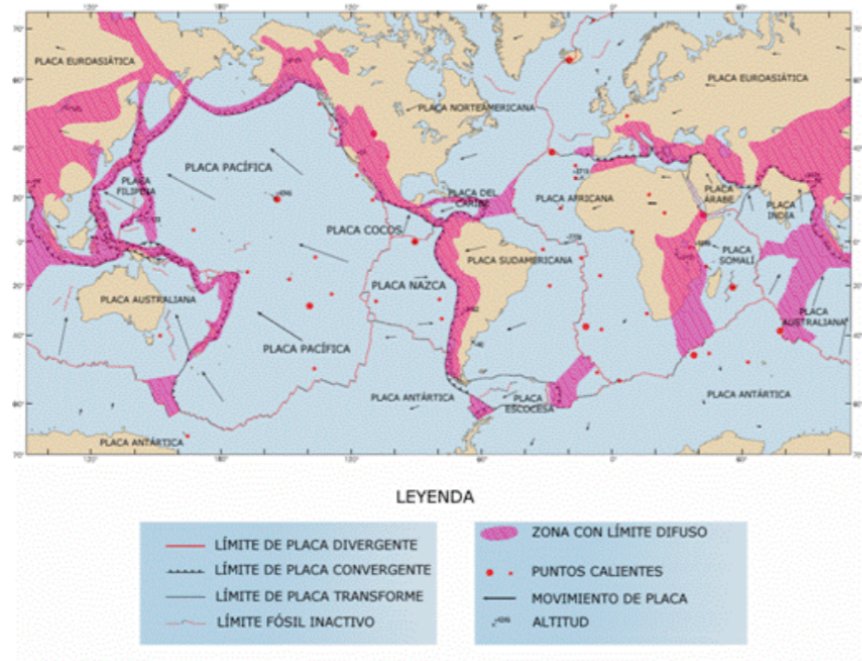


Figura 33. Principi de funcionament d'un sistema geotèrmic "Deep Heat Mining". (Font: Llopis, G., i Rodrigo, V. 10/08/2021)

3.2.4.2. Jaciments geo pressuritzats: es caracteritzen per dotar de pressions hidrostàtiques entre un 40 i un 90% superiors a les habituals atès que l'aigua es troba a uns 6000 metres de profunditat, motiu pel qual no són explotats.



Mapa 1. Mapa de les plaques litosfèriques de la Terra. (Font: Llopis, G., i Rodrigo, V. 10/08/2021)

3.3. **Investigació de recursos geotèrmics:** Per poder beneficiar-se dels recursos geotèrmics primerament cal estudiar la presència a la localització desitjada i seguidament valorar-ne el potencial energètic i el rendiment. En funció de les condicions geològiques del subsòl, existeixen 4 tipus d'investigació:

3.3.1. **Investigació de recursos de molt baixa temperatura:** es caracteritzen per ser presents a uns 400 metres per sota del nivell del mar a tot el terreny habitable de la terra i per la imprescindibilitat de bombes de calor geotèrmiques pel seu aprofitament. Hi ha 4 instal·lacions relacionades amb la potència que cal subministrar i el tipus de demanda (escalfar aigua o aclimatar l'ambient).

3.3.1.1. **Col·lectors horitzontals enterrats:** consta d'una instal·lació senzilla, més relacionada amb la radiació solar que amb l'escalfor geotèrmica, que es basa en enterrar a uns 80 centímetres de profunditat un circuit de tub de polietilè d'entre 25 i 40 mil·límetres de diàmetre, equivalent al 150% de la superfície de l'habitatge, i fins al 300% en habitatges

antics o mal aïllats tèrmicament. Degut a l'escassa profunditat de la instal·lació del sistema, el rendiment depèn en gran mesura del clima exterior, de manera que l'aprofitament es redueix a la climatització d'habitatges inferiors als 150 m² de superfície.

3.3.1.2. Sondes geotèrmiques: resulten més productives que els col·lectors horitzontals, la seva instal·lació es basa en perforar entre 20 i 100 metres amb un diàmetre de 15 o 20 centímetres. El funcionament gira a l'entorn de la bomba de calor situada a la superfície, que bombeja l'aigua freda cap al fons i la rep calenta per l'extrem oposat del tub en forma d'U. La profunditat de perforació equival a 1 metre per cada 20 a 70 W/m en funció dels següents 4 paràmetres:

- Conductivitat tèrmica del terreny: que condiciona la potència d'extracció
- Humitat natural del terreny: que garanteix el contacte adequat del terreny amb la sonda millorant la conductivitat tèrmica de la instal·lació
- Presència d'aigües subterrànies: el contacte de la sonda amb aqüífers o capes freàtiques millora augmenta lleugerament la temperatura del subsòl.
- Condicions de la instal·lació: el clima de l'entorn, les temperatures exteriors i interiors de la zona demandada, el temps de funcionament i la finalitat de la calor obtinguda (climatització d'ambient, escalfament d'aigua) són factors que també determinen les característiques de la instal·lació.

Donat que en els sistemes de sondes geotèrmiques la calor subterrània es transfereix per conducció i per convecció dins el tub, resulten molt influents en el rendiment del sistema tant el material de la sonda i del seu revestiment, com les següents propietats físiques:

- Conductivitat tèrmica: és el flux de calor transmès per conducció en un gradient de temperatura d' 1 K/m.

- Capacitat tèrmica volumètrica: és la calor necessària per augmentar 1 Kelvin la temperatura d' 1 m³.
- Permeabilitat del terreny: capacitat de permetre el pas de l'aigua d'un material que estableix la velocitat del flux de l'aigua subterrània.

Tot i les exposades condicions a tenir en compte a terme general, és necessari realitzar un estudi exhaustiu de les condicions geològiques i geotèrmiques abans d'instal·lar aquest sistema de sonda vertical.

3.3.1.3. Sistemes de captació d'aigua a menys de 400 metres de profunditat: la instal·lació consta de dues bombes: la de calor, situada a la superfície; i la submergida, a uns 15 metres i connectada al pou d'extracció d'aigua calenta subterrània. El funcionament es fonamenta en bombejar l'aigua de la capa freàtica cap a la bomba de calor, que genera energia elèctrica i allibera l'aigua refredada cap a la capa freàtica. Per tant, convé situar el fi del pou d'aigua freda més avall que el del d'extracció ja que sinó es bombejaria la freda.

En aquests sistemes, la profunditat del pou depèn de la potència calorífica requerida, doncs per una demanda de 20 kW són necessaris uns 6 m³/h d'aigua.

3.3.1.4. Fonaments geotèrmics: consisteix en la construcció de pous, anomenats pilots, d'uns 30 metres de fondària consistents en uns tubs intercanviadors de calor revestits de formigó. El funcionament es basa en un circuit tancat d'aigua i líquid anticongelant que circula unidireccionalment, s'escalfa amb la calor del subsòl, arriba a la bomba de calor de la superfície i en refredar-se inicia de nou el circuit.

Cal realitzar un estudi de les condicions geotèrmiques i geològiques abans d'instal·lar aquest sistema de fonaments i estudiar les propietats del terreny, la distància fins la capa freàtica i les característiques anuals del flux d'aigua, el potencial geotèrmic mitjançant la permeabilitat, la capacitat tèrmica i la conductivitat tèrmica, la presència de manantials

subterranis, el registre anual de la temperatura del subsòl i el consum energètic.

3.3.2. **Investigació de recursos de baixa temperatura:** l'aprofitament de la calor del subsòl entre els 30 i els 90°C està condicionat per dos paràmetres, primerament que no s'obté vapor d'aigua, sinó aigua calenta degut a la moderada temperatura de l'aqüífer. Per tant, la transformació de la calor i el seu aprofitament ha de ser proper al pou i pràcticament immediat. I en segon lloc, l'elevat contingut en sals de l'aigua extreta requereix ser retornat a l'aqüífer, doncs cal conduir-la-hi. Malgrat aquestes dues limitacions de transport calorífic i de retorn de l'aigua, la impossibilitat de l'aprofitament de vapor d'aigua per generar energia elèctrica abarateix notablement els costos de la instal·lació.

Pel que fa al procés previ a la instal·lació, cal realitzar un estudi detallat de les condicions físiques del terreny; un estudi geològic del subsòl; un d'hidrogeològic per conèixer els fluxos d'aigua subterranis seguit d'una anàlisi química de les propietats de l'aigua extreta; i finalment un estudi de viabilitat del projecte que inclou la demanda energètica, la gestió de la instal·lació i el manteniment, així com altres assumptes posteriors a l'obtenció d'energia calorífica.

3.3.3. **Investigació de recursos de mitjana temperatura:** atès que aquest tipus de jaciments de temperatures entre 90 i 150 °C es troben lleugerament més profunds que els de baixa temperatura, o una mica més amunt que els d'alta temperatura, l'estudi geològic i hidrogeològic previ és idèntic.

Pel que fa a la instal·lació, l'aprofitament d'aquests recursos requereix una planta de cicle binari que amb el vapor d'aigua extret genera energia elèctrica, i amb l'excedent de calor es satisfan les necessitats de l'habitatge. Les dimensions de la planta són força reduïdes i el rendiment tampoc no és gaire elevat, per aquest motiu, es combina amb l'abastiment energètic de l'edifici mitjançant una bomba de calor.

3.3.4. **Investigació de recursos d'alta temperatura:** els jaciments geotèrmics de més de 150 °C generen elevats volums de vapor a la sortida del pou, i s'ha de transformar immediatament donada la impossibilitat de ser transportat sense generar pèrdues de volum i de temperatura. Per tant, aquestes explotacions es duen a terme en superfícies extenses, i endemés els jaciments d'alta temperatura només són presents prop de volcans o altres manifestacions calorífiques naturals similars.

Cal destacar que el rendiment d'aquestes complexes instal·lacions és molt superior a les de temperatures menors, i per aquest motiu el cost de l'estudi previ així com de la instal·lació és més elevat del que és habitual.

En conseqüència l'anàlisi prèvia al muntatge és molt més complexa, doncs es fonamenta en 5 etapes:

- Reconeixement: dut a terme en una extensió de 10.000 km² amb l'objectiu de seleccionar les zones amb millors condicions per a la instal·lació.
- Previabilitat: s'estudien les zones prèviament localitzades, entre 500 i 2000 km², per determinar els millors punts per perforar segons el potencial geotèrmic de l'àrea. L'anàlisi de la composició dels materials volcànics de la superfície i la permeabilitat del jaciment són paràmetres geològics que permeten aquest estudi. I el flux i la temperatura de l'aigua de l'aqüífer són característiques pròpies de la geoquímica i la hidrogeologia.
- Viabilitat: investigada només sobre 10 o 15 km² amb l'objectiu de valorar el rendiment de l'explotació en una àrea concreta.
- Desenvolupament: es dissenya la instal·lació de la planta i es duen a terme les perforacions corresponents.
- Explotació: a l'última etapa es construeix la instal·lació dissenyada, se li fa ús i paral·lelament, les primeres setmanes s'estudia el rendiment del sistema per optimitzar-lo i calcular-ne l'abast.

4. APROFITAMENT DE L'ENERGIA GEOTÈRMICA DE MOLT BAIXA TEMPERATURA

Es basa en produir aigua calenta sanitària i climatitzar l'habitatge mitjançant la temperatura subterrània acumulada. La temperatura del subsòl juntament amb la capacitat de transmissió de la calor són el parell de factors essencials per conèixer el rendiment del sistema.

El funcionament es fonamenta en la conducció de la calor del subsòl mitjançant aigua amb líquid anticongelant fins la superfície. La temperatura del subsòl és pot ser d'uns 30°C i en ascendir disminueix fins als 15 o 18°C, de manera que no satisfà la necessitat de 40 o 50 °C requerida en un edifici. Per tant, cal una bomba de calor per augmentar de nou la temperatura del fluid.

4.1. **Bombes de calor convencionals**: el seu funcionament s'inicia al panell de captació que consta d'un circuit hidràulic amb líquid refrigerant a l'interior que s'evapora en captar la calor exterior. Seguidament, el vapor s'introdueix al compressor que el comprimeix, n'eleva la temperatura i permet obtenir l'aire calent desitjat. Per generar aire fred, la bomba de calor inverteix el sentit de funcionament i en lloc de comprimir l'aire, l'expandeix amb una vàlvula i permet obtenir-lo a una temperatura inferior. Aquest tipus de bombes que capten i generen aire s'anomenen convencionals.

Si bé és cert que resulta molt beneficiós poder utilitzar la mateixa bomba per generar tant calor com fred, el sistema presenta un parell d'inconvenients: la disminució del rendiment amb temperatures exteriors negatives i el consum d'energia elèctrica per funcionar.

4.2. **Bomba de calor geotèrmica**: es basa en l'aprofitament calorífic del subsòl per escalfar el fluid del circuit amb temperatura de vaporització baixa i compressibilitat elevada.

La condició requerida en aquests sistemes és que la temperatura geotèrmica captada ha de ser més elevada que la de retorn del fluid, i donat que l'aire que capta prové del subsòl i es manté a una temperatura molt similar tot l'any, s'evita la possibilitat de congelació del sistema. En conseqüència, el rendiment d'una bomba de calor geotèrmica és considerablement millor que el d'una bomba de calor convencional, ja que

la regularitat de la temperatura de l'aire amb la que treballa la geotèrmica li dona més estabilitat tot i les baixes temperatures hivernals.

4.3. **Sistemes de captació d'energia geotèrmica de molt baixa**

temperatura: l'aprofitament d'una bomba de calor geotèrmica, que pot generar calor o fred, serveix per abastir els punts de demanda de l'habitatge, principalment la climatització de l'ambient i l'obtenció d'aigua calenta sanitària. Doncs el disseny de sistemes de captació d'energia geotèrmica de molt baixa temperatura es fonamenten en el consum energètic i en les condicions climatològiques de l'habitatge. Conseqüentment, es calcula la potència que el sistema necessita tenint en compte el diferencial de temperatura entre l'aigua del subsòl i la del fluid del circuit.

- 4.3.1. **Captadors horitzontals enterrats**: s'utilitzen per proporcionar el medi fred a les bombes de calor geotèrmiques destinades a la climatització d'edificis. Aquesta instal·lació es basa en enterrar a 1'5 metres de profunditat un circuit de tubs captadors que convergeixen a l'entrada del medi fred de la bomba, per tant, cal instal·lar-la abans de la construcció de l'habitatge. Conseqüentment, comporten alguns inconvenients, com ara haver d'excavar un metre i mig més la superfície, la impossibilitat de plantar vegetals que arrelin profundament i la dificultat d'excavar el subsòl posteriorment. Nogensmenys, els nombrosos avantatges que ofereixen contrarresten aquests inconvenients, com ara el baix cost que suposa la instal·lació inclosa la bomba, no es requereixen permisos a excepció del d'obra, no es generen deixalles ni residus ja que la terra tretta es torna a introduir damunt els tubs i el manteniment resulta gairebé nul.

Aquest sistema també s'utilitza per a la climatització de piscines, atès que resulta molt econòmic perquè no requereix obres addicionals a l'excavació subterrània de la piscina. La instal·lació es basa en una superfície subterrània amb tubs captadors connectats a l'entrada del medi fred d'una bomba de calor

geotèrmica que produeix aigua calenta per la piscina.

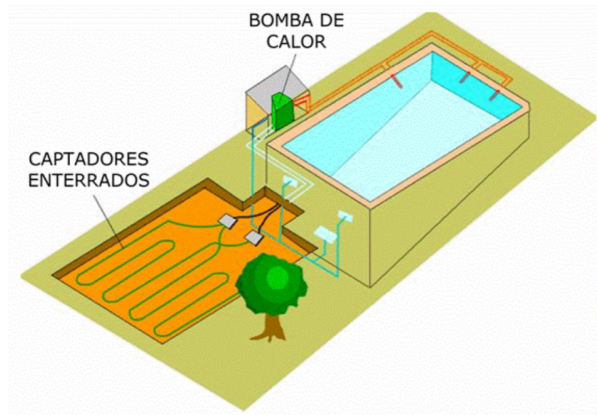


Figura 34. Dibuix de la climatització d'una piscina amb sistemes geotèrmics. (Font: Llopis, G., i Rodrigo, V. 10/08/2021)

4.3.2. **Sondes geotèrmiques:** donat que en ocasions no es disposa d'una superfície per instal·lar captadors horitzontals, existeixen les instal·lacions verticals que només requereixen un reduït diàmetre per excavar un pou i instal·lar-hi les sondes subterrànies. Aquest sistema també exigeix introduir grava permeable o formigó amb bentonita per augmentar la conductivitat tèrmica de l'aigua glicolada a elevada pressió de dins els tubs. Cal destacar que el diàmetre de perforació sol oscil·lar entre els 25 i els 80 mil·límetres, en funció de si s'instal·len un o dos tubs en forma d'U i en relació a la profunditat de la instal·lació es requereix un estudi de la potència com en el cas dels captadors horitzontals.

Dues de les raons per les quals s'opta per les sondes geotèrmiques són l'elevat preu del terreny on s'instal·larien els tubs horitzontals i la presència d'aigües freàtiques a poca profunditat; motiu pel qual Suïssa és el país amb més sondes geotèrmiques instal·lades proporcionalment, doncs a les valls dels Alps s'hi troben molts aqüífers poc profunds.

En comparació amb els captadors horitzontals, aquesta instal·lació resulta més cara, però considerant que la conductivitat tèrmica és superior no es necessiten tants metres de tub i per tant, el rendiment és major.

5. UTILITZACIÓ DIRECTA DE L'ENERGIA GEOTÈRMICA

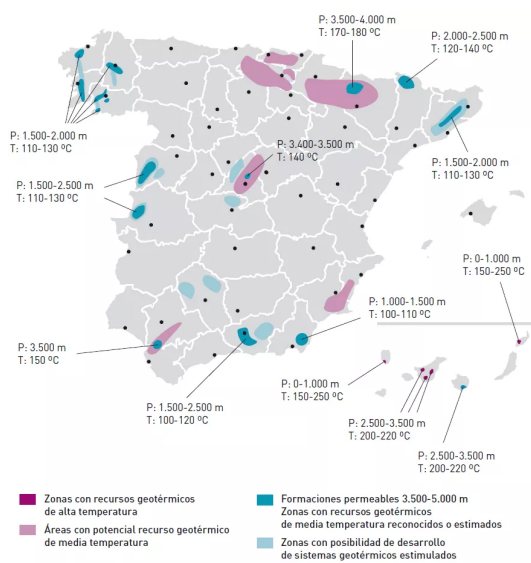
5.1. **Calefacció d'edificis i producció d'ACS:** un dels sistemes més utilitzats per l'aprofitament directe de la calor geotèrmica per climatitzar habitatges i generar aigua calenta sanitària és el de circuit tancat connectat a uns col·lectors solars de rendiment elevat. Es basa en aprofitar l'escalfor del subsòl que arriba a la superfície a uns 40 o 50°C i elevar-la fins als 80 o 90°C amb unes plaques solars, i atès que l'ACS demana uns 45 °C i la calefacció uns 55°C, aquest sistema resulta molt eficaç per abastir edificis de dimensions considerables.

En relació als materials de la instal·lació, és essencial utilitzar tubs calorífugs per minimitzar les pèrdues energètiques al llarg del circuit distribuïdor de l'aigua escalfada, sobretot cal tenir-ho en compte en circuits de distribució industrial, tot i que en l'ús domèstic també és important.

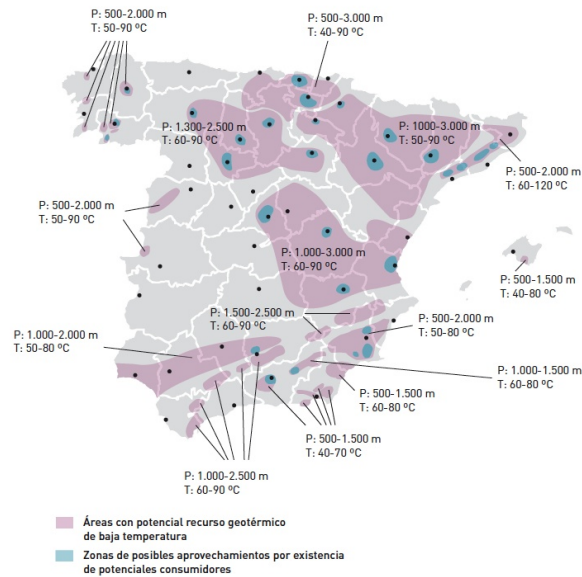
6. ENERGIA GEOTÈRMICA A CATALUNYA

Arrel de la crisi i l'encariment petroler de la dècada dels 80 l'interès per l'aprofitament de la calor geotèrmica va augmentar considerablement, i aleshores l'Institut Geològic i Miner d'Espanya va dur a terme diversos estudis a territoris catalans, concretament al Vallès Occidental, on es va detectar aigua brollant a 60°C a la Garriga i 70°C a Caldes de Montbui. Conseqüentment, la zona situada damunt d'una falla es va considerar un jaciment geotèrmic i es va declarar com a Reserva Geotèrmica. Les depressions d'Olot, la Selva i part de l'Empordà es van anomenar Reserva Geotèrmica d'Olot, i a Sant Cugat es van perforar un parell de pous per al seguiment de les peculiars característiques geològiques detectades.

Tot seguit, entrada la dècada del 1990 el petroli es va abaratir i els estudis de l'Institut Geològic i Miner d'Espanya van dissipar-se.



Mapa 2. Mapa d'Espanya de les zones amb recursos geotèrmics determinades segons la temperatura. (Font: TECPA. 10/08/2021)



Mapa 3. Mapa d'Espanya de les zones amb recursos geotèrmics determinades segons la temperatura. (Font: Geotermiaonline. 10/08/2021)

ENERGIA AEROTÈRMICA

1. INTRODUCCIÓ

L'aerotèrmia és un sistema de climatització d'aire i d'aigua que obté energia de l'aire exterior mitjançant l'intercanvi de calor amb una bomba. És considerada una energia renovable perquè consumeix un 75% d'energia verda i un 25% d'electricitat per funcionar, a més ofereix un elevat rendiment respecte a altres sistemes ja que produeix entre un 300 i un 400% més de l'energia que consumeix. Per afegiment, permet estalviar un 25% més que el gas natural i fins a un 50% en comparació amb el gasoil, donat que l'aerotèrmia aprofita el 75% de l'energia de l'aire, una font energètica gratuïta.

2. PRINCIPI DE FUNCIONAMENT

El sistema d'aerotèrmia es fonamenta en una bomba de calor: un aparell que extreu l'energia de l'aire exterior i la transmet a dins l'habitatge, a més pot generar tant aire calent com fred en invertir el sentit del cicle frigorífic.

Existeixen 4 tipus diferents de bombes de calor classificades segons els medis d'intercanvi de temperatura.

Per una banda, els sistemes d'aigua-aigua i aigua-gas que utilitzen en la geotèrmia i la hidrotèrmia. I per altra banda, els intercanvis d'aire-gas i aire-aigua que són els emprats en l'aerotèrmia.

- 2.1. **Intercanvi aire-gas:** aquest tipus de bombes transmeten el fred o la calor exteriors a un gas especial (de tipus R290 o R134a) que cedeix la temperatura dins l'habitatge mitjançant uns circuits similars als dels aires condicionats.
- 2.2. **Intercanvi aire-aigua:** són bombes que intercanvien el fred o la calor exteriors amb un gas específic que transmet la temperatura a l'aigua del circuit de terra radiant, o bé als radiadors, per tal de climatitzar l'aire interior de l'habitatge.

La diferència entre les bombes d'intercanvi d'aire-gas i aire-aigua es fonamenta el tipus de conductes del circuit, específics pel transport de líquids o de gasos.

3. ELEMENTS DEL SISTEMA D'AEROTÈRMIA

Primerament, cal destacar que aquest sistema d'obtenció d'energia és útil a temperatures de fins a -273°C ja que en menor o major quantitat l'aire conté energia fins els 0° Kelvin.

- 3.1. **Bomba de calor:** n'és l'element fonamental, consta d'un líquid refrigerant que flueix pel circuit i 4 aparells principals: l'evaporador, el compressor, el condensador i la vàlvula d'expansió.
Primerament, la bomba capta aire calent de l'exterior i entra a l'evaporador per on hi circula el líquid refrigerant que s'evapora amb l'intercanvi de temperatura. Aleshores el gas generat es comprimeix al compressor, que l'augmenta de pressió i també de temperatura. Tot seguit, el gas calent arriba al condensador on es transmet l'escalfor a l'aigua sanitària que flueix per un tub del seu interior, i aquesta aigua o bé es dirigeix als radiadors i al terra radiant o bé s'utilitza com aigua calenta sanitària (ACS). Finalment, el refrigerant passa per una vàlvula d'expansió que disminueix la seva pressió i també la temperatura, ja que està massa calent per iniciar de nou el cicle a l'evaporador.

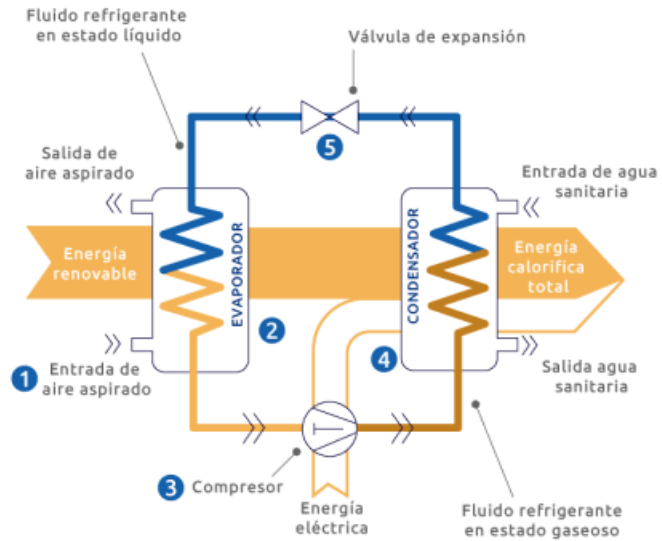


Figura 35. Esquema del funcionament d'una bomba de calor. (Font: Preciogas by Selectra. 09/09/2021)

- 3.2. **Vàlvula de 3 vies:** és l'element que regula la circulació de l'aigua calenta o freda generada a la bomba en funció de la demanda. L'ACS té preferència vers la climatització.
- 3.3. **Dipòsit d'inèrcia:** pot estar integrat dins la bomba o treballar a part, i la seva funció és emmagatzemar l'aigua escalfada o refredada per la bomba de calor, per cedir-la al sistema de climatització quan sigui convenient.
- 3.4. **Dipòsit acumulador d'aigua calenta sanitària:** conté un serpenti al seu interior que manté l'aigua escalfada a la temperatura desitjada. La capacitat del dipòsit s'aproxima a uns 40 litres per resident. Aquest sistema aerotèrmic s'adequa molt bé a sistemes de terra radiant o radiadors ja existents, ja que només cal substituir les calderes de gas o combustible per la bomba de calor de la instal·lació aerotèrmica.

Un exemple esquemàtic de la distribució de la instal·lació en un habitatge amb calefacció per terra radiant és la següent:

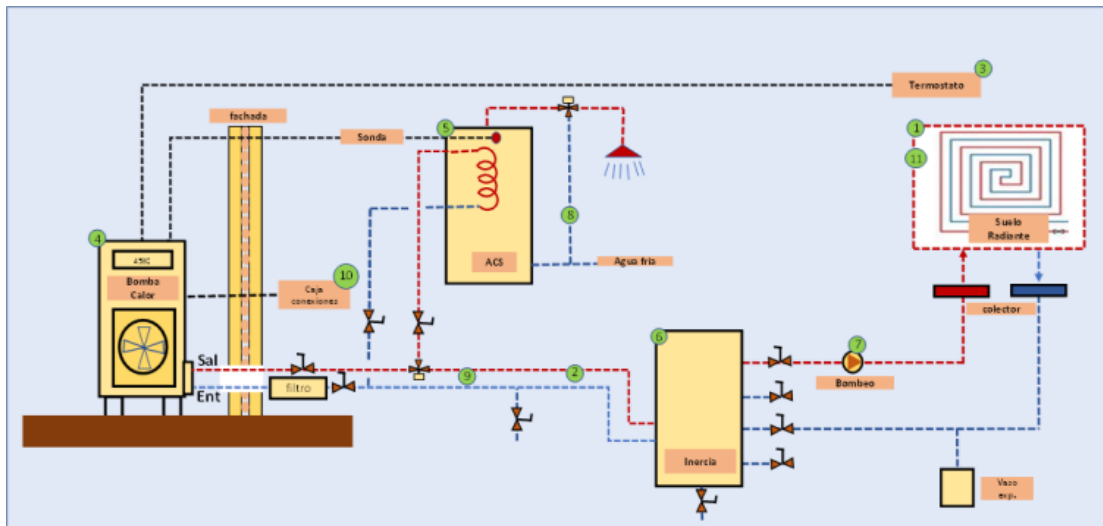
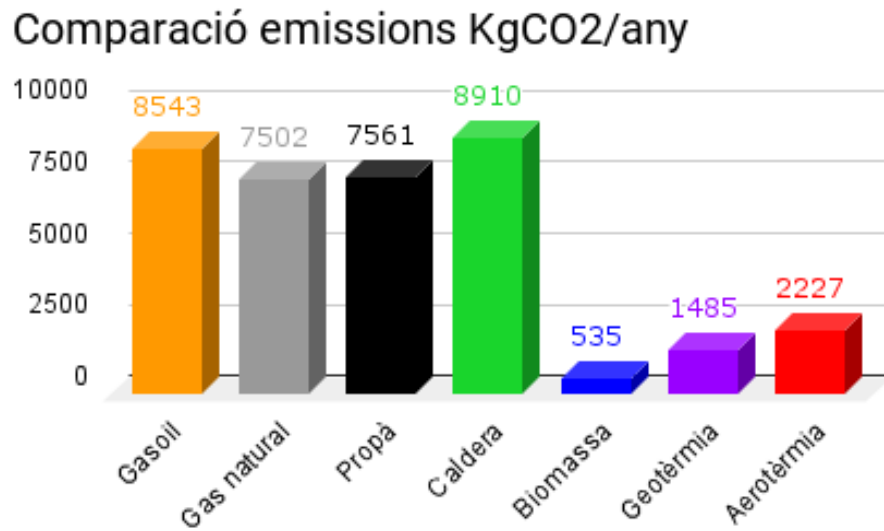


Figura 36. Esquema d'una instal·lació domèstica d'aerotèrmia amb calefacció per terra radiant. 1 i 11) calefacció per terra radiant; 2 i 9) tubs conductors i distribuïdors; 3) termòstat; 4) generador de calor; 5) dipòsit d'ACS; 6) dipòsit d'inèrcia; 7) bomba de distribució d'aigua; 8) vàlvula de 3 vies; 10) instal·lació elèctrica. (Font: Preciogas by Selectra. 09/09/2021)

4. CARACTERÍSTIQUES DE L'AEROTÈRMIA

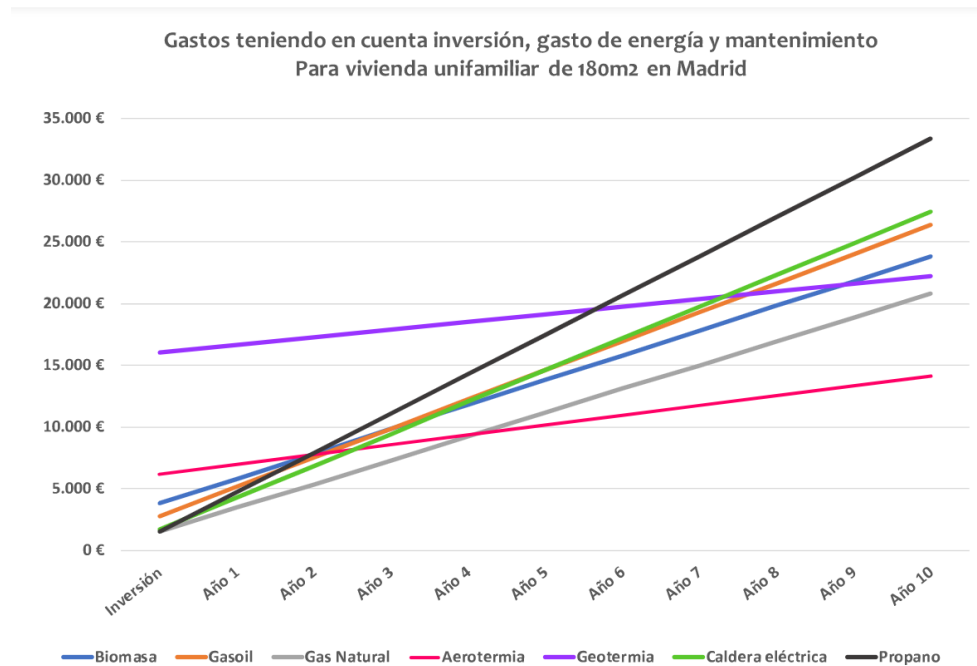
- 4.1. **Eficiència:** és el segon sistema d'obtenció d'energia més eficient, posicionat darrere la geotèrmia. Tanmateix, la inversió que suposa, entre 5.000 i 15.000€, és un 30% inferior als 15.000 ó 40.000€ de la geotèrmia.
- 4.2. **Instal·lació:** és senzill adaptar-la a sistemes no renovables ja existents atès que només cal substituir calderes per bombes de calor i 3 elements més, a més permet aprofitar els sistemes de terra radiant, aires condicionats i radiadors.
- 4.3. **Producció polivalent:** donat que les bombes de calor poden invertir el sentit de funcionament, l'aerotèrmia permet generar tant calor com fred.
- 4.4. **Estabilitat de potència:** l'eficiència del sistema és millorada pels variadors de freqüència que negligeixen els pics puntuals de consum propis d'altres aparells.
- 4.5. **Respecte mediambiental:** com que prescindeix del procés de combustió, evita un 65% de les emissions de CO₂ i gasos contaminants i d'efecte

hivernacle depesos al medi ambient respecte als sistemes de gasoil, gas natural o propà.



Gràfica 5. Comparació de les emissions anuals de CO₂. (Font pròpia. 09/09/2021)

En aquesta gràfica, per una banda s'aprecia la notable diferència entre les emissions de CO₂ anuals de l'aerotèrmia respecte el gasoil, el gas natural, el propà i la caldera elèctrica. I per altra banda, la geotèrmia i la biomassa resulten menys contaminants que l'aerotèrmia. Cal destacar que el valor de la biomassa és tan baix perquè les emissions de CO₂ produïdes en el procés de combustió compensen amb el CO₂ absorbit per la font d'energia del sistema: els arbres.



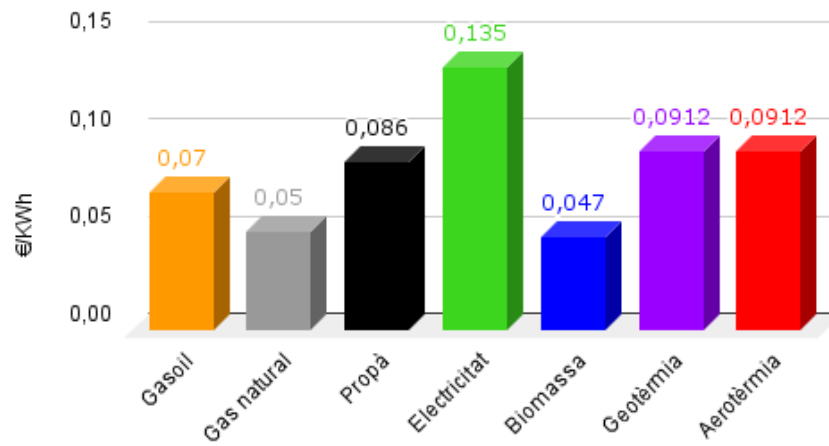
Gràfica 6. Comparació de les despeses de la inversió, del manteniment i del consum energètic de diverses energies. (Font: Enerpop. 08/09/2021)

En aquesta gràfica es demostra que a partir del quart any d'haver instal·lat el sistema, l'aerotèrmia és la que ofereix un major estalvi malgrat suposa la segona inversió inicial més cara. Així mateix, es reflecteix la lenta amortització de l'energia geotèrmica, ja que costa compensar l'elevada inversió inicial.

5. COST DE L'ENERGIA AEROTÈRMICA

El preu del kWh és d'uns 0'0912€, igual que el de la geotèrmica. Si bé és cert que és el segon preu més car darrere l'electricitat, cal tenir en compte que el consum és molt inferior al d'altres sistemes com el gasoil, el gas natural o el propà; ja que per cada kW consumit se'n generen de 3 a 4. Per tant, l'eficax producció de l'aerotèrmia compensa els 0'0912 €/kWh.

Comparació preus kWh



Gràfica 7. Comparació del preu del kWh en diferents energies. (Font pròpia. 09/09/2021)

5. MARC PRÀCTIC

1. PLANTEJAMENT I OBJECTIUS

L'objectiu principal de la part pràctica és substituir els sistemes actuals d'obtenció d'energia d'un habitatge ja existent per energies renovables més eficients, econòmiques i respectuoses amb el medi ambient.

Primerament, cal conèixer les condicions d'aïllament, de localització, climatològiques i geològiques de l'habitatge.

En segon lloc, s'ha de conèixer la despesa energètica mensual per saber la potència que cal generar.

El tercer objectiu consisteix en plantejar una instal·lació fotovoltaica capaç d'autoabastir energèticament l'habitatge, i seguidament valorar si hi ha algun altre sistema renovable que ofereixi un rendiment més elevat que el fotovoltaic per dissenyar una segona instal·lació.

Per tant, a la segona part del marc pràctic cal valorar quin o quins mètodes d'obtenció d'energia dels exposats al marc teòric resulten més eficients per complir amb l'objectiu principal.

En relació a l'energia solar i a la fotovoltaica, cal comparar els diversos tipus de plaques per conèixer-ne el seu rendiment i concloure quin model resulta més efectiu per la finalitat requerida. Referent a l'energia geotèrmica, s'han de comparar les condicions requerides per una producció efectiva amb les característiques geològiques de la ubicació de l'habitatge. I respecte a l'aerotèrmia, cal tenir-la en compte com a un sistema addicional combinable amb el fotovoltaic i el geotèrmic.

Dins el tercer objectiu se'n engloben altres de més específics que permeten desenvolupar detalladament el projecte d'instal·lació de sistemes renovables com ara: calcular les dimensions de les respectives instal·lacions, dissenyar-les i adaptar-les a les connexions i circuits elèctrics així com a l'estructura de l'habitatge.

El darrer objectiu tracta de fer un balanç econòmic d'ambdós projectes i seguidament realitzar una valoració de la sostenibilitat i del respecte amb el medi ambient de les instal·lacions proposades.

2. CÀLCUL DE LES NECESSITATS ENERGÈTIQUES DE L'HABITATGE

Per conèixer amb exactitud les necessitats energètiques de l'habitatge estudiat s'ha cregut convenient prendre els valors de les factures mensuals d'electricitat de l'últim any, on apareix la potència contractada i els quilowatts hora consumits.

Cal tenir en compte que el febrer del 2021 a l'habitatge d'estudi es va instal·lar una càmera frigorífica de 4 kW de potència i a partir d'aleshores el consum energètic mensual va augmentar considerablement. Per tant, els càlculs del projecte es realitzen en base als següents mesos. El consum mitjà mensual és d'uns 1002 kWh i la potència instal·lada és de 8 kW.

Respecte al cost que suposa l'obtenció de l'electricitat obtinguda de la xarxa de subministrament, cal tenir en compte el canvi de tarifa que hi va haver el mes de juny, que va suposar una notable disminució del preu de la factura. Per tant, el preu mitjà mensual de la factura d'electricitat és d'uns 180€.

Mes	Consum [kWh]	Import de la factura d'electricitat [€]
Febrer	858	188'86
Març	1217	168'14
Abril	1008	213'94
Maig	1043	221'35
Juny	926	176,01
Juliol	965	183'62
MITJANA MENSUAL	1002 kWh	179'82 (180€)
TOTAL ANUAL ESTIMAT	12024 kWh	

Taula 2. Taula del consum energètic mensual de l'habitatge estudiat i de l'import econòmic que suposa. (Font pròpia. 15/08/2021)

El consum d'aigua calenta sanitària a 60°C s'aproxima a 28 litres per persona i dia, de manera que a la casa estudiada, on n'hi resideixen 4, es necessiten uns 120 litres diaris a aquesta temperatura. Tanmateix, cal destacar que com que el consum energètic per l'escalfament d'aigua sanitària és tan baix en comparació amb la demanda total, que no es distingirà de la resta de consum energètic. És a dir que no opto per les plaques solars per l'escalfament d'aigua sanitària.

3. ESTUDI DE LES CONDICIONS D'AÏLLAMENT ACTUALS DE L'HABITATGE

- 3.1. **Parets**: les parets de l'habitatge amb contacte a l'exterior són de totxana de 15 cm, una càmera d'aire de 10 cm amb material aïllant i un envà de 5 cm; les cantonades i els pilars són de totxana gero de 15 cm.
- 3.2. **Coberta**: el pendent és donat per envans conillers amb aïllaments de fibra de vidre de 5 cm entre si, coberts per soleres d'encadellats i la teulada àrab amorterada. A més, consta dels punts de ventilació adequats formant així una coberta freda.
- 3.3. **Desaigües**: els tubs conductors són de PVC i consten d'una arqueta de registre sifònic i una fossa sèptica abans de la connexió amb la xarxa de subministrament general.
- 3.4. **Paviment**: tots els paviments interiors i també del porxo i la terrassa són de gres, a més a l'interior hi ha un sòcol de marbre de 6 cm d'altura.
- 3.5. **Revestiment**: les parets interiors i el sostre del porxo i la terrassa estan arrebossats amb ciment pòrtland, sorra i calç; a més l'interior hi ha un recobriments de guix a excepció dels banys que estan folrats amb rajoles.
- 3.6. **Electricitat**: la instal·lació elèctrica està encastada i es constitueix de cables antihumitat coberts per tubs semirígids de plàstic que acaben a les corresponents caixes de connexió.
- 3.7. **Fontaneria**: el circuit interior es troba encastat i es compon de tubs de ferro galvanitzat roscat o amb coure recuit. La xarxa distribuïdora d'aigua calenta

està protegida per tubs corrugats de plàstic amb una subtil capacitat de dilatació tèrmica, els desaigües invisibles són de PVC i els percebibles amb ampolles cromades amb forma de sífó.

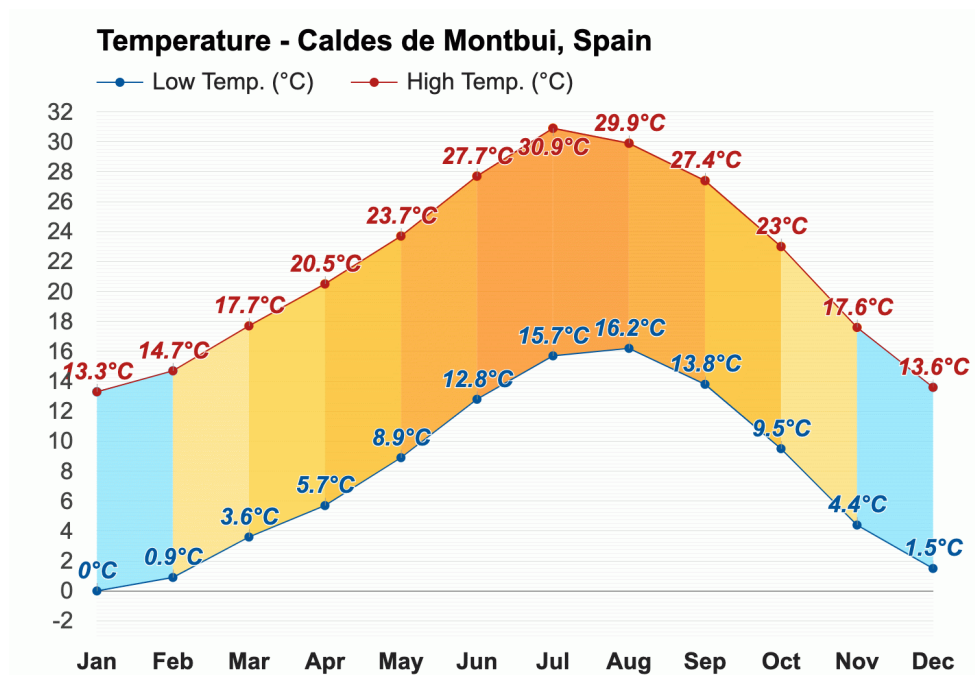
- 3.8. **Cristalleria:** a totes les obertures amb contacte a l'exterior hi ha doble vidre de gruix 4-12-4, amb transmissió tèrmica d'1'6, i de 4-8-6 per a les de major dimensió.

Donades aquestes condicions d'aïllament, no és necessari reformar l'estructura de les parets l'habitatge per afegir-hi material aïllant, ni canviar les finestres ja que tenen doble vidre i tanquen hermèticament. El sostre i la teulada també estan ben aïllats i no hi ha humitat ni goteres, de manera que es prescindeix d'una inversió prèvia a la instal·lació d'energia renovable.

4. ESTUDI DE LA LOCALITZACIÓ I LA CLIMATOLOGIA

L'habitatge es troba la urbanització de La Font dels Enamorats als afores de Caldes de Montbui a una altitud de 347 metres sobre el nivell del mar, les coordenades són 41.655 N, 2.174 O i la façana principal està orientada cap al sud amb una lleugera inclinació cap a l'oest.

En relació a la climatologia, la temperatura mitjana anual és de 14'5°C, el mes més fred és el gener amb una mitjana de 6'6°C mentre que els 23'1°C de l'agost fan que sigui el més calorós.



Gràfica 8. Mitjana empírica de les temperatures màximes i mínimes mensuals a Caldes de Montbui en un any. (Font: Weather Atlas. 04/08/2021)

La precipitació mensual mitjana anual prenent les dades del 2020 de l'Institut d'Estadística de Catalunya, és de 135'05 l/m² i la mitjana mensual de dies de pluja és de 6'2. Paral·lelament, cal destacar que uns 5'6 dies al mes són ennuvolats (es consideren ennuvolats els dies amb un 80% o més de núvols que cobreixen el cel), fet que no implica deixar de rebre radiació solar; en conseqüència uns 24'4 dies mensuals són assolats.

- 4.1. **Orientació dels mòduls:** la inclinació més adequada oscil·la entre els 30 i els 40°, concretament a l'habitatge d'estudi la que ofereix un millor rendiment és de 34° respecte al pla horitzontal segons els càlculs obtinguts a la calculadora de *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*.

1a PART PRÀCTICA: PROJECTE AMB ENERGIA FOTOVOLTAICA

Un cop conegudes les condicions d'aïllament de les que disposa actualment l'habitatge i el consum energètic que cal cobrir, s'inicia el disseny de la instal·lació amb energia fotovoltaica.

5. TRIA DELS ELEMENTS MÉS ADEQUATS PEL SISTEMA FOTOVOLTAIC

5.1. **Panells:**

- 5.1.1. **Elecció dels panells:** donat que el model Maxeon, del fabricant Sunpower amb garantia de 25 anys, és el que ofereix un rendiment més elevat actualment i hi ha models amb potència de 400 i de 420W, es consideren els més adequats per abastir les necessitats de la casa. Endemés, són plaques monocristal·lines de silici pur que ofereixen un rendiment superior a les policristal·lines i als cristalls amorfs. Una altra característica convincent d'aquest model és el vidre resistent que cobreix les cèl·lules solars, doncs és resistent a calamarsa de 25 mm de diàmetre a velocitat de 83 km/h. A més, pot treballar a temperatures de -40 fins a +60°C, tot i que la temperatura ambient no hauria de superar els 50°C, i l'altitud màxima on s'instal·len ha de ser inferior als 2000 m. Com que les condicions climatològiques de Caldes s'adiuen a aquests paràmetres, es consideren

l'opció més adequada. També es valoren positivament els microinversors Enphase recomanats pels panells *Maxeon 5 AC* que es connecten i treballen individualment a cadascun. Es caracteritzen per no reduir el rendiment del sistema fotovoltaic a la producció de la placa menys eficient, com la majoria d'inversors convencionals, doncs la potència del conjunt és la mitjana aritmètica de tots els panells. Finalment, cal destacar el baix percentatge de pèrdues per la temperatura, que és de -0'29%, un valor inferior als habituals -0'4%.

- 5.1.2. **Quantitat necessària:** atès que la potència contractada a l'habitatge d'estudi és de 8 kW i les plaques escollides tenen una potència de 420W, per conèixer el nombre de col·lectors necessaris cal dividir la potència requerida per la que generen individualment.

Panells necessaris = Potència contractada [W] : Potència 1 panell [W]

8000 W : 420 W = 19.05 panells

El nombre de panells necessaris s'arrodoneix a 19.

- 5.1.3. **Dimensionament i distribució:** cal saber les mides d'una placa per adaptar-les estèticament a la teulada de l'habitatge. El panell *Maxeon AC 5* mesura 1017 x 1835 mm x 4 cm de gruix, i la teulada millor orientada de la casa, cap al sud, té forma trapezoidal i les dimensions són 15'2 m de base inferior per 4'1 m de base superior i 5'6 m d'altura. Per tant, no hi ha problema per encabir les 19 plaques en aquesta superfície ja que l'àrea total de les plaques és de 35'46 m² i la de la teulada és de 52'8 m².

Si bé és cert que hi ha espai suficient, cal tenir en compte la forma de trapezi donat que no permet aprofitar tota la superfície disponible, per tant cal buscar la millor distribució de les plaques per adaptar la instal·lació a la teulada.

S'ha decidit col·locar els panells verticalment perquè l'amplada de la base superior és de 4'1 metres i permet posar-ne 4 de seguits aprofitant 4'07 metres, si pel contrari s'instal·lessin horitzontalment només s'utilitzarien 3'67 m i no convé malgastar espai.

En relació al nombre de files, n'hi caben 3 i encaixen a la perfecció ja que l'alçada de la teulada és de 5'6 m i 3 files de plaques verticals ocupen 5'51 m.

Aleshores només falta distribuir les plaques de les 2 files inferiors, doncs a la segona n'hi caben 6 i a la de més avall les 9 restants.

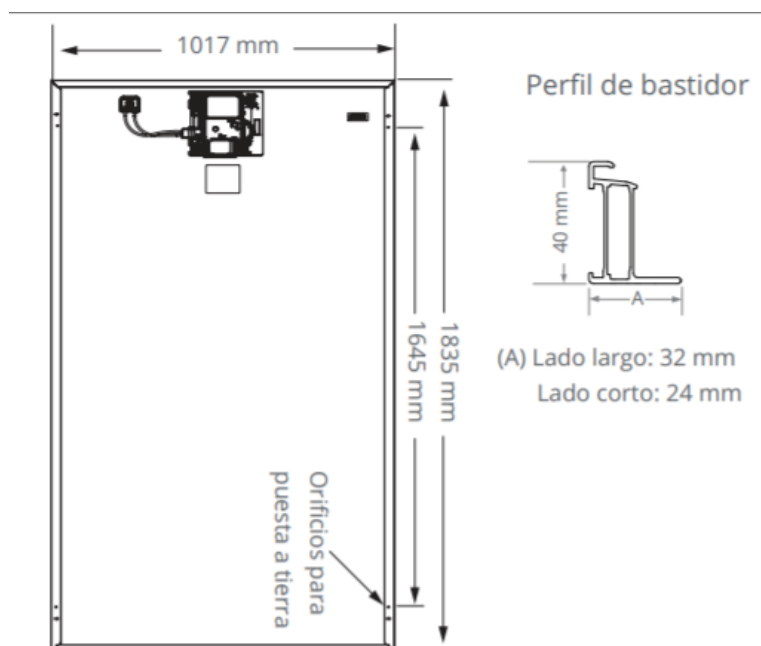


Figura 37. Dibuix i mides del panell *Maxeon 5 AC*. (Font: Sunpower Solar Technologies. 08/07/2021)

5.1.4. **Connexió dels panells:** hi ha tres maneres de connectar les plaques entre sí: en sèrie, que se suma el voltatge mentre que la intensitat és constant; en paral·lel, on la intensitat és acumulativa mentre que el voltatge no; o mixta, una combinació de sèrie i paral·lel que augmenta tant el voltatge com la intensitat i es recomana per a connexions de 5 o més plaques.

Donat que la instal·lació plantejada consta de 19 panells fotovoltaics, el tipus de connexió més adequat és el mixte. La connexió en sèrie uneix 3 cadenes de 5 panells i una cadena de 4 panells, mentre que en paral·lel es connecten aquestes 4 cadenes.

5.2. Inversor

5.2.1. **Elecció de l'inversor:** aquest element està connectat directament a la placa i la seva funció principal és transformar en corrent altern el corrent continu que generen els panells fotovoltaics. Per tant, cal triar deliberadament el model d'inversor ja que determina la producció de tot el sistema.

Com que s'han escollit les plaques *Maxeon 5 AC*, es pensa que l'inversor més adequat és el microinversor Enphase. Aquest tipus d'inversors es connecten individualment a cada panell de manera que la producció de cadascun és independent i no es redueix a la del panell menys productiu. A més, compten amb un mode anomenat ràfega o Burst Mode que permet generar corrent durant les hores de baixa insolació, i fins i tot aprofitar els primers i els últims rajos del dia amb la sortida i la posta de sol. Conseqüentment, aquestes dues característiques intrínseques dels microinversors Enphase augmenten el rendiment de tot el sistema que comporta una producció superior a altres tipus d'inversors, que produeixen durant menys hores i a una potència inferior.

Un altre benefici que ofereixen aquests microinversors és la seguretat de convertir el corrent continu que genera un sol panell en corrent altern, ja que amb els inversors convencionals *string* se sumen les tensions de corrent continu de tots els panells i posteriorment es transforma en altern. Per tant, amb Enphase el risc d'incendi i d'electrocució es minimitza, doncs la tensió de corrent continu que acumula com a màxim és de 60V, mentre que amb els inversors *string* arriba als 1000V.

Pel que fa al temps d'instal·lació, també és inferior que els inversors *string* gràcies a la tecnologia *plug and play*. Concretament un microinversor Enphase s'instal·la en 3:26 minuts mentre que amb l'altre se'n tarden 4:54. Tot i que aquesta dada pugui semblar irrellevant, cal destacar que com menys minuts es tarda en muntar el sistema, inferior resulta el cost de la mà d'obra de l'empresa instal·ladora.

En relació a la rendibilitat, cal destacar que els microinversors Enphase aprofiten tota l'energia produïda per les plaques, tenen una eficiència un 3'1% més elevada que els *string* i requereixen molt poc manteniment, per aquest motiu la garantia que els acompanya és de 25 anys.

A més, aquests microinversors permeten connectar cadenes de diferent nombre de panells, de diversos tipus i potències i que poden diferir en l'angle d'orientació. Aquesta característica resulta molt interessant en la casuística estudiada considerant que el conjunt fotovoltaic consta de 19

plaques, un nombre primer que impediria la connexió mixta de sèrie i paral·lel.

Finalment, cal afegir que els microinversors Enphase permeten ampliar o reduir la quantitat de panells de la instal·lació ja que treballen individualment. Per tant, no és necessari canviar l'inversor en cas d'expansió del sistema, sinó que només cal afegir-ne un per panell. Aquesta solució resulta més econòmica i eficient que la substitució d'un inversor per les connexions convencionals o *string*.

5.2.2. **Elecció del model d'Enphase:** hi ha 4 models disponibles (IQ7, IQ7+, IQ7X i IQ7A) que funcionen amb la mateixa tecnologia i ofereixen els mateixos beneficis i inconvenients exposats amb anterioritat, el que difereix entre ells són els valors de corrent continu d'entrada amb els que treballen. L'IQ7 es descarta ja que només és apte per a mòduls amb potències d'entre 235 i 350W.

El següent paràmetre a analitzar dels 3 restants és la compatibilitat amb els panells segons el nombre de cèl·lules que els formen, doncs només l'IQ7A treballa amb mòduls de 66 cèl·lules que són les que componen el *Maxeon 5 AC*. Per estar assegurat-se de l'elecció s'ha comprovat que a la fitxa tècnica del panell triat també s'ha optat per aquest model de microinversor.

INFORMACIÓN DE ENTRADA (CC)	IQ7-60-2-INT	IQ7PLUS-72-2-INT	IQ7X-96-2-INT	IQ7A-72-2-INT
Potencia de módulo recomendada (CEM) ¹	235 W - 350 W +	235 W - 440 W +	320 W - 460 W +	295 W - 460 W +
Compatibilidad de módulos, consultar herramienta en línea	Únicamente 60 células	60 y 72 células	96 células	60, 66 y 72 células
Tensión máx. de CC de entrada	48 V	60 V	79,5 V	58 V
Rango de tensión de funcionamiento	16 V - 48 V	16 V - 60 V	25 V - 79,5 V	18 V - 58 V
Tensión mín/máx de inicio	22 V / 48 V	22 V / 60 V	33 V / 79,5 V	33 V / 58 V
Corriente máx. de cortocircuito (Isc del panel)	15 A	15 A	10 A	15 A
Clase de protección frente a sobretensiones de CC	II	II	II	II
Corriente de realimentación por entrada de CC	0 A	0 A	0 A	0 A

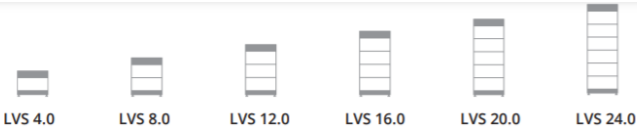
Taula 3. Fitxa tècnica dels 4 microinversors Enphase. (Font: Enphase energy. 16/08/2021)

5.3. Bateria

5.3.1. **Elecció de la bateria:** per escollir el model de bateria primerament cal buscar que s'adapti al voltatge de la instal·lació i a la potència contractada. Doncs el consum mensual de la casa d'estudi supera els 150 kWh i la potència és superior als 5 kW, concretament són 1002 kWh mensuals i 8 kW de potència, per tant, el voltatge requerit és de 48V. En conseqüència

cal buscar el model de bateries adaptable a 48 V i 8 kWh amb el major rendiment possible i la garantia més duradora.

La bateria solar de liti BYD B-BOX PREMIUM LVS 8.0 de 48 V i 8 kWh amb una garantia de 10 anys, és la que penso que s'ajusta més a les necessitats de l'habitatge d'estudi.



	LVS 4.0	LVS 8.0	LVS 12.0	LVS 16.0	LVS 20.0	LVS 24.0
Módulo	LVS (4 kWh, 51.2 V, 45 kg)					
Número de módulos	1	2	3	4	5	6
Energía Utilizable [1]	4 kWh	8 kWh	12 kWh	16 kWh	20 kWh	24 kWh
Máx. Corriente de Salida [2]	65 A	130 A	195 A	250 A	250 A	250 A
Corriente de salida pico [2]	90 A, 5 s	180 A, 5 s	270 A, 5 s	360 A, 5 s	360 A, 5 s	360 A, 5 s
Dimensiones (H/W/D)	478 x 650 x 298 mm	711 x 650 x 298 mm	944 x 650 x 298 mm	1177 x 650 x 298 mm	1410 x 650 x 298 mm	1643 x 650 x 298 mm
Peso	64 kg	109 kg	154 kg	199 kg	244 kg	289 kg
Voltaje Nominal	51.2 V					
Voltaje Operativo	40-57.6 V					
Temperatura Operativa	-10 °C to +50°C					
Tecnología de Celda	Litio Fosfato de Hierro (libre de Cobalto)					
Comunicación	CAN / RS485					
Protección IP	IP55					
Eficiencia Ida/Vuelta	≥95%					
Escalabilidad [3]	Máx. 64 en paralelo (256 kWh)				configuración una torre	
Certificados	VDE2510-50 / IEC62619 / CE / CEC / UN38.3					
Aplicaciones	ON Grid / ON Grid + Backup / OFF Grid					
Garantía [4]	10 Años					
Inversores Compatibles	Consulte la Lista de Configuración Mínima de Battery-Box Premium LVS					

[1] Energía Utilizable en CC. Condiciones de Test: 100% DO, 0.2C carga & descarga a 25°C. La energía utilizable puede variar con el inversor que se utilice
 [2] Derating de corriente de carga ocurre desde -10°C a +5°C
 [3] Configuración de torres en paralelo está disponible con un máximo de 4 módulos por torre. LVS 20.0 y LVS 24.0 están disponible para configuración tan sólo en una torre individual.
 [4] Aplican condiciones. Consulte la Carta de Garantía de BYD Battery-Box Premium

Taula 4. Fitxa tècnica de les bateries solars de liti BYD B-BOX PREMIUM LVS. (Font: Ecofener. 17/08/2021)

Però cal tenir en compte que la bateria no és un element essencial en una instal·lació fotovoltaica d'aprofitament de l'energia solar, per tant, cal valorar si surt a compte incloure-la al sistema. Endemés, com que en el cas pràctic estudiat hi ha la opció de connectar-se a la xarxa elèctrica, les necessitats de l'habitatge poden ser cobertes amb energia externa en els períodes de menor producció.

Aleshores s'ha optat per valorar el preu de la bateria juntament amb el BMU, l'element que permet connectar la bateria amb l'inversor, i el cost és de 4.619 € de la bateria + 169 € del BMU = 4.788 €.

Tenint present aquest valor no surt a compte incloure-la al sistema, doncs el conjunt de panells solars proposats ja és capaç de generar l'energia requerida sense necessitat d'acumular-la per les hores de baixa insolació.

5.4. **Estructura**

- 5.4.1. **Elecció de l'estructura de suport dels panells fotovoltaics:** l'estructura cal que sigui d'alumini o acer inoxidable ja que s'instal·la a la intempèrie i no pot oxidar-se amb l'aigua. També ha de ser adaptable a teules àrabs o corbes, superfícies inclinades i a panells de 1835x1017x40 mm.

Es comparen les estructures dissenyades específicament per a la instal·lació de sistemes fotovoltaics amb suports o estructures com ara barres d'acer inoxidable que també poden satisfer les necessitats requerides.

Per una banda, es contempla l'estructura 01V de Sunfer que pot ser instal·lada en teulades inclinades amb teules corbes i és adaptable a panells de fins a 2200x1150x45 mm. El conjunt és d'alumini i els cargols, ja inclosos en el preu, són d'acer inoxidable; la garantia és de 10 anys. I per altra banda, es consideren els perfils angulars d'acer inoxidable, ideals per la instal·lació del sistema ja que són lleugers, no s'oxiden, estan preparats per estar a l'aire lliure i a més, tenen diversos forats per on fer-hi passar els claus i fixar-los.

Ambdues estructures compleixen adequadament la funció de suportar les plaques i les inclemències meteorològiques, però els 780€ que suposa el conjunt 01V de Sunfer respecte als 350€ de l'equip de perfils angulars fan optar per la segona opció.

A la pàgina web de Leroy Merlin s'ofereixen perfils d'acer inoxidable de 3'5x3'5 cm de llargada de les pestanyes i 2 metres de longitud que són els que surten més a compte. Tot i haver perfils de 4x4 cm, els de 3'5 cm són suficients per aguantar els elements de la instal·lació fotovoltaica plantejada.

- 5.4.2. **Dimensionament:** aleshores cal determinar la morfologia de l'estructura per sostenir les plaques i posteriorment calcular els metres necessaris per

construir-la. Per utilitzar els mínims metres possibles es considera que la millor opció són dos perfils horitzontals per cadascuna de les 3 files, de manera que l'amplada d'1'017m per les 19 plaques equival a 19'323m necessaris. Si es venen cada 2 m es necessiten 10 unitats que equivalen a 49'4€ ja que és el resultat de 4'94€/2m per 10.

$$1'017\text{m} \times 19 = 19'323 \text{ m (20m aproximadament)}$$

$$4'94\text{€} \times 10 = 49'4\text{€}$$

Per tant, es necessiten uns fixadors laterals per subjectar cada placa als perfils angulars, doncs en calen 4 per cadascun, 76 en total (4x19). A bricoelige val 1'28€ la unitat de manera que el cost total és de 97'41€.

$$(4 \times 19) \times 1'28\text{€} = 97'41\text{€}$$

També calen unes varetes roscades que uneixin els perfils amb la teulada, en total la instal·lació en requereix 30 perquè d'aquesta manera es distribueix el pes dels panells en diversos punts. A Gemsasolar el cost és de 174€ donat que la unitat de la marca Sunfer val 5'80€ i en calen 30.

$$5'80\text{€} \times 30 = 174\text{€}$$

5.5. **Cable:**

5.5.1. **Elecció dels cables conductors:**

El cable TOPSOLAR (PV) ZZ-F/H1Z2Z2-K ofereix una vida útil de 30 anys si treballa a una temperatura d'uns 90°C, el seu disseny és específic per al transport de corrent continu i suporta elevats voltatges i inclemències meteorològiques. A més, consta d'un aïllament d'etilè propilè que resisteix els 120°C i conseqüentment, la intensitat que admet és superior que la dels cables convencionals.

Es compon de fils flexibles d'estany de classe 5, un aïllament de bona qualitat d'etilè propilè, una coberta d'etil vinil acetat i materials obturadors que impossibiliten la transmissió de la humitat en cas que la coberta es perfori. Aquesta estructura permet que el diàmetre del cable sigui reduït, concretament de 6 mm, molt flexible i pràctic d'instal·lar.

A Atersa Shop es ven el metre de cable TOPSOLAR (PV) ZZ-F/H1Z2Z2-K per 1'82€.

6. VALORACIÓ DEL COST I L'EFICIÈNCIA DELS ELEMENTS DE LA INSTAL·LACIÓ

Per conèixer amb la major precisió possible el cost de la instal·lació solar fotovoltaica plantejada, a més de tenir en compte el preu de tots els elements escollits, cal saber que hi ha despeses addicionals, principalment les dels tràmits administratius. El permís d'obres i la legalització de la instal·lació en són els dos exemples més comuns.

- 6.1. **Panells:** els panells escollits són els *Maxeon 5 AC* que tenen un preu unitari de 711'08€ al web de Cambio Energético, de manera que els 19 panells costen 13.510'52€. Malgrat sigui una despesa inicial considerable, resulta beneficiosa al llarg dels 25 anys de vida del sistema fotovoltaic donat l'elevat rendiment que ofereix aquest model.
- 6.2. **Inversor:** el preu unitari del microinversor Enphase IQ7A al web de Cambio Energético és de 241'55€, doncs en calen 19 a la instal·lació proposada ja que cada panell en requereix un. Per tant, el cost total és de 4.589'45€, una xifra elevada però com que ofereix millor rendiment que els inversors convencionals i la vida útil és de 25 anys, surt a compte aquesta despesa inicial.
- 6.3. **Estructura:** el cost de l'estructura sumant els perfils angulars (49'4€), els fixadors laterals (97'41€) i les varetes (174€) és de 320'81€.
- 6.4. **Cablejat:** La llargada de cable necessari es calcula tenint en compte que per la connexió en sèrie s'ha de connectar el terminal positiu d'un panell amb el negatiu del següent panell, i en paral·lel es connecten els terminals negatius per un costat i els positius per l'altre.
Per conèixer la longitud necessària amb la major precisió possible ho estudiarem per cadenes.
La primera consta de les 4 plaques de la primera fila, calen 0'5m x3 i uns 2m per cada terminal de la connexió paral·lela.
La segona, composta per les 5 primeres plaques de la segona fila necessita 0'5m x4 i uns 3m més per la unió paral·lela.
Per la tercera, formada per l'última placa de la segona fila i les 4 de la dreta de la tercera fila, calen 0'5m x4 i uns 6m per la connexió en paral·lel.

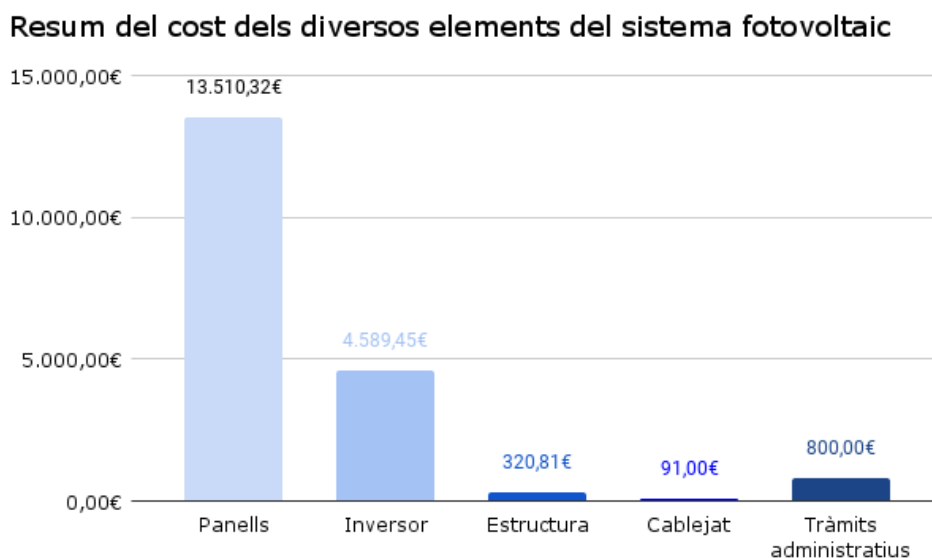
La quarta i última, composta per les 5 plaques de la dreta de la fila inferior, requereix 0'5m x4 i uns 4m per la unió en paral·lel.

Concloentment calen $(0'5 \times 15) + 17 = 24'5$ metres de cable per les connexions entre les plaques. A més cal afegir el cablejat necessari per la connexió al quadre elèctric de l'habitatge per poder consumir el corrent generat, s'aproximen els metres necessaris a uns 25.

Per tant, el disseny de la instal·lació proposada requereix uns 50 metres de cable a 1'82€ el metre, el preu total és de 91€.

ELEMENT	MODEL	QUANTITAT	PREU UNITARI	IMPORT
Panells	<i>Maxeon 5 AC,</i> 420W	19	711'08€	13.510'32€
Inversor	Microinversor Enphase IQ7A	19	241'55€	4.589'45€
Estructura	Perfil angular d'acer inoxidable (Leroy Merlin)	10	4'94€	49'4€
	Fixador lateral (Bricoelige)	76	1'28€	97'41€
	Vareta roscada (Sunfer)	30	5'80€	174€
Cablejat	TOPSOLAR (PV) ZZ-F/H1Z2Z2- K (6mm)	50	1'82€	91€
Tràmits administratius	-	1	800€	800€
TOTAL	-	-	-	19.311'58€

Taula 5. Taula de simulació de la factura dels elements i tràmits de la instal·lació. (Font pròpia. 18/08/2021)



Gràfica 9. Resum del cost dels diversos elements del sistema fotovoltaic. (Font pròpia. 18/08/2021)

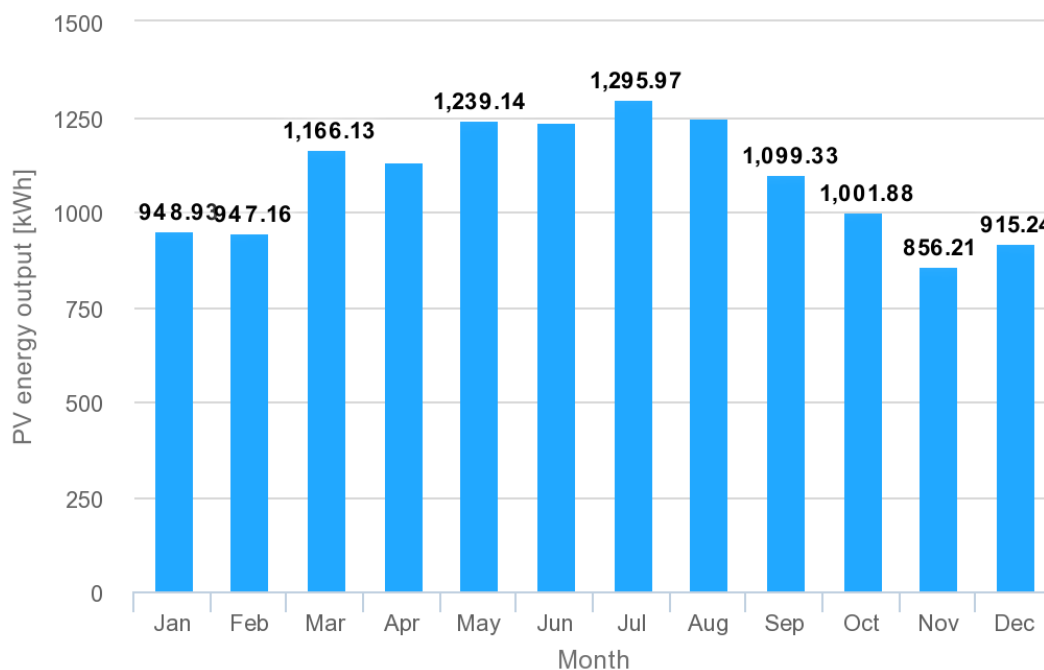
El cost total de la instal·lació fotovoltaica d'autoconsum proposada és de 19.311'58€, un pressupost que pot fluctuar en funció dels preus dels productes escollits i que, alhora garanteix una vida útil de tot el sistema de 25 anys.

7. CÀLCUL ECONÒMIC SEGONS DIVERSOS PARÀMETRES

- 7.1. **Potència generada:** per saber en quants anys serà amortitzada la inversió inicial del sistema fotovoltaic primerament cal calcular la potència mensual mitjana generada pel conjunt, 1090'91 kWh, dades que s'ha pogut obtenir mitjançant la calculadora "Performance of Grid-Connected PV" de JRC PVGIS.

Monthly energy output from fix-angle PV system

(C) PVGIS, 2021



Gràfica 10. Energia generada mensualment amb la instal·lació proposada. (Font: PVGIS. 19/08/2021)

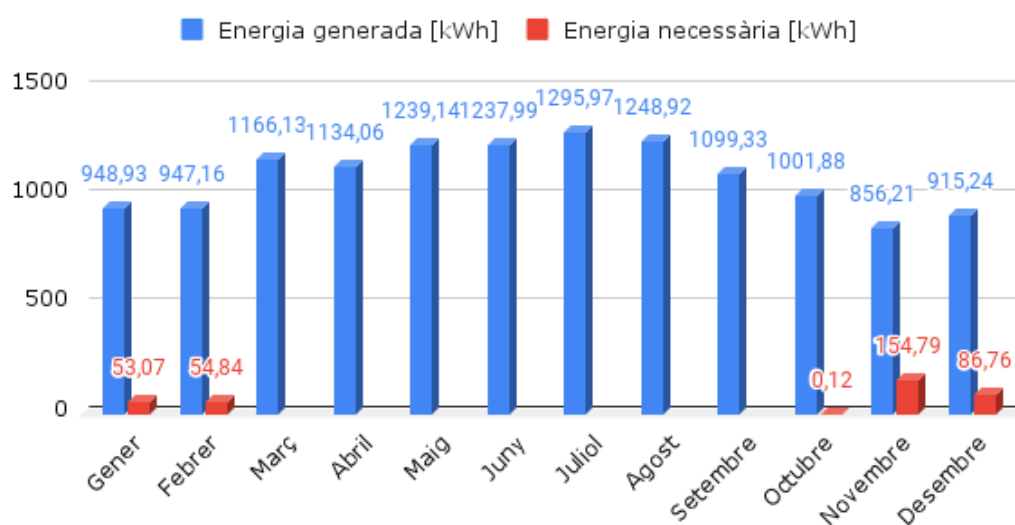
- 7.2. **Venda de l'excedent energètic:** seguidament es calcula l'excedent de kW mensuals generats, respecte els 1002 kWh necessaris a la casa d'estudi en un mes, per multiplicar el valor obtingut pel preu de venda de l'energia restant.

Mes	Energia generada per la instal·lació en [kWh]	Energia necessària els mesos de menor producció [kWh]
Gener	948'93	53'07
Febrer	947'16	54'84
Març	1166'13	-
Abril	1134'06	-
Maig	1239'14	-

Juny	1237'99	-
Juliol	1295'97	-
Agost	1248'92	-
Setembre	1099'33	-
Octubre	1001'88	0'12
Novembre	856'21	154'79
Desembre	915'24	86'76
MITJANA MENSUAL	1090'91	-
EXCEDENT MENSUAL MITJÀ respecte als 1002 kWh requerits	88'91	-
ENERGIA TOTAL NECESSÀRIA DE LA XARXA	-	349'58 kWh

Taula 6. Taula del càlcul mensual de l'energia generada respecte la necessària. (Font pròpia. 01/09/2021)

Resum de l'energia mensual generada per la instal·lació fotovoltaica i la necessària addicionalment



Gràfica 11. Resum de l'energia mensual generada per la instal·lació fotovoltaica i la necessària addicionalment els mesos de menor producció. (Font pròpia. 01/09/2021)

El preu aproximat de venda de l'energia generada per sistemes fotovoltaics connectats a la xarxa el proper any 2022 és de 0'04882 €/kWh (dades extretes del Blog Tecno Sol). Donat aquest valor ja es poden calcular els diners estalviats cada any que sumats a l'import que pagàvem a la companyia elèctrica mensualment ens permetran calcular en quants anys amortitzarem la inversió de 19.311'58€ que suposa la instal·lació dissenyada.

$$88'91 \text{ kWh} \times 0'04882 \text{ €/kWh} = 4'3406\text{€}$$

La venda mensual mitjana de l'energia generada i abocada a la xarxa és de 4'3406€, de manera que anualment són 52'087€. I l'import mensual mitjà de la factura d'electricitat és de 180€, doncs representen 2160€ anuals.

- 7.3. **Compra d'energia els mesos hivernals:** cal tenir en compte que al llarg de l'any es necessitaran uns 349'58 kWh d'energia extreta de la xarxa de subministrament ja que els mesos de gener, febrer, octubre, novembre i desembre calen alguns kW més dels que produeix la instal·lació fotovoltaica d'autoconsum plantejada.

A la factura d'electricitat de la casa estudiada hi ha dos preus de l'energia elèctrica consumida depenent del tram horari en què es necessiti: el primer terme són 0'179765€ mentre que el segon és de 0'112628€. Donat que el primer tram representa un 35% i el segon tram un 65%, el preu mitjà de l'energia elèctrica de la xarxa s'arrodoneix a 0'1345€.

En base a aquest preu es pot conèixer la despesa anual aproximada que cal restar a l'estalvi mitjà calculat.

$$350 \text{ kWh} \times 0'1345 \text{ €/kWh} = 47'075\text{€}$$

- 7.4. **Càlcul de l'estalvi anual:** per tant l'estalvi mitjà anual amb el sistema fotovoltaic plantejat respecte a la instal·lació actual és de 2165'02, fruit de restar l'import anual a pagar als 2212'087€ estalviats amb la instal·lació d'energia renovable.

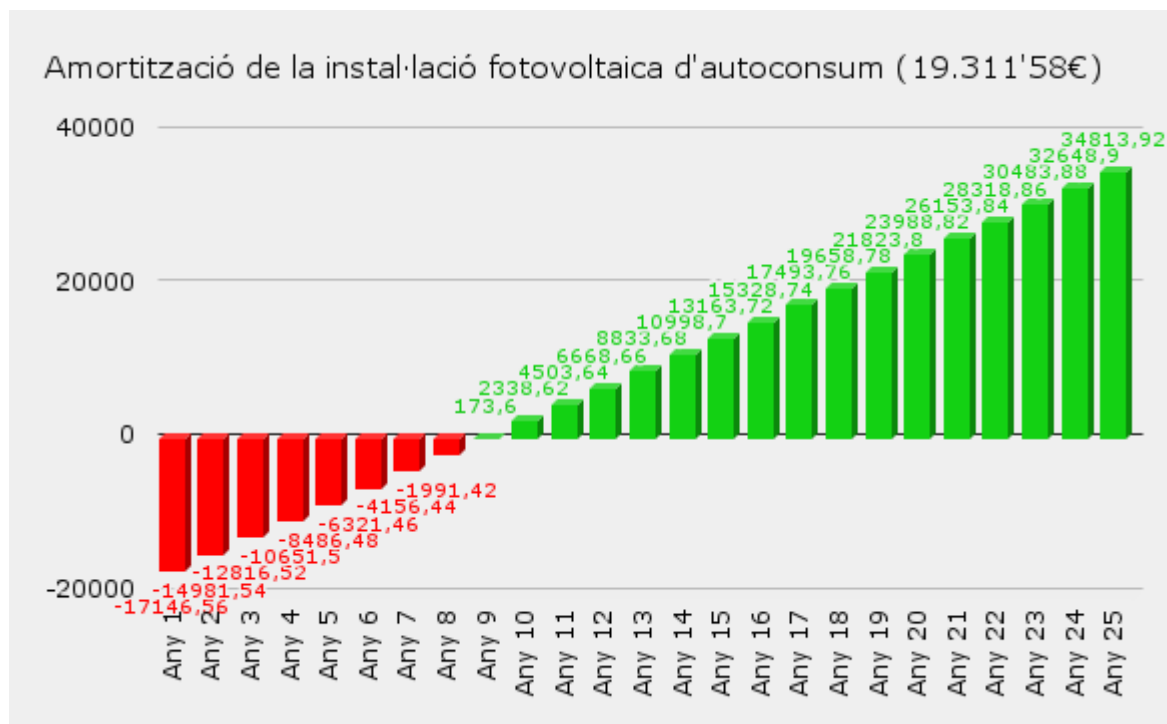
8. AMORTITZACIÓ DE LA INVERSIÓ

Sabent la inversió del projecte i l'estalvi que suposa anualment ja es pot calcular en quants anys s'amortitzaran els 19.311'58€ invertits inicialment, doncs cal dividir l'import pels 2212'087€ d'estalvi anual.

$$19.311'58:2165'02 = 8'92 \text{ anys}$$

En uns 9 anys aproximadament la instal·lació s'hauria amortitzat, per tant, a partir del desè any ja s'obtidrien beneficis provinents dels 2160€ anuals estalviats de la factura d'electricitat i dels kWh venuts a la xarxa.

Cal tenir en compte que els preus de la compra i venda d'electricitat i d'energia varien constantment i fluctuen al llarg dels anys, de manera que els càlculs són aproximats però força fiables amb els preus actuals.



Gràfica 12. Amortització de la instal·lació fotovoltaica proposada. (Font pròpia. 01/09/2021)

- 8.1. **Ajudes econòmiques de la Generalitat de Catalunya i de l'Estat Espanyol:** la Generalitat de Catalunya ofereix uns "Ajuts a l'autoconsum i emmagatzematge d'energia renovable, i a sistemes tèrmics renovables en el sector residencial" que resulten interessants per compensar bona part de la inversió inicial i amortitzar-la més ràpidament.

Hi ha sis programes d'incentius classificats segons la font energètica del sistema: fotovoltaica o eòlica; i també en funció del sector que forma part el client: residencial, serveis o tercer sector. Nosaltres ens adaptem i ens beneficiem del quart: "Programa d'incentius 4: Realització d'instal·lacions d'autoconsum, amb fonts d'energia renovable, en el sector residencial, les administracions públiques i el tercer sector, amb o sense emmagatzematge".

L'annex 3 del butlletí oficial de l'Estat Espanyol presentat el 30 de juny de 2021 explica que el client es beneficia d'una ajuda base: un percentatge fix determinat segons la potència del sistema, i d'una ajuda addicional que depèn dels kW pic de la instal·lació i de la capacitat del sistema d'emmagatzematge.

Doncs l'ajuda total deriva de la següent equació:

$$(\text{Mòduls} \times \text{kW pic}) + (\text{Mòduls} \times \text{capacitat en kWh}) = \text{Ajuda total}$$

- 8.2. **Amortització de la instal·lació amb les ajudes:** atès que la instal·lació fotovoltaica dissenyada no consta de bateries d'emmagatzematge energètic, cal multiplicar el nombre de mòduls fotovoltaics pels kWp de la instal·lació que són 8, la potència contractada a la casa analitzada.

$$19 \text{ mòduls} \times 8 \text{ kWp} = 152\text{€ d'ajut}$$

Paral·lelament hi ha una altra ajuda relacionada també amb els kWp del sistema, i en base als 8 kWp de la instal·lació fotovoltaica d'autoconsum plantejada, l'ajuda és de 600€ per mòdul.

$$19 \text{ mòduls} \times 600\text{€} = 11.400\text{€ d'ajut}$$

Programas de incentivos 4: Realización de instalaciones de autoconsumo, con fuentes de energía renovable, en el sector residencial, las administraciones públicas y el tercer sector, con o sin almacenamiento

Los módulos que definen la ayuda a cada una de las actuaciones son los siguientes:
Sector residencial:

Actuaciones	Módulo [Ayuda (€/kWp)]	Módulo para el caso de autoconsumo colectivo [Ayuda (€/kWp)]
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (1.000 kWp < P ≤ 5.000 kWp).	300	355
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (100 kWp < P ≤ 1.000 kWp).	350	420
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (10 kWp < P ≤ 100 kWp).	450	535
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (P ≤ 10 kWp).	600	710
Instalación eólica (500 kW < P ≤ 5.000 kW) para autoconsumo.	650	775
Instalación eólica (20 kW < P ≤ 500 kW) para autoconsumo.	1.950	2.250
Instalación eólica (P ≤ 20 kW) para autoconsumo.	2.900	3.350

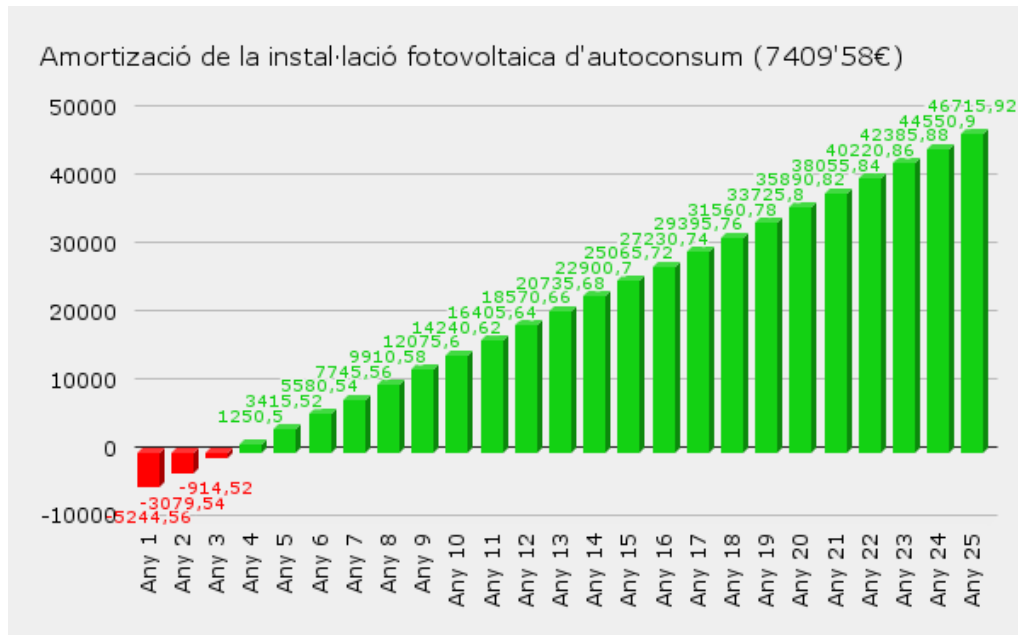
Taula 7. Taula d'ajudes del BOE per a instal·lacions d'autoconsum de fonts renovables al sector residencial. (Font: *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*. 01/09/2021)

Per tant, des de l'Estat rebem una ajuda econòmica de $152 + 11.400 = 11.902\text{€}$, de manera que l'amortització ja no és sobre els $19.311'58\text{€}$ sinó que cal restar l'import de l'ajuda rebuda per obtenir com a resultat $7409'58\text{€}$.

L'estalvi econòmic basat en l'energia excedent venuda i els 2160€ anuals de la factura d'electricitat es mantenen igual que a l'amortització sense les ajudes, per tant, si cada any estalviem uns $2165'02\text{€}$, l'amortització de $7409'58\text{€}$ serà en 3 anys i mig aproximadament.

$7409'58:2165'02 = 3'42$ anys

D'aquesta manera la instal·lació plantejada surt molt més a compte, tanmateix sense rebre les ajudes també resulta un projecte profitós ja que en un termini més llarg, uns 9 anys, també s'amortitza la despesa inicial.



Gràfica 13. Amortització de la instal·lació fotovoltaica proposada amb les ajudes econòmiques del BOE. (Font pròpia. 01/09/2021)

8.3. Comparació d'ambdues amortitzacions:

Taules de la recuperació anual de la inversió del projecte (amb i sense ajudes):

INVERSIÓ INICIAL	-19311,58€
Any 1	-17146,56€
Any 2	-14981,54€
Any 3	-12816,52€
Any 4	-10651,5€
Any 5	-8486,48€
Any 6	-6321,46€
Any 7	-4156,44€
Any 8	-1991,42€
Any 9	173,6€
Any 10	2338,62€

INVERSIÓ INICIAL	-7409,58€
Any 1	-5244,56€
Any 2	-3079,54€
Any 3	-914,52€
Any 4	1250,5€
Any 5	3415,52€
Any 6	5580,54€
Any 7	7745,56€
Any 8	9910,58€
Any 9	12075,6€
Any 10	14240,62€

Any 11	4503,64€
Any 12	6668,66€
Any 13	8833,68€
Any 14	10998,7€
Any 15	13163,72€
Any 16	15328,74€
Any 17	17493,76€
Any 18	19658,78€
Any 19	21823,8€
Any 20	23988,82€
Any 21	26153,84€
Any 22	28318,86€
Any 23	30483,88€
Any 24	32648,9€
Any 25	34813,92€

Taula 8. Taula de la recuperació anual de la inversió del projecte sense ajudes. (Font pròpia. 02/09/2021)

Any 11	16405,64€
Any 12	18570,66€
Any 13	20735,68€
Any 14	22900,7€
Any 15	25065,72€
Any 16	27230,74€
Any 17	29395,76€
Any 18	31560,78€
Any 19	33725,8€
Any 20	35890,82€
Any 21	38055,84€
Any 22	40220,86€
Any 23	42385,88€
Any 24	44550,9€
Any 25	46715,92€

Taula 9. Taules de la recuperació anual de la inversió del projecte amb ajudes. (Font pròpia. 02/09/2021)

9. VALORACIÓ GLOBAL DEL PROJECTE:

Per concloure la pràctica, es pot afirmar que la instal·lació fotovoltaica proposada resulta eficient per abastir les necessitats energètiques de la casa analitzada, de manera que entre el quart i el novè any, depenent de l'ajuda rebuda per la Generalitat de Catalunya, resulta amortitzada.

A més compleix un dels principals objectius del projecte: **reduir les emissions de gasos tòxics a l'atmosfera per preservar la natura, el medi ambient i els propis humans.**

- 9.1. **Càlcul de CO₂ estalviat:** donat que aquest projecte de la instal·lació fotovoltaica d'autoconsum ha estat pensat per obtenir energia amb una

metodologia més eficient, econòmica i respectuosa amb el medi ambient, es considera interessant calcular la quantitat de CO₂ que permet deixar d'emetre.

Doncs per al càlcul cal basar-se en el mix elèctric, un factor que relaciona les emissions de CO₂ respecte el consum de kWh, varia anualment i els darrers 5 anys ha millorat en disminuir de 398 gCO₂/kWh el 2015 a 250 gCO₂/kWh el 2021.

Per tant, per calcular la quantitat de CO₂ estalviada cal multiplicar el mix elèctric pel consum anual de kW.

Atès que es desconeix el mix elèctric dels propers anys, prendrem com a valor aproximat uns 230 gCO₂/kWh fruit de la tendència descendent dels últims sis anys.

$$12.024 \text{ kWh anuals} \times 0'23 \text{ KgCO}_2/\text{kWh} = 2.765'52 \text{ Kg}$$

La quantitat de CO₂ generada anualment amb la font d'energia no renovable per produir electricitat és de 2.765'52Kg.

Seguidament cal calcular la quantitat de CO₂ produïda amb l'energia fotovoltaica per trobar la diferència i multiplicar-la pels 25 anys de vida útil garantida de la instal·lació plantejada.

Segons un article de l'ONU la producció d'energia fotovoltaica genera entre 25 i 32 gCO₂/kWh, de manera que per realitzar els càlculs pertinents es pren com a valor la mitjana, 28'5 g.

$$12.024 \text{ kWh anuals} \times 0'0285 \text{ KgCO}_2/\text{kWh} = 342'68 \text{ Kg}$$

La diferència de quilograms emesos per ambdues fonts d'energia és el CO₂ que es deixa d'emetre anualment amb la instal·lació fotovoltaica proposada.

$$2.765'52 - 342'68 = 2422'84 \text{ Kg}$$

I el resultat de la multiplicació del valor obtingut pels 25 anys de vida del sistema és la quantitat total aproximada d'emissions estalviades: 60571 Kg.

$$2422'84 \times 25 = 60571 \text{ Kg}$$

2a PART PRÀCTICA: PROJECTE COMBINAT: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA I AEROTÈRMICA

Ara que el projecte d'autoabastiment energètic de l'habitatge proposat ja ha estat dissenyat en base a l'energia solar fotovoltaica, es proposa una nova instal·lació més viable que cobreixi les necessitats energètiques durant l'horari solar amb energia solar fotovoltaica; i a més a més, generi l'energia necessària per la climatització de l'habitatge i l'ACS amb aerotèrmia. Per tant, és necessari treballar al marge dels càlculs de la instal·lació solar fotovoltaica del primer projecte.

10. INTRODUCCIÓ A L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

L'energia solar fotovoltaica no suposa una inversió inicial massa elevada i s'amortitza entre el cinquè i el desè any, a més no requereix gaires despeses de manteniment i pot ser instal·lada pràcticament en qualsevol edifici del planeta ja que la radiació solar és omnipresent i il·limitada.

Tanmateix, és cert que les hores solars productives o horari solar s'aproxima de les 10h a les 17h en fer la mitjana diària anual, i en aquest període de 7 hores es calcula que es pot generar un 33% de l'energia requerida en un habitatge. L'ús de bateries permet emmagatzemar l'energia sobrant i utilitzar-la les hores no productives, però actualment el seu elevat preu no compensa amb la productivitat que ofereixen.

11. L'ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA APLICADA A LA REALITAT

El seu aprofitament es basa en generar energia durant 7 hores diàries aproximadament, els kW produïts s'aboquen a la xarxa de subministrament d'electricitat, és a dir que no es consumeix directament l'energia generada. Aleshores, la companyia elèctrica contractada fa el balanç mensual de l'energia consumida amb la produïda i es poden donar 3 casuístiques:

- 11.1. **Producció superior al consum**: l'energia sobrant la ven la companyia elèctrica a uns 0'04 €/kWh, import que s'abona a la factura. No obstant això, no convé generar excedent energètic ja que el preu de venda no compensa amb el cost que suposa produir-lo.

- 11.2. **Producció inferior al consum**: tota l'energia generada és aprofitada, però s'ha de comprar la resta d'energia no produïda i el preu és força elevat, de manera que l'amortització de la instal·lació fotovoltaica s'alenteix.
- 11.3. **Producció equivalent al consum**: és la situació ideal ja que ni s'han de vendre els excedents a un preu baixíssim, ni s'ha de comprar energia cara. Tot i que aquesta casuística sigui poc freqüent, cal dissenyar la instal·lació que més s'hi apropi, i cal destacar que com més potència es requereixi, més costarà aproximar-se a aquesta perfecció.

Tenint en compte aquests requeriments, es considera convenient dissenyar una instal·lació fotovoltaica que cobreixi el 33%, aproximadament, de la potència diària consumida atès que és la producció que es pot obtenir en l'horari solar. Per optimitzar la instal·lació s'ha de consumir la major potència possible de 10 a 17h, per exemple fent funcionar la depuradora de la piscina i posant el rentavaixelles i la rentadora.

Nogensmenys, la taula adjunta facilitada per l'enginyer Lluís Orpí Casajuana, i prèviament programada, calcula automàticament la potència òptima de la instal·lació fotovoltaica.

12. CÀLCUL DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA

Introducció de dades	
Tipus d'instal·lació	Residencial
Orientació de la coberta	sud-oest
Consum (kWh/any)	12.000
Subvenció (€)	0

Resultats energètics	
Nombre de mòduls fotovoltaics (FV)	13
Potència FV (kWp)	4'94

Generació (kWh/any)	7.149
Autoconsum (kWh/any)	4.139
Excedents (kWh/any)	3.010
Autoconsum (%)	58%
Cobertura de consum (%)	34%

Resultats econòmics	
Inversió unitària (€/kWp)	1.800
Inversió total (€)	8.892
Operació i manteniment (€/any)	147

Rendibilitat instal·lació	
Estalvi per autoconsum (€/any)	827
Estalvi per venda d'excedents (€/any)	191
Estalvi total (€/any)	1.019
Període de recuperació de la inversió (anys)	10
TIR (%)	9%

Superfície de coberta necessària	24 m ²
---	-------------------

Taula 10. Taula del càlcul de la instal·lació fotovoltaica. (Font: Lluís Orpí Casajuana. 08/09/2021)

- 12.1. **Interpretació de la taula de dades:** en aquesta graella consten les dades conegudes de la instal·lació que es desitja realitzar, a saber: la teulada millor

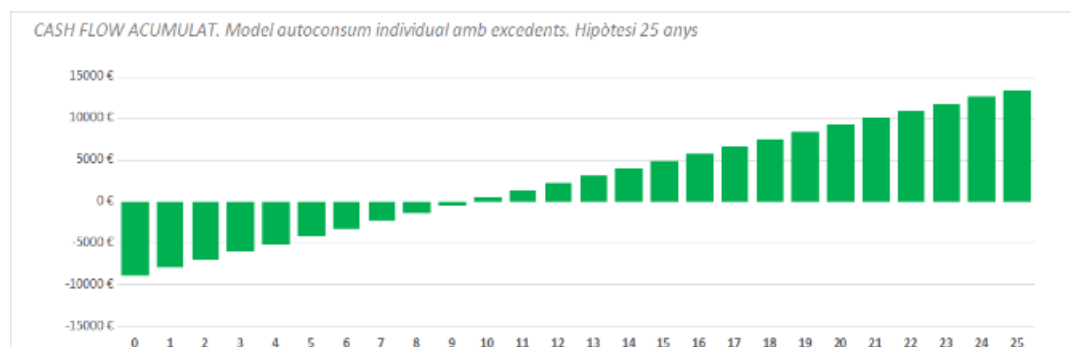
orientada per disposar-hi els panells és la sud-oest; el consum anual arrodonit és de 12.000 kWh/any; i respecte a les subvencions, es consideren nul·les donat que és molt complicat rebre'n alguna si no és estrictament necessària. Un cop introduïdes aquestes dades conegudes, s'obtenen automàticament la resta de valors exposats a la taula mitjançant una calculadora ja programada.

En relació als resultats energètics, la informació més rellevant és el nombre de panells fotovoltaics necessaris, en són 13 i conjuntament generarien 7.149 kWh/any dels quals 4.139 kWh/any serien autoconsumits malgrat que prèviament s'abocarien a la xarxa. Conseqüentment, s'obtindrien 3.010 kWh/any d'excedent, ja que no es podrien aprofitar en la franja horària de producció.

Referent als resultats econòmics, la inversió total de la instal·lació seria de 8.892€ i addicionalment caldria invertir 147€ anuals pel manteniment del sistema.

Seguidament s'avalua la rendibilitat de la instal·lació, i es calcula un estalvi anual total de 1.019€, provinents de la suma dels beneficis per autoconsum: 827€; més l'estalvi per venda dels excedents energètics: 191€.

Concloentment, es calcula que el desè any després d'haver instal·lat el sistema fotovoltaic plantejat s'amortitzaria la inversió i es començarien a obtenir beneficis d'aquesta instal·lació renovable d'autoconsum.

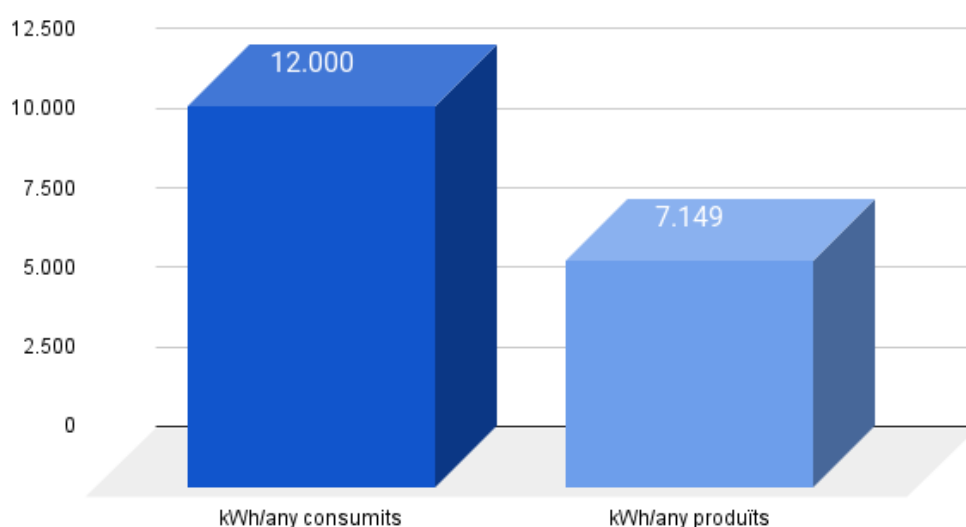


Gràfica 14. Amortització de la inversió del sistema fotovoltaic proposat. (Font: Lluís Orpí Casajuana. 08/09/2021)

13. SÍNTESI DEL CÀLCUL ENERGÈTIC FOTOVOLTAIC

Amb la instal·lació fotovoltaica plantejada es genera un 33% del consum energètic de la casa, que és un dels percentatges més elevats que es pot aconseguir amb energia fotovoltaica sense les bateries emmagatzemadores. Per cobrir la potència restant amb energia renovable l'opció que es considera més apropiada és una instal·lació aerotèrmica que satisfaci la demanda d'aigua calenta sanitària (ACS) i la calefacció.

Comparació del consum i la producció de la instal·lació fotovoltaica



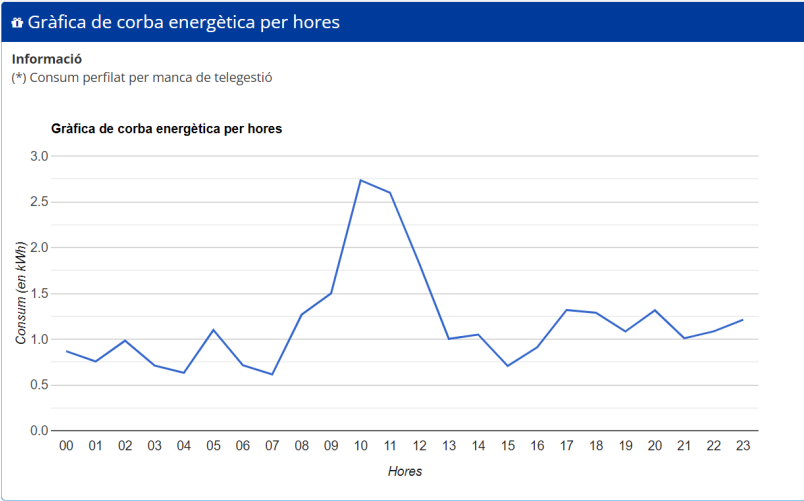
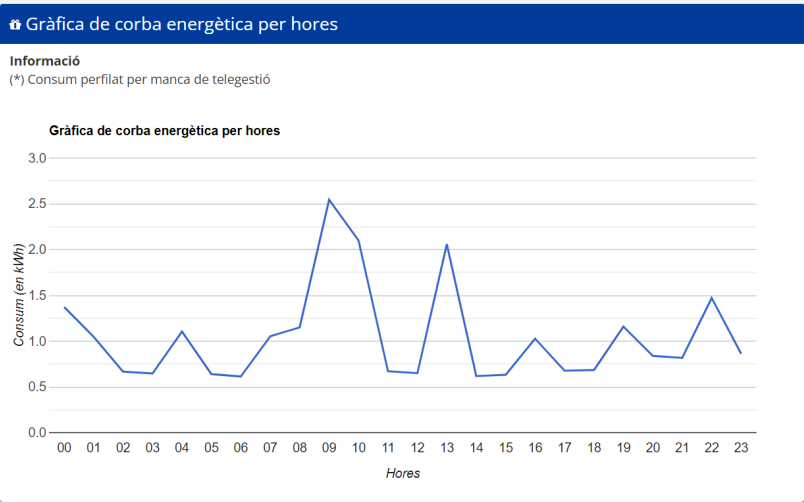
Gràfica 15. Comparació dels kWh/any consumits i produïts per la instal·lació fotovoltaica proposada. (Font pròpia. 12/12/2021)

14. CÀLCUL DEL CONSUM QUE RESTA SENSE COBRIR AMB LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA

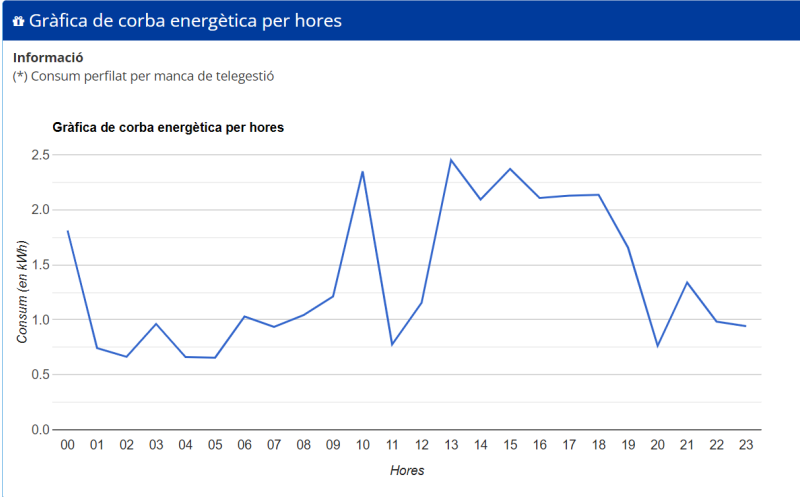
Per conèixer l'energia equivalent al 67% de les necessitats energètiques que cal obtenir de la xarxa elèctrica, cal calcular els kWh que es requereixen de mitjana a la casa d'estudi entre les 17h i les 10h, les hores externes a l'horari solar.

Seguidament s'estudia el consum horari del dia 15 (escollit aleatòriament) dels mesos de febrer a setembre de 2021 per poder obtenir una mitjana al llarg de l'any.

Estudi del consum horari diari segons el CUPS del 15è dia dels mesos de febrer a setembre del 2021:

Mes	Gràfica del consum energètic per hores del dia 15 de cada mes	Consum diari en kWh (consum fora de l'horari solar)
Febrer	<p>Gràfica de corba energètica per hores</p> <p>Informació (*) Consum perfilat per manca de telegestió</p>  <p>Gràfica 16. Gràfica mensual de la corba energètica per hores. (Font: Electra Caldense. 04/10/2021)</p>	28,295 (17,464)
Març	<p>Gràfica de corba energètica per hores</p> <p>Informació (*) Consum perfilat per manca de telegestió</p>  <p>Gràfica 17. Gràfica mensual de la corba energètica per hores. (Font: Electra Caldense. 04/10/2021)</p>	25,104 (19,213)

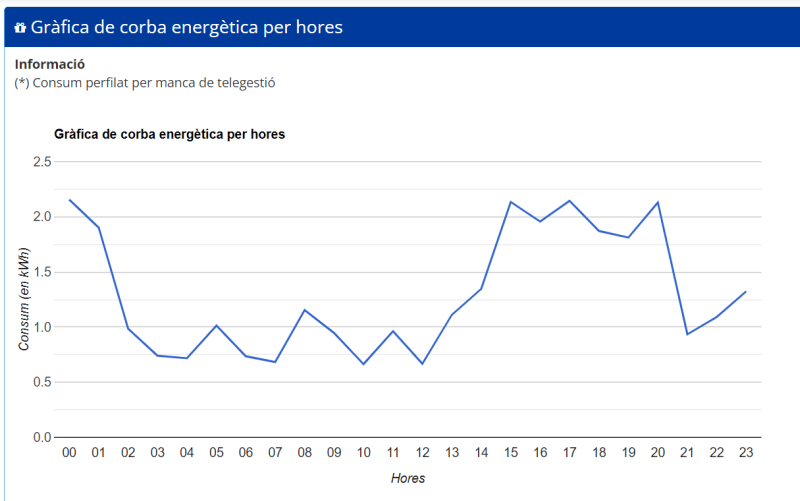
Abril



32,967
(19,348)

Gràfica 18. Gràfica mensual de la corba energètica per hores. (Font: Electra Caldense. 04/10/2021)

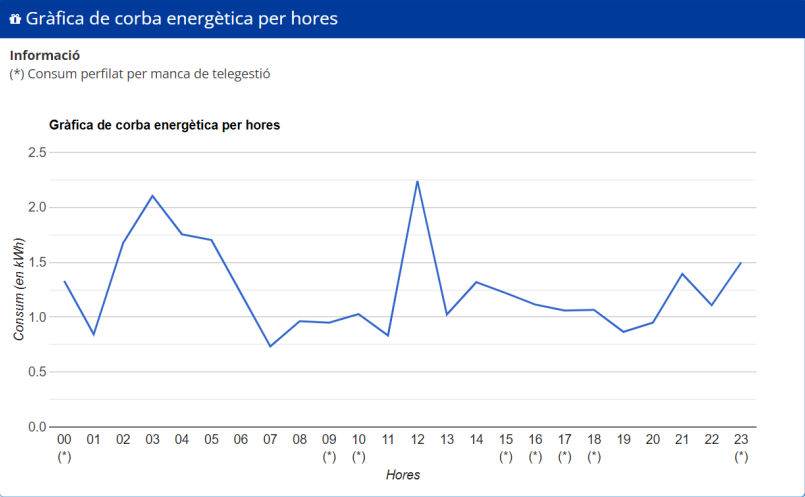
Maig



31,191
(24,224)

Gràfica 19. Gràfica mensual de la corba energètica per hores. (Font: Electra Caldense. 04/10/2021)

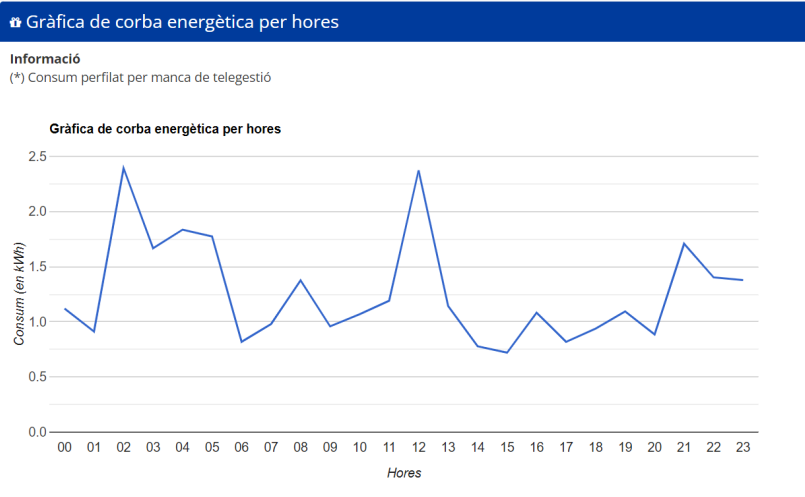
Juny



29,994
(21,486)

Gràfica 20. Gràfica mensual de la corba energètica per hores. (Font: Electra Caldense. 04/10/2021)

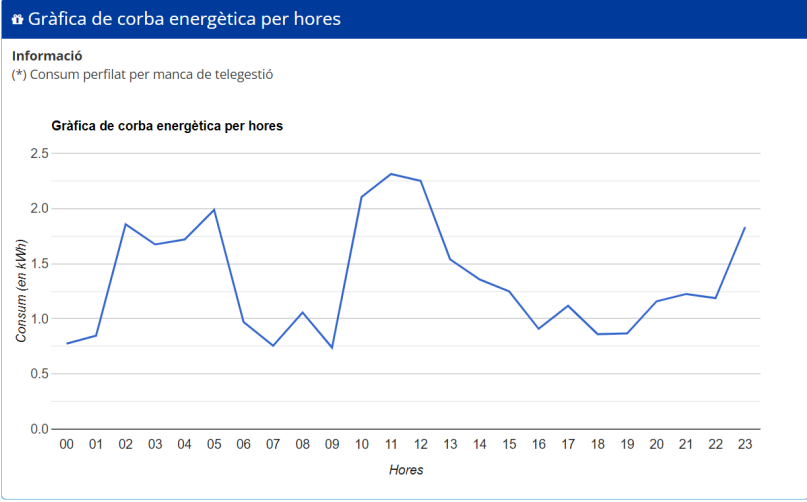
Juliol



30,418
(23,298)

Gràfica 21. Gràfica mensual de la corba energètica per hores. (Font: Electra Caldense. 04/10/2021)

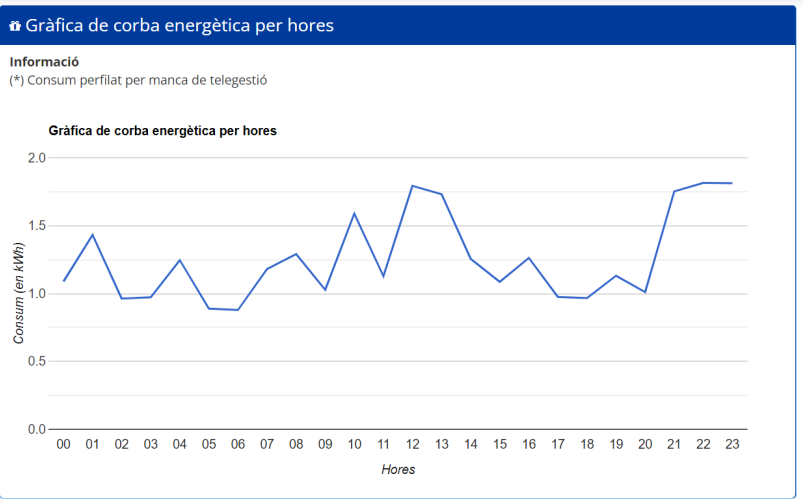
Agost



32,351
(19,48)

Gràfica 22. Gràfica mensual de la corba energètica per hores. (Font: Electra Caldense. 04/10/2021)

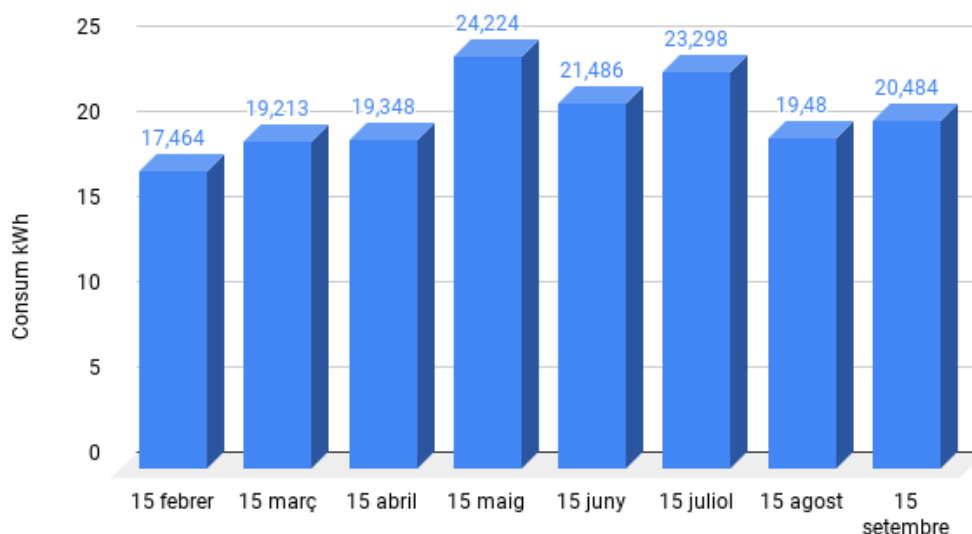
**Setembr
e**



30,277
(20,484)

Gràfica 23. Gràfica mensual de la corba energètica per hores. (Font: Electra Caldense. 04/10/2021)

Consum en kWh fora de l'horari solar del dia 15 dels mesos de febrer a setembre



Gràfica 24. Gràfica del consum diari en kWh fora de l'horari solar del dia 15 dels mesos de febrer a setembre de 2021. (Font pròpia. 17/10/2021)

Com a resultat de l'estudi, es pot concloure que el consum mitjà diari que no queda cobert amb l'energia fotovoltaica i per tant, calen obtenir de la xarxa elèctrica 20'63 kWh.

15. INTRODUCCIÓ I ADAPTACIÓ DE L'AEROTÈRMIA

L'aerotèrmia és un tipus d'energia renovable útil per la producció d'aigua calenta sanitària (ACS) i de climatització, no per produir energia elèctrica. Per aquesta raó, s'aplica com a sistema renovable per generar calefacció a l'hivern, aire fred a l'estiu i ACS.

El seu principi de funcionament es basa en una bomba de calor amb un circuit tancat d'aigua que es pot adaptar als sistemes de climatització ja existents a l'habitatge. Les adaptacions més freqüents són les connexions amb els conductes dels aires condicionats en cas que funcionin amb una bomba de calor, amb els radiadors, o bé amb el circuit del terra radiant. Aquesta adaptació és possible ja que el principi de funcionament dels aires condicionats també es fonamenta en una bomba de calor, i els radiadors ja estan dotats de conductes de connexió amb la caldera.

16. ESTUDI DELS SISTEMES ACTUALS DE CLIMATITZACIÓ I OBTENCIÓ D'ACS

Pel que fa a la climatització, a l'habitatge estudiat es disposa tant de radiadors com d'aires condicionats amb bombes de calor. En relació a l'aigua, consta d'una caldera de gasoil. Per tant, les instal·lacions actuals dels paràmetres que es tracten d'optimitzar són compatibles amb l'aerotèrmia i no es requereix cap despesa per afegir conductes o altres aparells de difusió i emmagatzematge.

17. CÀLCUL DE LA POTÈNCIA REQUERIDA PER LA INSTAL·LACIÓ D'AEROTÈRMIA

Per calcular l'energia que cal generar amb el sistema aerotèrmic cal basar-se en una fórmula que contempla tres paràmetres: la orientació de l'habitatge, la qualitat de l'aïllament i la zona climàtica on s'ubica.

Fórmula de l'energia requerida [W] = A x B x C x 85

17.1. Explicació dels paràmetres de la fórmula:

A: orientació de la façana principal: com més insolació rebí, menys costa escalfar l'ambient, per aquest motiu la orientació sud té assignat el valor més baix i la nord el més elevat.

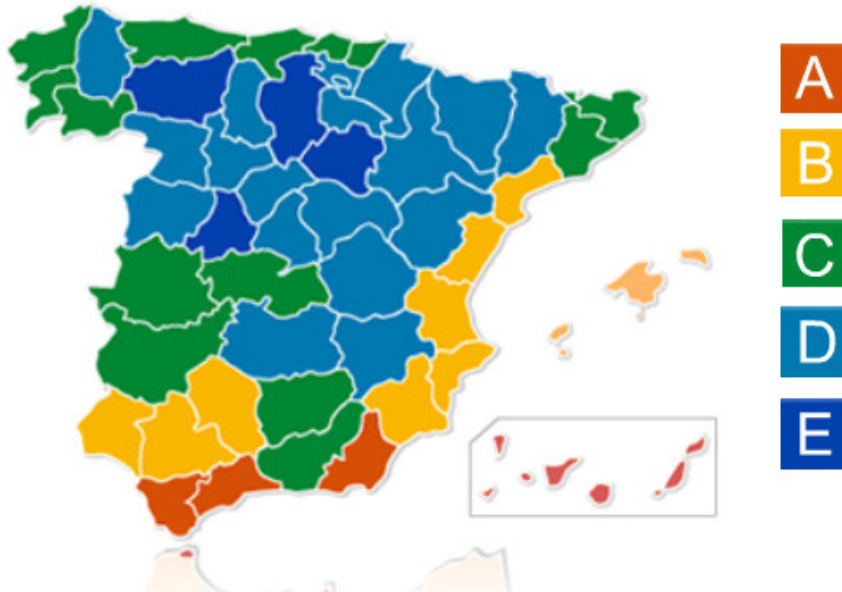
- Sud: 0,92
- Est: 1
- Oest: 1
- Nord: 1,12

B: aïllament: resulta un factor fonamental ja que pot generar grans pèrdues energètiques o bé afavorir la climatització si s'apropa a l'hermeticitat i no implica una disminució en el rendiment del sistema. Per aquest motiu, els valors més elevats s'atorguen a les condicions de pitjor aïllament.

- Bon aïllament: doble o triple vidre a les finestres i doble envà → 0,93
- Aïllament senzill: doble vidre i envà senzill, o vidre simple i doble envà → 1
- Sense aïllament: vidre i envà senzill → 1,1

C: zona climàtica: el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) ofereix el mapa DB H1 amb la divisió de les províncies espanyoles en funció dels valors aproximats que cal prendre en el càlcul de l'energia requerida per l'escalfament o el

refredament dels habitatges. Les zones s'identifiquen amb lletres de la "A" a la "E" en ordre creixent de valors.



Llegenda: Zona A = 0,88 / Zona B = 0,95 / Zona C = 1,04 / Zona D = 1,12 / Zona E = 1,19

Mapa 4. Mapa DB H1 de les zones climàtiques d'Espanya segons el CTE. (Font: Idoia Arnabat - Calor y frío. 06/12/2021)

- 17.1.1. **Aplicació de la fórmula:** els valors que cal prendre en aquest estudi són 0'96 de la orientació (calculant la mitjana del sud i l'oest ja que la façana principal s'orienta al sud-oest), 0'93 de l'aïllament, i 1'04 de la zona C corresponent a la província de Barcelona. Aplicats a la fórmula, s'obté un valor de 78'92 W/m² corresponent a l'energia requerida per climatitzar 1 m²
- $$0,96 \times 0,93 \times 1'04 \times 85 = 78'92 \text{ W/m}^2$$

Per tant, per climatitzar la superfície total de 260 m² calen 20'52 kW.

$$78'92 \times 260 = 20520'12 \text{ W} : 1000 = 20'52 \text{ kW}$$

18. ELECCIÓ DE L'APARELL D'AEROTÈRMIA

Un cop calculada la potència que es requereix per climatitzar l'habitatge cal buscar un conjunt aerotèrmic capaç de generar-la, i donat que les bombes de calor més habituals són d'entre 5 i 16 kW, cal instal·lar-ne més d'una. L'opció més econòmica és combinar-ne dues i d'aquesta manera cadascuna es pot

connectar un dels dos aires condicionats ja existents a la casa d'estud. A més, al ser instal·lacions independents es minimitza la possibilitat de quedar-se sense sistemes de calefacció en cas que malauradament s'aviés algun component.

18.1. Comparació de marques fabricants d'aerotèrmia:

	PANASONIC AQUAREA HIGH PERFORMANCE ALL IN ONE KIT-ADC09JES	mitsubishi electric ECODAN ECO INVERTER SUZ-SWM80VA + ERST20D-VM2D	VAILLANT AROTHERM PLUS 8 SISTEMA INTEGRADO VWL 85/6 + VIH QW 190/6	TOSHIBA ESTIA ALL IN ONE 8 HWT-810HW-E HWT-110IF2ISM3W-E	DAIKIN DAIKIN ALTHERMA 3 SUPRA DISEÑO INTEGRADO EPRA14DV3 + ETVX16S18EV	HITACHI YUTAKI S COMBI 3 VC
POTENCIA EN CALOR/FRÍO	9 kW/8.2 kW	7.5 kW/6.3 kW	9 kW/7.5 kW (Aprox.)	8 kW/6 kW	7.9 kW/6.9 kW	7.5 kW/6 kW
CLASE ENERGÉTICA/COP	A+++/4,48	A+++/4,7	A+++/4,79	A+++/5,19	A+++/4,67	A+++/4,6
TEMPERATURA MÁXIMA DE AGUA PARA CALEFACCIÓN/ACS	60°C/65°C	60°C/60°C	75°C/70°C	65°C/65°C	70°C/70°C	60°C/60°C
NIVEL SONORO MÍNIMO UNIDAD INTERIOR/EXTERIOR	28 dB/59 dB	41 dB/44 dB	29 dB/39 dB	32 dB/41 dB	30 dB/43 dB	37 dB/54 dB
GAS REFRIGERANTE	R 32	R 32	R 290	R 32	R 32	R 32
TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA A LA QUE EL EQUIPO TRABAJA AL 100%	-20°C	-20°C	-20°C/-25°C	-20°C	-15°C	-20°C
GARANTÍA DE UNIDAD INTERIOR/EXTERIOR	2 AÑOS/5 AÑOS	2 AÑOS/2 AÑOS	2 AÑOS/5 AÑOS	2 AÑOS/2 AÑOS	2 AÑOS/2 AÑOS	2 AÑOS/3 AÑOS
VOLUMEN DEPÓSITOS ACS	185 L.	200 L.	185 L.	210 L.	180 L.	200 L.
PRECIO MEDIO MERCADO	6.100€	5.400€	7.300€	5.350€	8.500€	6.300€

Figura 38. Taula comparativa de les sis millors marques d'aerotèrmia del mercat el 2020. (Font: Instalafrica. 06/12/2021)

Al quadre adjunt es comparen sistemes d'aerotèrmia de potències similars (al voltant dels 6-9 kW) de les marques: Panasonic, Mitsubishi, Vaillant, Toshiba, Daikin i Hitachi; totes elles amb una garantia de 2 anys.

S'aprecia molta similitud entre els aspectes comparats: totes les classes energètiques són A+++ i la temperatura màxima d'escalfor de l'ACS oscil·la entre els 60 i els 75°C. En relació als decibels de soroll de la bomba de calor exterior, hi ha una lleu diferència entre els màxims i els mínims de cada marca ja que el valor depèn de la potència exacta del sistema. La temperatura mínima a la que treballen, uns -20°C, no afecta al cas estudiat ja que rarament se superen els 0°C de fred; la capacitat del dipòsit d'ACS també és molt semblant i el preu mitjà varia en funció dels detalls que s'han mencionat.

18.2. **Decisió final:** donat que els aires condicionats de l'habitatge estudiat són Panasonic, s'opta per aquesta marca que se situa en la primera posició del rànquing realitzat per *Clima y Aerotermia* el passat any 2020, on es destaca el model *All In One Compact* que ofereix un dipòsit de 180 litres de capacitat i un filtre magnètic que retén les partícules microscòpiques en el seu pas cap a

l'intercanviador. A més, treballa fins a temperatures exteriors de -23°C, i es qualifica amb la classe energètica A+++ , la més respectuosa amb el medi ambient.

El model escollit és l'*Aquarea High Performance All in One Compact* generació *J monofàsica*, concretament un de 9 kW i un altre de 12 kW ja que tenint en compte que les prestacions de totes les potències d'aquest model són les mateixes, aquesta combinació és la més econòmica.

19. COST DE LA INSTAL·LACIÓ D'AEROTÈRMIA

El preu de l'aparell de 12 kW és de 6.393,88 € i el de 9 kW val 6.224'86 €. Per tant el cost dels aparells aerotèrmics és de 12.618,74 €, un valor al qual cal afegir-li el seu 20%, corresponent al cost aproximat de la mà d'obra de la instal·lació i altres possibles despeses. Conseqüentment, el cost total de la instal·lació aerotèrmica per generar la climatització i l'ACS de l'habitatge estudiat és d'uns 15.142,49 €.

20. CÀLCUL DE L'AMORTITZACIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ AEROTÈRMICA

Un cop coneguda la despesa que representa la instal·lació aerotèrmica cal calcular l'amortització que suposa. Per fer-ho, primer s'ha de conèixer la despesa econòmica que suposa climatitzar l'habitatge amb gasoil tenint en compte que cada litre d'aquest combustible pot generar uns 10'14 kWh d'energia tèrmica, es paga de mitjana a 0'97 €/l i ofereix un rendiment aproximat del 85%. Paral·lelament, el preu de l'aerotèrmia per kWh és de 0'13€ i el seu rendiment és del 400% ja que consumeix molt poca energia elèctrica gràcies al seu funcionament termodinàmic.

Cal partir del consum energètic anual que suposa la calefacció i l'ACS, que és d'uns 43.000 kWh, un valor calculat mitjançant la mitjana espanyola aproximada a 165 kWh/m².

$$165 \text{ kWh/m}^2 \times 260 \text{ m}^2 = 42.900 \text{ kWh} \rightarrow 43.000 \text{ kWh arrodonint a l'alça.}$$

Per calcular la despesa que suposa l'aerotèrmia cal dividir el consum anual pel rendiment del sistema i multiplicar-lo pel preu que costa generar 1 kWh. I s'obté un import de 1397'5 € anuals.

43.000 kWh/any : 400% x 0'13 €/kWh = 1397,5 €/any

Un cop conegut l'import anual que suposa la producció d'energia amb aerotèrmia, cal calcular la despesa implicada pel gasoil dividint el consum anual total pel rendiment del combustible, multiplicant-lo pel preu per litre, i dividint-lo pels kWh que genera cada litre. Doncs s'obté un valor total anual de 4839'31€.

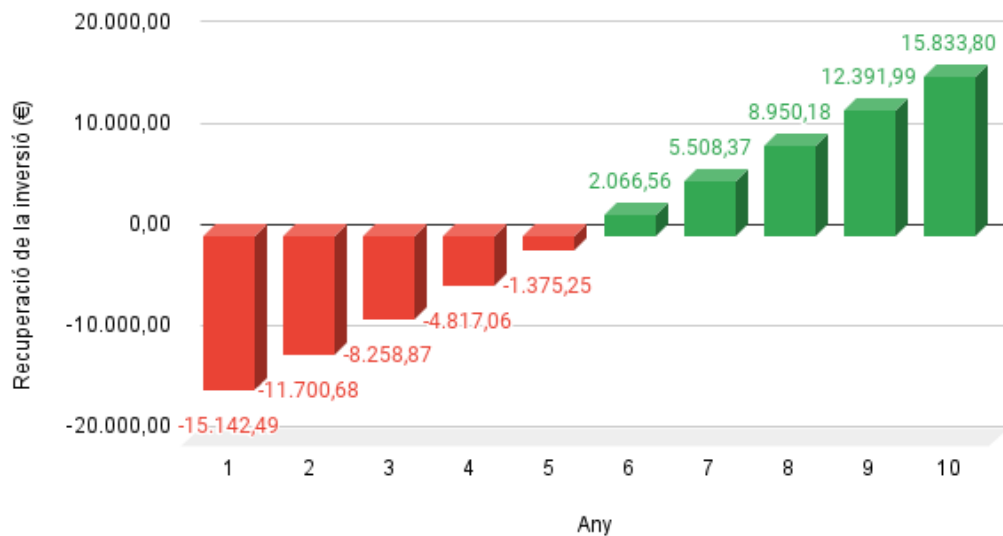
43.000 kWh/any : 85% x 0'97€/l : 10'14 kWh = 4839,31 €/any

Sabent que l'aerotèrmia suposa una despesa de 1397'5€ anuals i el gasoil de 4839'31€, ja es pot calcular l'amortització de la instal·lació aerotèrmica tenint en compte l'import de la instal·lació inicial i l'estalvi anual que suposa respecte al gasoil.

Estalvi anual: 4839,31 - 1397'5 = 3441,81€

Concloentment, el cost inicial de la instal·lació és de 15.142'49€ i cada any s'estalvien 3441'81€, per tant, en 6 anys s'amortitza la instal·lació. Si bé és cert que la despesa inicial és força elevada, l'important estalvi anual respecte un una energia fòssil com ho és el gasoil, compensa molt ràpidament com es reflecteix a la gràfica inferior.

Amortització de la instal·lació aerotèrmica (15.142'49€)



Gràfica 25. Amortització de la instal·lació aerotèrmica de 15.142,49€. (Font pròpia. 06/12/2021)

21. RESUM DE LA PRODUCCIÓ ACONSEGUIDA

D'aquesta manera la instal·lació d'ambdues energies renovables cobreix la majoria d'energia elèctrica que consumeix actualment l'habitatge estudiat. Per una banda, la fotovoltaica produeix l'energia consumida durant l'horari solar, període que s'aprofita per fer funcionar electrodomèstics com ara la rentadora, el rentavaixelles, la vitroceràmica i també la depuradora de la piscina. I per altra banda, l'energia aerotèrmica satisfà les necessitats de climatització i d'ACS.

Conseqüentment, el consum energètic que manca per cobrir és inferior al ja cobert, de manera que s'ha aconseguit reduir un elevat percentatge del consum elèctric així com reemplaçar el sistema d'obtenció energètica amb energies fòssils: el gasoil.

22. AMORTITZACIÓ CONJUNTA D'AMBDUES INSTAL·LACIONS RENOVABLES

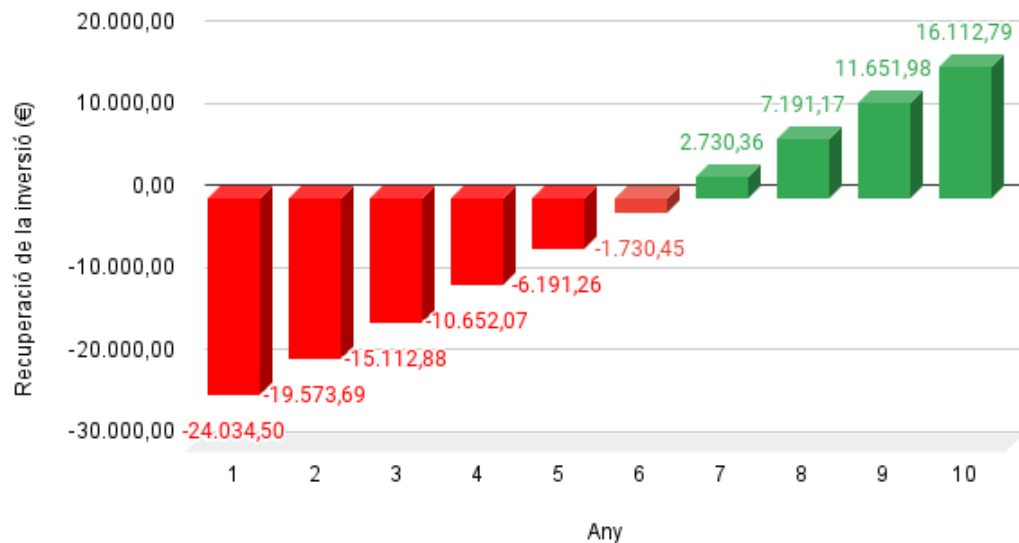
Malgrat que les instal·lacions solar fotovoltaica i aerotèrmica proposades siguin independents, l'estalvi econòmic que suposen és conjunt, per tant tenint en compte la despesa inicial que suposa cadascuna així com l'estalvi anual, es pot calcular l'amortització conjunta.

Cost total de les instal·lacions: $8.892\text{€} + 15.142'5\text{€} = \mathbf{24.034'5\text{€}}$

Estalvi total anual: $1.019\text{€} + 3.441'81\text{€} = \mathbf{4.460'81\text{€}}$

A la gràfica adjunta es reflecteix l'amortització conjunta de les instal·lacions i s'aprecien beneficis a partir del setè any, un valor més proper a l'amortització de l'aerotèrmia: 6 anys, que als 9 anys de la fotovoltaica gràcies als elevats beneficis immediats que comporta el primer sistema.

Amortització del conjunt fotovoltaic-aerotèrmic (24.034'5€)



Gràfica 26. Amortització del conjunt renovable proposat amb una inversió inicial de 24.034'5€ (Font pròpia. 16/12/2021)

23. CÀLCUL DE CO₂ ESTALVIAT

Per conèixer les emissions de CO₂ estalviades en la producció d'energia elèctrica amb la instal·lació fotovoltaica en lloc d'obtenir-la de la xarxa elèctrica, cal calcular la diferència d'emissions de CO₂ anual entre ambdós sistemes.

En relació a les emissions produïdes en obtenir energia de la xarxa elèctrica, el factor d'emissió del mix elèctric d'Endesa l'any 2020 és de 0,20 kg CO₂/kWh; mentre que el valor de l'energia fotovoltaica és de 0'0285 kg CO₂/kWh. Per tant, la diferència equivalent a 0'1715 kg CO₂/kWh multiplicada per la potència anual que cal generar (34% de 12000 kWh = 4080 kWh), és l'estalvi anual que suposa la producció amb el sistema renovable proposat.

$$0'20 - 0'0285 = 0'1715 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$$

$$4080 \text{ kWh} \times 0'1715 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 699,72 \text{ kg CO}_2$$

Per calcular les emissions de CO₂ estalviades en la substitució del gasoil per aerotèrmia per obtenir ACS i climatitzar l'habitatge, cal conèixer els litres anuals requerits tenint en compte que 1 litre genera 10'14 kWh d'energia i que s'emeten 2'65 kg de CO₂ per litre consumit, és a dir 0'261 kg CO₂/kWh.

$$43.000 \text{ kWh} : 10'14 \text{ kWh/l} \times 2'65 \text{ kg CO}_2/\text{l} = 11.237'67 \text{ kg CO}_2/\text{any}$$

Les emissions de CO₂ de l'energia aerotèrmica són un 74% inferior a les del gasoil, per tant per cada kWh generat amb aerotèrmia s'emeten 0'068 kg de CO₂ a l'ambient, valor que cal multiplicar pels kWh produïts per conèixer les emissions anuals.

$$26\% \times 0'216 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 0'068 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$$

$$43.000 \text{ kWh} \times 0'068 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 2.921,8 \text{ kg CO}_2/\text{any}$$

La diferència entre les emissions anuals que generarien el gasoil i l'aerotèrmia és l'estalvi anual que suposa la instal·lació aerotèrmica proposada, és a dir 8.315'87 kg CO₂.

$$11.237'67 \text{ kg CO}_2/\text{any} - 2.921,8 \text{ kg CO}_2/\text{any} = 8.315'87 \text{ kg CO}_2/\text{any}$$

Resumint, són 9015'59 els kg de CO₂ anuals que s'estalvien d'emetre al medi ambient amb els sistemes renovables proposats, una xifra molt significativa que afavoreix el futur de les energies verdes.

$$699'72 \text{ kg CO}_2/\text{any} + 8.315'87 \text{ kg CO}_2/\text{any} = 9015'59 \text{ kg CO}_2/\text{any}$$

24. VALORACIÓ GLOBAL DEL PROJECTE

Com a conclusió del projecte proposat, cal destacar que el principal objectiu s'ha complert, a saber: dissenyar una instal·lació renovable realista que s'adapti a l'habitatge ja existent estudiat, que cobreixi les necessitats energètiques durant l'horari solar amb energia solar fotovoltaica i que generi l'energia necessària per la climatització de l'habitatge i l'ACS amb aerotèrmia.

Conseqüentment, el projecte és respectuós amb el medi ambient i minimitza notablement les emissions de gasos perjudicials per la vida del planeta. Com que s'aboleix el consum de gasoil i es produeix energia completament neta mitjançant el sistema solar fotovoltaic i també amb l'aerotèrmic, s'evita l'emissió anual de més de 9 tones de CO₂ al medi ambient.

I a més s'ha aconseguit dissenyar una instal·lació amb una amortització relativament ràpida, en set anys, i que genera beneficis econòmics a partir d'aleshores.

6. CONCLUSIONS

Per concloure el treball cal comparar els objectius proposats inicialment amb els resultats obtinguts per analitzar si s'han complert, i per fer una valoració de la recerca duta a terme.

- 6.1. El **primer** objectiu consisteix en investigar sobre la importància de les energies renovables i analitzar les més pràctiques i eficients en l'àmbit domèstic.

Les energies renovables eviten l'emissió d'infrarojos, l'efecte Callendar, l'escalfament globalitzat del planeta i la boira fotoquímica; mentre que les fòssils contribueixen en aquests processos. Per aquest motiu, des del 2011 ha incrementat notablement la importància de produir energia amb mitjans renovables.

Un cop coneguts els vuit sistemes renovables més comuns en l'obtenció energètica dels habitatges, s'ha conclòs que el solar tèrmic, el solar fotovoltaic, el geotèrmic i l'aerotèrmic resulten els més eficients pel projecte pràctic a desenvolupar.

- 6.2. El **segon** objectiu tracta d'aprofundir sobre les energies que podrien resultar més útils pel desenvolupament del marc pràctic, tenint en compte les condicions geològiques i climàtiques de la localització on es pretén dur a terme.

Un cop triades les energies al voltant de les quals es desenvolupa el marc teòric, es va iniciar la recerca d'informació de l'energia solar tèrmica amb el llibre *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas* de l'autor Juan de Cusa. Arrel de l'índex d'aquest llibre es van estructurar els aspectes a tractar de la resta d'energies i també va servir de guia per saber com relacionar-los amb la producció domèstica.

La principal conclusió que s'ha extret de l'estudi de l'energia solar és la divisió en tèrmica i fotovoltaica, que comparteixen la font d'obtenció energètica però difereixen en els processos d'aprofitament i producció. A partir d'aquest coneixement genèric, s'ha pogut concloure que en funció del tipus de col·lectors el rendiment del sistema varia notablement. També s'ha observat

que els materials amb els que es fabriquen esdevenen un factor clau en quant al perfeccionament del rendiment del sistema solar tèrmic i del fotovoltaic.

En relació a l'energia geotèrmica, s'ha conclòs que la zona estudiada: Caldes de Montbui, és molt favorable per la producció d'aquest tipus d'energia renovable. A més, ha resultat molt interessant conèixer els tipus de jaciments geotèrmics en funció de la temperatura, així com els mecanismes subterranis per l'aprofitament de l'escalfor del subsòl, per concloure que la inversió que suposa no compensa amb l'energia generada. Bàsicament perquè a nivell domèstic no es necessita generar tant potencial energètic com per amortitzar el cost de les profundes perforacions, tubs i bombes que requereix un sistema geotèrmic.

Tot i que en el moment de plantejar la pregunta vertebradora d'aquest treball no es va tenir en compte l'energia aerotèrmica, un cop analitzada es va observar que és meritòria de participar de la proposta que s'ha elaborat, degut a la seva efectivitat basada en els beneficis econòmics i mediambientals que comporta, així com la tecnologia que la conforma.

- 6.3. El **tercer** objectiu es basa en valorar les energies que ofereixen un rendiment més elevat a la zona d'estudi per dissenyar el projecte pràctic més eficient possible.

Havent analitzat les característiques geoclimàtiques que requereix cada tipus d'energia, s'han extret conclusions per ambdós projectes pràctics plantejats.

En relació al d'autoabastiment energètic, s'ha conclòs que l'energia solar fotovoltaica és l'opció més eficient per generar l'electricitat imprescindible a l'habitatge estudiat i que, per contra, la geotèrmia no ofereix el seu màxim rendiment en la casuística estudiada.

I respecte al projecte de generació d'electricitat durant l'horari solar i la producció de climatització i aigua calenta sanitària, s'ha conclòs, gràcies a l'enginyer Lluís Orpí Casajuana, que l'energia solar fotovoltaica combinada amb l'aerotèrmia és el duet més convenient. Així, les necessitats energètiques de l'habitatge d'estudi són cobertes essent fidels als principis del projecte.

- 6.4. El **quart** objectiu es fonamenta en conèixer amb precisió les necessitats energètiques de l'habitatge analitzat per poder dissenyar una instal·lació acurada.

Abans d'iniciar els càlculs de dimensionament i potència dels sistemes energètics que caldria instal·lar, s'ha cregut convenient conèixer les condicions d'aïllament de la casa així com les necessitats energètiques mitjanes actuals que cal cobrir. Per tant, un cop conegudes aquestes característiques arquitectòniques i de construcció, s'ha conclòs que no és estrictament necessari modificar-les i s'ha procedit a estudiar amb el màxim detall possible la potència que es consumeix de mitjana mensual a l'habitatge analitzat.

Donada la complexitat i el detallisme que requereix aquest apartat, s'ha conclòs que és fonamental realitzar una anàlisi precisa de les necessitats energètiques per poder dissenyar una instal·lació eficient i rendible.

- 6.5. El **cinquè** objectiu tracta de dimensionar la instal·lació dels sistemes renovables escollits segons les necessitats energètiques calculades prèviament.

En relació a la primera part pràctica, un cop analitzada la demanda que cal cobrir, es van analitzar els tipus de plaques solars fotovoltaïques i es va concloure que les *Maxeon 5 AC* ofereixen un rendiment més elevat que la resta. Aleshores es va calcular la quantitat de plaques necessàries, conclouent que en són 19, i tot seguit es va calcular amb la màxima precisió possible el dimensionament de la resta d'elements requerits.

Cal destacar que després d'haver finalitzat aquest apartat del projecte, es van obtenir unes segones conclusions amb l'ajuda de l'enginyer Lluís Orpí, inferint que hi ha altres models de plaques més rendibles que les *Maxeon 5 AC* per complir amb l'objectiu d'aquest projecte. A més, arrel d'aquesta trobada es va concloure que no és necessari calcular el cost exacte de l'estructura del sistema ni dels cables, sinó que afegint un percentatge al cost dels elements del sistema, aquests detalls ja queden coberts.

Conseqüentment es van extreure unes terceres conclusions: l'experiència i els coneixements d'un professional de la matèria són infinitament més valuosos que qualsevol valoració teòrica.

I pel que fa a la segona part pràctica, el dimensionament de les instal·lacions solar fotovoltaica i aerotèrmica va resultar menys rebuscat ja que es tractava de dissenyar un projecte realista i no tan utòpic com el primer. Per aquesta raó, s'ha cregut convenient generar l'energia necessària per cobrir el consum durant l'horari solar amb energia solar fotovoltaica, i no s'han tingut en compte les ajudes econòmiques ofertes per l'Estat Espanyol o la Generalitat de Catalunya. I respecte a l'aerotèrmia, s'ha conclòs que en la casuística resulta eficient com a substituent de l'actual mitjà fòssil de producció de climatització i d'aigua calenta sanitària.

- 6.6. El **sisè** objectiu es basa en fer una anàlisi del marc pràctic en quant a l'amortització i la rendibilitat.

Havent dissenyat la instal·lació, se n'ha realitzat un balanç econòmic, concloent per una banda, que el sistema fotovoltaic proposat en el primer projecte s'amortitzaria en nou anys, descartant definitivament la possibilitat de rebre ajudes econòmiques. I per l'altra banda, que la combinació d'energia solar fotovoltaica i aerotèrmia s'amortitzaria en set anys.

Pel que fa a la rendibilitat, ambdós projectes resulten eficients donat que satisfan les necessitats exigides i la inversió inicial es recupera en menys de deu anys en ambdues casuístiques, doncs suposen un estalvi econòmic respecte als sistemes dels quals consta l'habitatge estudiat. A més, compleixen amb l'objectiu de respectar el medi ambient ja que minimitzen les emissions de substàncies perjudicials per la vida a la Terra.

- 6.7. I el **darrer** objectiu és reflexionar sobre el compromís mediambiental defensat en el desenvolupament del projecte.

Com que un dels objectius que ha seguit el treball des del seu començament ha estat treballar amb energies renovables, és rellevant extreure conclusions sobre les emissions que evita respecte a altres mètodes d'obtenció d'energia en l'àmbit domèstic.

La instal·lació solar fotovoltaica proposada evitaria l'emissió de més de 60 tones de CO₂ a l'atmosfera al llarg dels seus 25 anys de vida estimats. Un

valor molt significatiu i que permet concloure que el projecte plantejat ha aconseguit ser respectuós amb la vida al planeta.

I la instal·lació que combina l'energia solar fotovoltaica amb l'aerotèrmia suposaria un estalvi anual de 9.015'59 kg de CO₂ al medi ambient.

7. LÍNIES DE FUTUR

Aquest treball, realitzat entre el 2020 i el 2021 com a Treball de Recerca de batxillerat, s'ha organitzat en base als deu mesos de què es disposava i, conseqüentment no ha estat gaire profund en quant a aspectes tècnics i d'enginyeria de les quatre energies desenvolupades, a saber: la solar, la fotovoltaica, la geotèrmica i l'aerotèrmica. A més, en relació al marc pràctic, tampoc no ha estat gaire precís, principalment pels escassos coneixements dels quals dispo actualment, i de ben segur que pot ésser millorat, sobretot en uns anys per tractar d'introduir tecnologies futurament desenvolupades.

És a dir que s'ofereix l'opció de donar continuïtat a aquest treball sempre que es tracti de millorar i aportar nous coneixements. Algunes propostes de futures línies de recerca són les següents:

- Replicar el projecte en uns altres entorns geogràfics i veure si es poden elaborar propostes concretes segons les característiques de cada casuística seguint uns patrons establerts, de manera que es pogués tenir "un manual" de les instal·lacions renovables que resultarien més eficients a l'habitatge en qüestió. Es podrien establir mapes amb les zones més eficients per a l'aprofitament de cada tipus d'energia, uns estàndards de la potència dels elements dels sistemes en funció del consum energètic, i fins i tot una aproximació del pressupost, de l'amortització i del respecte mediambiental que suposaria la instal·lació.
- Elaborar un programa de didàctica i transferència (una exposició, tallers per a la ciutadania) per tal de donar a conèixer l'aplicació domèstica de les energies renovables i els nombrosos beneficis que aporten, tant a nivell tecnològic, com econòmic, com de sostenibilitat.

8. BIBLIOGRAFIA

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (31 de juny de 2021). *BOE, número 155, sección I.* (01/09/2021).

<https://www.boe.es/boe/dias/2021/06/30/pdfs/BOE-A-2021-10824.pdf>

Benito Sanchez-Montañés Macías. (23 de maig de 2014). *Arquitectura Bioclimática: Conceptos y técnicas.* (13/07/2021)

<https://ecohabitar.org/arquitectura-bioclimatica-conceptos-y-tecnicas/>

Bertran, J. i Tarragó, M. (s. d.). *Síntesi estratigràfica del Vallès Oriental.* 11/08/2021.

<file:///C:/Users/Usuari/Downloads/48234-Text%20de%20'article-51388-1-10-20061016.pdf>

Creus, A. (2004). *Energías renovables.* Ceysa Editorial Técnica.

De Cusa, J. (2004). *Monografías de la construcción: energía solar para viviendas.* Editorial Ceac.

Idoia Arnabat - Calor y frío. (8 de febrer de 2021). *Calcular la potencia calorífica para una casa o habitación.* 06/12/2021.

<https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calefaccion-instalaciones-componentes/calcular-la-potencia-calorifica-para-una-casa-o-habitacion.html>

Mikel Iturbe - Calor y frío. (14 d'agost de 2018). *Calcula de forma sencilla el consumo del aire acondicionado.* 06/12/2021.

<https://blog.caloryfrio.com/consumo-aire-acondicionado-calculo-sencillo/>

Mikel Iturbe - Calor y frío. (30 de març de 2021). *¿En qué plazo se puede amortizar una rehabilitación energética donde se instala aerotermia?* 06/12/2021.

<https://www.caloryfrio.com/ahorro-energia/rehabilitacion-energetica/en-que-plazo-se-puede-amortizar-rehabilitacion-energetica-donde-se-instala-aerotermia.html>

Ministerio de Industria y Energía, Secretaría de la Energía y Recursos Minerales. (s. d.). *Informe sobre el seguimiento técnico de los sondeos de reconocimiento CM-2, CM-3 y*

CM-4 en Caldes de Montbui (Vallès, Barcelona). Tomo 1-Memoria y Anexos. 09/08/2021
http://info.igme.es/SidPDF%5C000000%5C812%5CTomo%201%5C812_0001.pdf

Puig, C., Berasategui, X., Fernández, M. i Marzán, I. (2010). Atlas de Recursos Geotérmicos de Catalunya: Régimen térmico superficial.
<https://www.yumpu.com/es/document/read/32214661/atlas-de-recursos-geotacrmicos-d-e-catalunya-caloryfriocom>

Rhone Resch. (s. d.). *La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones de carbono en el siglo XXI.* (01/09/2021).
<https://www.un.org/es/chronicle/article/la-promesa-de-la-energia-solar-estrategia-energetica-para-reducir-las-emisiones-de-carbono-en-el>

Sancho, J. M., Riesco, J., Jiménez, C., Sánchez, M^a C., Montero, J. i López, M. (24 d'abril de 2012). *Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT.* 28/07/2021.
https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf

Testar, H. (20 de juny de 2011). *Estudio de la Energía Geotérmica de Catalunya: Caso de Caldes de Malavella.*
http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/22163/1/masteraigua_1011_HelenaTestar.pdf

Vega, J. C. i Ramírez, S. (2014). *Fuentes de energía, renovables y no renovables: Aplicaciones.* Alfaomega Grupo Editor.

9. WEBGRAFIA

Administrador. (3 d'octubre de 2018). *INSTALACIÓN GEOTÉRMICA EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES: LO QUE DEBES SABER.* 28/07/2021. <https://dmasc.es/instalacion-geotermica-viviendas-unifamiliares/>

Aeroterma.online. (s. d.). *¿Qué potencia eléctrica contratar con aeroterma?* (16/10/2021). <https://aeroterma.online/que-potencia-electrica-contratar-con-aeroterma/>

Appa. (s. d.). *Renovables en España.* (18/11/2021). <https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-en-espana/>

AutoSolar. (20 de maig de 2021). *Conexión en serie y en paralelo de paneles solares.* 16/08/2021. <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/conexion-en-serie-y-en-paralelo-de-paneles-solares>

AutoSolar. (17 de setembre de 2019). *Qué cable es el adecuado para las instalaciones solares.* 19/08/2021. <https://autosolar.es/blog/energia-solar-fotovoltaica/que-cable-es-el-adecuado-para-las-instalaciones-solares>

Baxi. (s. d.). *Bombas de calor monobloc.* (13/11/2021). <https://www.baxi.es/productos/bombas-calor/monobloc>

BBVA. (s. d.). *¿Qué tipos de energías renovables existen y qué papel juegan?* (12/07/2021). <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-tipos-de-energias-renovables-existen-y-que-papel-juegan/>

Bricoelige. (2021). *PRESOR LATERAL PARA PLACAS SOLARES SUNFER S10.* 20/08/2021. <https://bricoelige.com/presor-lateral-para-placas-solares-sunfer-s10#>

Cambio Energético. (8 d'abril de 2021). *PANEL SOLAR SUNPOWER MAXEON 5, CON SALIDA DE CORRIENTE ALTERNA DE SERIE.* 06/08/2021. <https://www.cambioenergetico.com/blog/panel-solar-sunpower-maxeon-5/>

Clima y Aerotermia. (24 de setembre de 2020). MEJOR AEROTERMIA 2020 | TOP 4 AEROTERMIA. 06/12/2021.

<https://climayaerotermia.es/blog-aerotermia/mejor-aerotermia-2020/>

Climate-Data Organisation. (s. d.). CLIMA CALDAS DE MONTBUI (ESPAÑA). 04/08/2021.

<https://es.climate-data.org/europe/espana/cataluna/caldas-de-montbui-56929/#temperature-graph>

Daniel. (s. d.). Conectar Paneles Solares en Serie VS en Paralelo. 10/08/2021.

<https://tuproyectosolar.com/conectar-paneles-solares-en-serie-vs-en-paralelo/>

Dirección de Energías Renovables, Departamento de Biomasa y Residuos. (15 de gener de 2020). Informe de Precios de la Biomasa para Usos Térmicos. (08/09/2021).

https://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/informe_precios_biomasa_usos_termicos_3t_2019.pdf

EcoFener. (s. d.). Batería solar de litio BYD B-BOX PREMIUM LVS 8.0 de 48V y 8kWh. 17/08/2021.

<https://ecofener.com/baterias-de-litio-para-sistemas-solares/1783-bateria-solar-de-litio-byd-b-box-premium-lvs-80-de-48v-y-8kwh.html>

Electra Caldense, S.A. (Setembre de 2021). Electra Caldense - Consulta de Corba Energètica. (04/10/2021). <http://corbaenergetica.electracaldense.com/>

Enerpop. (s. d.). Comparativa de sistemas de calefacción. (08/09/2021).

<https://enerpop.com/comparativa-sistemas-calefaccion/>

Enerpop. (s. d.). ¿Qué es la aerotermia?. (08/09/2021).

<https://enerpop.com/que-es-aerotermia/>

Enphase Energy. (2021). Microinversores Enphase. 16/08/2021.

<https://www4.enphase.com/es-es/products-and-services-microinverters-familia-de-microinversores>

Enphase Energy. (2021). Comparación de inversores. 16/08/2021.
<https://www4.enphase.com/es-es/products-and-services-microinverter-comparison-comparacion-de-inversores>

Enphase Energy. (2020). *Microinversores Enphase: Microinversores IQ 7, IQ 7+, IQ 7X e IQ 7A de Enphase.* 16/08/2021.
<https://www4.enphase.com/sites/default/files/FINAL-ENP-DS-IQ7-range-ES.pdf>

European Commission, EU Science Hub. (15 d'octubre de 2019). *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.* 28/07/2021.
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#

Gasfriocalor. (06 de diciembre de 2021). *Búsqueda: Aquarea High Performance All in One Compact.* 06/12/2021.
<https://www.gasfriocalor.com/module/iqitsearch/searchiqit?s=Aquarea+High+Performance+All+in+One+Compact+7kw>

Gemasolar. (2021). *SO1. Varilla roscada.* 20/08/2021.
<https://www.gemasolar.es/accesorios-estructuras/3444-so1varilla-roscada.html>

Gencat. (21 de juny de 2021). *Factor de emisión de la energía eléctrica: el mix eléctrico.* (01/09/2021).
https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/

Generalitat de Catalunya, Comisión Interdepartamental del Cambio Climático. (Març de 2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).* (01/09/2021).
<https://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

Geotermia online. (12 de setembre de 2013) *Fomento publica una nueva versión del código técnico de la edificación.* (18/08/2021)
<https://geotermiaonline.com/1070/nueva-version-del-codigo-tecnico-de-la-edificacion/>

Guillermo Ojeda. (11 de juny de 2021). *Baterías para placas solares: Funcionamiento y Mejores marcas.* 17/08/2021.

<https://selectra.es/autoconsumo/info/componentes/baterias-solares#cuantas-necesito>

Inarquia. (s. d.). *Energías Renovables Domésticas aplicables en Edificación.* (12/07/2021). <https://inarquia.es/tipos-energias-renovables-domesticas-edificacion/>

Instalafrica. (2021). *¿Cuál es la mejor aerotermia de 2021?* 06/12/2021. <https://instalfrica.es/cual-es-la-mejor-aerotermia/>

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Febrer 2021. *Geoíndex - Geotèrmia superficial.* 27/06/2021.

<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Eines/Visualitzadors-Geoindex/Geoindex-Geotermia-superficial>

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (s. d.). *Geotèrmia a Catalunya - ICGC.* 02/07/2021.

<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Geotermia/Geotermia-a-Catalunya-ICGC>

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (s. d.). *Mapa geològic comarcal 1:50.000.* 02/07/2021.

<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-geologica-i-geotematica/Cartografia-geologica/Mapa-geologic-comarcal-1-50.000>

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (s. d.). *Zonació sismotectònica de Catalunya.* 06/08/2021.

<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-geologica-i-geotematica/Mapes-geofisics-i-sismics/Zonacio-sismotectonica-de-Catalunya>

Institut Català d'Enginyeria. (08 de juliol de 2021). *Ajuts a l'autoconsum i emmagatzematge d'energia renovable, i a sistemes tèrmics renovables en el sector residencial* (Pendent d'obrir). 31/09/2021.

<http://icaen.gencat.cat/ca/energia/ajuts/energias-renovables/ajuts-del-programa-dincenti>

[us-lligats-a-lautoconsum-i-emmagatzament-amb-fonts-denergia-renovable-i-implantacio-de-sistemes-termics-renovables.-/](#)

Institut d'Estudis Catalans, Secció Filològica. (2021). *Diccionari de la llengua catalana*. 2021. <https://dlc.iec.cat/>

Institut d'Estudis Catalans, Secció Filològica. (30 d'agost de 2017). *Diccionari de sinònims Albert Jané*. 2021. https://sinonims.iec.cat/mobil/sinonims_mb.asp

José Alfonso Alonso Lorenzo. (s. d.). *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma: Sistemas Fotovoltaicos* *Autónomos*. 30/07/2021. https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields_Boletin_Fotovoltaica_Autonomas.pdf

José Alfonso Alonso Lorenzo. (s. d.). *¿Cuántas Placas Solares necesito para una Casa?*. 05/07/2021. <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/instaladores/cuantas-necesito-casa/>

José Alfonso Alonso Lorenzo. (s. d.). *Cómo dimensionar y calcular paneles solares fotovoltaicos* *necesarios*. 16/08/2021. <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/calcular-paneles-solares-necesarios/>

José Alfonso Alonso Lorenzo. (s. d.). *Los paneles solares de mayor eficiencia (2019-2020)*. 30/07/2021. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/los-10-paneles-solares-mas-eficientes-del-mercado/>

José Alfonso Alonso Lorenzo. (s. d.). *Radiación, Geometría, Recorrido óptico, Irradiancia* *y* *HSP*. 16/08/2021. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

Julio A. Romero Alonso. (18 de setembre de 2017) *¿Cuál es la mejor orientación para tu vivienda?* 07/06/2021) <https://www.arrevol.com/blog/cual-es-la-mejor-orientacion-para-tu-vivienda-casa>

Llopis, G., i Rodrigo, V. (26 de juny de 2012) *Guía de la energía geotérmica*. (10/08/2021)

<https://web.archive.org/web/20120626164612/http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-energia-geotermica.pdf>

Lorena Santos Pérez. (s. d.). *Cómo conectar paneles solares en paralelo o en serie*. 18/08/2021.

https://atersa.shop/como-conectar-paneles-solares-en-paralelo-o-en-serie/#Entonces_%E2%80%A6_%C2%BFes_mejor_conectar_placas_solares_en_serie_o_en_paralelo

Maxeon Solar Technologies. (s. d.). *Módulos SunPower Maxeon 5 AC*. 08/07/2021.

<https://sunpower.maxeon.com/es/productos-de-paneles-solares/paneles-ac/modulos-maxeon-5-ac>

Meteoblue. (s. d.). *Clima Caldes de Montbui*. 06/08/2021.

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/caldes-de-montbui_espa%C3%B1a_3127035

Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme, i Ministeri de Foment. (20 de juliol de 2014).

Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España. 12/12/2021.

https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf

Ministeri per la Transició Ecològica i el Repte Demogràfic. (abril del 2021). *Factores de emisión*. (14/12/2021).

https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factor-emision_tcm30-479095.pdf

Oficina Catalana del Canvi Climàtic. (21 de juny de 2021). *Factor d'emissió de l'energia elèctrica: el mix elèctric*. (01/09/2021).

https://canviclimatic.gencat.cat/ca/actual/factors_demissio_associats_a_lenergia/index.html

Oriol Planas. (30 de juny de 2021). *Energia fotovoltaica: tipus de sistemes fotovoltaics*. 30/07/2021. <https://ca.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>

Oriol Planas. (03 de maig de 2020). *Què és l'efecte fotovoltaic?*. 10/07/2021. <https://ca.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecte-fotovoltaic>

Oriol Planas. (28 de març 2020). *Tipus de panells fotovoltaics*. 25/06/2021. <https://ca.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elements/panell-fotovoltaic/tipus-d-e-panells-fotovoltaics>

Panasonic. (2021). *NUEVA AQUAREA HIGH PERFORMANCE - ALL IN ONE COMPACT GENERACIÓN J R32*. 06/12/2021. <http://www.panasonicproclub.com/uploads/ES/catalogues/2020/A2W/Catalogo%20Aqua%20rea%20All%20in%20One%20Compact%20R32.pdf>

PrecioGas by Selectra. (09 d'agost de 2021). *¿Cómo funciona la Aerotermia? Precio de su instalación y opiniones*. (09/09/2021). <https://preciogas.com/instalaciones/aerotermia>

PrecioGas by Selectra. (14 de desembre de 2020). *Comparativa precios de energías*. (08/09/2021). <https://preciogas.com/comparador/precios-energias>

Rebacas. (2021). *¿Cómo elegir el cable Solar?* 19/08/2021. https://www.rebacas.com/blog-baterias/12_Como-elegir-el-cable-solar-.html

Reve. (27 de febrer de 2015). *Energía geotérmica en España podría cubrir parte del consumo*. 03/07/2021. <https://www.evwind.com/2015/02/27/geotermica-en-espana-un-recurso-desaprovechado/>

RoigSat. (12 de novembre de 2015). *Què és l'aerotèrmia?*. (09/09/2021). <https://www.roigsat.com/que-es-l-aerotermia/>

Solideo. (s. d.). *L'augment de l'eficiència de la instal·lació fotovoltaica residencial, gràcies a l'ús de microinversors. Els sistemes MPLE d'última generació*. 16/08/2021.

<https://www.solideo.es/ca/laugment-de-leficiencia-de-la-installacio-fotovoltaiica-residenci-al-gracies-a-lus-de-microinversors-els-sistemes-mple-dultima-generacio/>

SunFields Europe. (s. d.). *¿Cuánto cuesta poner placas solares en una casa en España?*. 05/07/2021. <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/para-viviendas/>

SunFields Europe. (s. d.). *Selección de Baterías Solares*. 10/07/2021. <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/>

Sun Power Maxeon. (Abril de 2021). *Maxeon 5 AC*. 07/2021. https://sunpower.maxeon.com/es/sites/default/files/2021-07/sp_mst_max5_420_415-410-400_AC_res_ds_es_a4_pv4s_537304B.v4.pdf

Syltec. (11 de maig de 2021). *Energía renovable para uso doméstico*. (12/07/2021). <https://syltec.es/blog/2021/05/11/energia-renovable-para-uso-domestico/>

Tecnosol. (s. d.). *Nuevos Parámetros Retributivos Conexión a Red 2020*. 01/09/2021. <https://tecnosolab.com/noticias/nuevos-parametros-retributivos-conexion-a-red-2020/>

TECPA. (21 de gener de 2020). *La energía geotérmica*. (10/08/2021) <https://www.tecpa.es/energia-geotermica/>

Tekno Solar. (2021). *Estructura Soporte Placas Solares para Cubierta de Teja con Varilla* 01V. 19/08/2021. <https://www.teknosolar.com/estructura-soporte-placas-solares-para-cubierta-de-teja-con-varilla/>

Topcable. (s. d.). *Cables per a instal·lacions fotovoltaiques*. 20/07/2021. <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/ca/cables-per-a-instal%c2%b7lacions-fotovoltaiques/>

Universitat de Girona. (s. d.). *Estil APA*. 26/08/2021 <https://biblioteca.udg.edu/ca/com-citar-documents/estil-apa>

Weather Atlas. (14 d'agost 2021). *Previsión meteorológica y clima mensual Caldes de Montbui,* España. 04/08/2021.

<https://www.weather-atlas.com/es/espana/caldes-de-montbui-clima>

Xavier Milian Call. (s. d.). *Cómo hacer el cálculo de la demanda de ACS.* 04/08/2021.

<https://www.certicalia.com/blog/como-hacer-calculo-demanda-ac>