

Projecte de Fi de Carrera

Enginyer Industrial

**Estudi de l'abastament energètic d'un
hotel a la Cerdanya a partir d'energia solar**

MEMÒRIA

Autor: Sílvia Carreño Delgado

Director: Carme Pretel

Convocatòria: Març 2014



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Aquest projecte és un estudi sobre les necessitats energètiques d'un hotel rural situat a la població de Llivia (la Cerdanya) per determinar el mitjà pel qual se satisfaran aquestes necessitats. Concretament, els aspectes a estudiar seran el subministrament d'aigua calenta sanitària, calefacció i electricitat.

Es pretén maximitzar en tots els camps l'ús d'energies renovables fent així que l'impacte que generi l'edifici sobre el medi sigui el mínim. D'aquesta manera s'ha optat per usar l'energia que proporciona el Sol per cobrir la majoria de les necessitats.

Per satisfer les diferents necessitats dels clients s'estudiaran dos tipus d'instal·lacions solars. Per un costat una instal·lació d'energia solar tèrmica serà la que subministrarà tota l'aigua calenta als usuaris de l'hotel, per tant proporcionarà aigua calenta sanitària i calefacció. Per un altre costat, una instal·lació d'energia solar fotovoltaica serà la que aportarà part de l'electricitat que es necessiti.

Durant el projecte s'estudiarà el funcionament, els principis i les característiques d'aquestes tècniques així com el disseny i dimensionament de cadascuna de les instal·lacions per aportar l'energia necessària.

Per últim també s'inclou un estudi del pressupost de cada un dels tipus d'energia amb el qual es pretén veure la viabilitat econòmica de l'ús de l'energia solar.

Sumari

Resum	1
Sumari	3
1.INTRODUCCIÓ	5
1.1. Objectius del projecte.....	5
1.2. Abast del projecte	5
2.DESCRIPICÓ DE L'EDIFICI	7
2.1. Situació geogràfica.....	7
2.2. Distribució de les plantes i justificació.....	8
2.3. Orientació de l'edifici	11
2.4. Materials estructurals	12
2.4.1. La fusta	12
2.4.2. Prefabricats de fusta per a la construcció	14
2.4.3. Elements transparents	16
3.ASPECTES TEÒRICS SOBRE L'ENERGIA SOLAR	19
3.1. Energia solar tèrmica	23
3.1.1. Principi de funcionament.....	23
3.1.2. Col·lector solar pla.....	26
3.1.3. Rendiment del captador solar pla	26
3.1.4. Connexió dels col·lectors	29
3.2. Energia solar fotovoltaica.....	30
3.2.1. Principis de l'energia fotovoltaica	31
3.2.2. Principis de funcionament de la cèl·lula fotovoltaica	32
3.2.3. Connexió dels col·lectors	33
3.2.4. Components d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa elèctrica.....	35
4.DIMENSIONAMENT DE LES INSTAL·LACIONS ENERGÈTIQUES DE L'HOTEL	37
4.1. Aigua calenta sanitària.....	37
4.1.1. Consum energètic d'aigua calenta sanitària	37
4.1.2. Reglamentació aplicable	40
4.1.3. Avaluació de l'energia solar disponible	42
4.1.4. Càlcul de la superfície de captació.....	45
4.2. Sistema de calefacció	53
4.2.1. Conceptes prèvis	53
4.2.2. Principi de funcionament de la calefacció per terra radiant.....	54
4.2.3. Característiques de la calefacció per terra radiant.....	55

4.2.4. Dimensionament de la instal·lació.....	57
4.2.4.1. Càlcul de les pèrdues de calor	57
4.2.4.2 Càlcul de la superfície de captació.....	63
4.2.5. Distribució en planta de la instal·lació	68
4.2.6. Sistema alternatiu: caldera de pèl·lets	72
4.3. Instal·lació elèctrica	73
4.3.1. Consum d'electricitat.....	73
4.3.2. Reglamentació aplicable	74
4.3.3. Avaluació de l'energia solar disponible	75
4.3.4. Pèrdues de components	77
4.3.5. Càlcul de la superfície de captació.....	77
4.3.6. Criteris per al dimensionament de la instal·lació	78
5.AVALUACIÓ DE L'IMPACTE AMBIENTAL	85
6.ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA	89
7.CONCLUSIONS.....	99
8.BIBLIOGRAFIA	100

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Objectius del projecte

L'objectiu del projecte és dissenyar tot l'abastament energètic d'un hotel: aigua calenta sanitària, calefacció i electricitat mitjançant un sistema el més autosuficient possible, maximitzant l'ús d'energies netes. Així es pretén aconseguir crear un model de generació energètica sostenible amb el medi ambient i un consum energètic de proximitat.

No obstant, tot i voler aconseguir un autoabastiment energètic màxim, és important que sigui econòmicament viable. Per fer això caldrà estudiar els diferents models del mercat, i escollir aquells que ofereixin una major obtenció d'energia al millor preu.

1.2. Abast del projecte

Aquest projecte és un preestudi de com es podria realitzar l'abastament energètic d'un hotel. Donat que cal estudiar els tres subministraments que són aigua calenta, calefacció i electricitat, el projecte només analitzarà quina seria la forma de fer-ho i un dimensionament previ.

En cas que el projecte sortís viable caldria fer un segon estudi més a fons de cada un dels diferents subministraments per separat. D'aquesta manera s'aconseguirà una profunditat i un detall major de cada una de les instal·lacions.

2. DESCRIPICÓ DE L'EDIFICI

2.1. Situació geogràfica

El projecte en estudi està situat en un terreny a les afores del poble de Llivia a la comarca de la Cerdanya, província de Girona. El municipi es troba a 1223 metres sobre el nivell del mar, a la falda dels pics dels Pirineus. El poble està completament envoltat per territori francès.



Figura 2.1. Mapa geogràfic de la Cerdanya.

El terreny se situa al costat de la nacional (N-154) abans d'arribar a la població de Llivia. La seva superfície és de 20.453 m², actualment hi ha una antiga construcció que ocupa 355m² de la parcel·la. De l'oficina del cadastre s'ha obtingut el següent plànol que mostra la parcel·la que emplaçarà el projecte i en vermell la superfície de la construcció actual.



Figura 2.2. Plànol de la parcel·la

Per tal de visualitzar millor la parcel·la que acollirà el projecte es va fer una visita a la zona. En aquesta primera fotografia es pot veure el terreny, la construcció que hi ha en aquest són unes porqueres que actualment estan en desús. Les vistes que mostra aquesta fotografia són les que hi ha en orientació sud.



Figura 2.3. Vista panoràmica de la parcel·la

La segona fotografia mostra les vistes que hi ha en orientació Nord, també es pot observar la carretera està col·locada just al costat del terreny.



Figura 2.4. Entorn de la parcel·la en orientació Nord

2.2. Distribució de les plantes i justificació

L'edificació que hi ha actualment en el terreny ocupa un espai d'aproximadament 400m². Després de demanar permisos a l'ajuntament per construir el complex en aquesta parcel·la, s'ha aconseguit l'acceptació, però amb la condició de mantenir, aproximadament, la superfície de l'edifici en l'àrea que actualment hi ha construïda.

Tot i que un edifici d'aquestes dimensions en una parcel·la de 20.000m² pot semblar petita, hi ha la intenció de construir un nombre important de serveis que faran que l'espai quedi més ocupat. Per exemple, primerament seria important construir un pàrking amb una capacitat força elevada ja que l'hotel està situat just al costat de la carretera, fet que fa que no es disposi de places d'aparcament públic al voltant. També es vol col·locar una piscina amb un gran jardí, una granja escola, un hort o pistes per poder practicar diferents esports.

D'aquesta manera es hi ha intenció d'aconseguir un ambient familiar i agradable. Un dels objectius principals del projecte és oferir l'hotel a associacions que treballin per ajudar a persones amb discapacitats. D'aquí la idea de crear aquest ambient tan en contacte amb la natura, ja que es tracta d'una atmosfera molt beneficiosa per tot tipus de persones.

La idea principal d'ús de l'hotel seria la següent: durant la temporada alta, caps de setmana i períodes de vacances, l'hotel es destinarà a clients a un preu competitiu. D'aquesta manera és com es pretén recuperar la inversió realitzada. Per un altre costat, durant la temporada baixa s'oferiran les instal·lacions a grups amb risc d'exclusió social a un cost mínim, sense cap ànim de lucre.

Veient la intenció que hi ha d'acollir a persones amb discapacitat és important adaptar totes les instal·lacions i tot l'edifici a ells. Aquest serà un aspecte important a l'hora de fer la distribució en planta.

L'edifici principal de l'hotel disposarà de tres plantes, la idea és que la planta baixa estigui destinada a oferir diferents serveis als clients, mentre que a la primera i segona planta s'hi situaran les habitacions.

Totes les zones de trànsit estan pensades per permetre la mobilitat de persones amb cadira de rodes, seguint la normativa del codi tècnic de l'edificació. També s'han col·locat dos ascensors per tal de tenir-ne sempre un disponible en cas que un s'espatlli.

A continuació es detallarà més la distribució de cada una de les plantes i alguns petits detalls que s'han tingut en compte a l'hora de fer el disseny. Per visualitzar aquesta distribució a *l'Annex A: DISTRIBUCIÓ EN PLANTA DE L'EDIFICI* es poden veure els plànols de les tres plantes.

Planta Baixa

Com s'ha comentat la primera planta és una planta comuna que oferirà diferents serveis als hostes. Primerament, cal col·locar-hi un hall d'entrada on es podrà trobar la recepció. Al costat d'aquesta s'hi troba l'oficina on el personal de l'hotel podrà treballar i també s'hi haurà una consigna.

En segon lloc en aquesta planta es poden trobar dues sales d'ús comú. Per un costat, la sala polivalent, aquesta sala és multifuncional i pot servir tant per servir els esmorzars al matí com per organitzar tallers i activitats. La segona és una sala de jocs. També es disposarà d'un parell de serveis, un per a homes i un altre per a dones.

Per últim, la planta també disposa d'una cuina, en principi per ús del personal de l'hotel, que servirà per preparar tot allò necessari per servir l'esmorzar. Com que no hi ha intenció que l'hotel sigui també un restaurant aquesta sala és petita. La cuina dona a l'exterior, i s'ha col·locat un petit moll de descàrrega per tal de facilitar l'entrada dels productes.

Plantes d'habitacions

La primera i la segona planta alberguen els dormitoris de l'hotel. Per tal de simplificar en el disseny s'ha optat per fer una distribució simètrica, en les dues plantes les parets tenen la mateixa ubicació. Aquests dos factors permeten que el càlcul i la construcció d'elements estructurals sigui més senzill. La distribució base en els dos casos és la mateixa, dividint la planta en tres eixos i col·locant les habitacions en els dos eixos oposats d'aquesta manera totes les habitacions seran exteriors. A l'eix del mig s'hi col·locaran, per un costat les zones de trànsit, passadissos, escales i ascensors i, per l'altre, zones comunes.

Diferenciant ja les dues plantes, en el cas de la primera s'hi poden trobar 12 habitacions amb tres llits cada una i amb lavabo privat. Usant així la zona del mig de dues maneres diferents, per un costat s'ha creat una zona comunitària que disposarà d'una zona de descans i d'una cuina bàsica, per l'altre costat es disposarà d'una sala magatzem que servirà per guardar tot tipus de material de neteja i recanvis.

La segona planta té una distribució similar. En aquest cas, les 12 habitacions disposen de la mateixa àrea però distribució diferent, les cambres disposen de quatre llits i s'elimina el bany privat. Per tant, tot l'espai de l'eix central està destinat a la col·locació de dos grans

lavabos per compartir. De totes maneres, per tal de no col·lapsar els lavabos centrals, les habitacions disposen cada una d'elles de dues piques.

Un petit detall que s'ha tingut en compte en aquesta planta és que les habitacions estan totes connectades per portes que poden estar tancades. Aquest petit detall s'ha tingut en compte per si venen grups de gent amb discapacitats o grups de nens, que les persones responsables tinguin una major facilitat de moure's per les habitacions per atendre'ls.

2.3. Orientació de l'edifici

A les zones de clima fred la demanda de calefacció és un factor dominant als edificis. Una bona orientació d'un edifici és clau per aportar calor i llum, fet que implica un cert estalvi energètic.

L'orientació ideal de la façana principal d'un edifici que es vol projectar amb sistemes passius de calefacció és el sud. Als edificis residencials la presència de grans forats a les façanes sud permet que el sol inundi l'edifici a l'hivern, fent que els forats de la façana nord es puguin reduir al màxim.

L'orientació sud té l'avantatge de ser la que rep una intensitat solar major a l'hivern, i és interessant que l'acció solar es rebi quan més es necessiten els seus efectes. En canvi, durant els dies solejats d'estiu, les parets dels edificis que estan orientades a est i oest reben una intensitat solar més intensa que les orientacions sud, fet contrari que a l'hivern. En aquesta altra època les parets solament es veuran afectades per la radiació difusa de les primeres hores del matí i les últimes de la tarda. Per últim, es descarta la orientació nord ja que en cap cas aquesta orientació serà la que rebi major intensitat solar.

Havent vist les característiques de cada una de les orientacions es procurarà que les zones de l'hotel en què es té més interès que hi hagi llum solar i calidesa tinguin una orientació cap al sud. Aquestes zones són les habitacions principalment i en segon lloc les zones comunes. Com s'ha pogut veure en l'apartat anterior la distribució de les dues plantes d'habitacions és simètrica, tenint dues zones amb habitacions en costats oposats. Seria ideal que totes les habitacions poguessin donar a la façana amb orientació sud, però això és impossible considerant el nombre d'habitacions que s'hi vol posar i l'espai del que es disposa.

D'aquesta manera només hi ha dues possibilitats per a l'orientació de l'edifici, fent que les habitacions estiguin sud- nord o est- oest. Tenint en compte el clima fred de la Cerdanya, és interessant que, encara que només sigui en la meitat de les habitacions s'aprofiti al màxim la intensitat solar a l'hivern, per tant la orientació que s'escull serà que la meitat de les habitacions estiguin cap al sud i l'altre meitat cap al nord.

2.4. Materials estructurals

En qualsevol edifici s'espera que el tancament aïlli del vent, la humitat i la pluja, que permeti l'entrada de llum i aire, que conservi la calor i que proporcioni seguretat i intimitat. En un edifici sostenible, també es pot esperar que moderi els efectes del clima, que capti i emmagatzemi calor, que redirigeixi la llum i que controli el moviment de l'aire, fet que suposarà un estalvi d'energia.

És important que el material del que es construirà l'edifici tingui una llarga vida útil i un baix cost de manteniment per reduir el consum d'energia i de material durant la seva vida útil.

Un tancament de major qualitat pot ser més car, però si millora l'equilibri entre les pèrdues i guanys de calor, reduint les necessitats de calefacció, el cost addicional pot veure's compensat amb un estalvi posterior.

Així doncs, cal buscar un material que sigui bon aïllant tèrmic, econòmic, sostenible amb el medi ambient i que encaixi en la arquitectura de la zona. Una bona alternativa capaç de reunir totes aquestes característiques és la fusta.

2.4.1. La fusta

Es tracta d'un dels materials de construcció que té més èxit: lleugera, resistent, duradora, fàcil de treballar, bella, amb una gran tradició i una base sòlida de tècniques i coneixement. També és un recurs renovable, sempre que s'utilitzin les tècniques adequades.

A continuació es presenten quines són les propietats més importants per a la seguretat i el benestar de les persones que ha de garantir el material que s'utilitzi per construir l'edifici.

Resistència mecànica. El fet que la fusta tingui un comportament resistent per suportar una estructura és bàsica l'hora de construir l'edifici. La fusta és un material anisòtrop, el que

fa que ofereixi molt bona resistència mecànica en la direcció de les fibres. Una demostració de la resistència de la fusta és la gran quantitat d'estructures que s'han construït amb els anys arreu del món.

La fusta, en comparació amb altres materials de construcció, té un pes inferior però suporta grans càrregues. De fet, té una relació resistència - pes més favorable que altres materials de construcció com l'acer i el formigó.

Aïllant tèrmic. Les parets i cobertes de l'edifici han d'incloure aïllament tèrmic tant per reduir la pèrdua de calor com per mantenir la superfície interior a una temperatura superior. L'aïllament, per tant, augmenta els nivells de confort. La reducció de les pèrdues de calor mitjançant nivells superiors d'aïllament segueix sent la mesura més eficient per estalviar energia.

La fusta és un dels materials amb un millor rendiment tèrmic donades les seves boníssimes propietats d'aïllant natural. Aquest fet fa que sigui un bon material en el sector de la construcció, principalment per a parets i cobertes. D'aquesta manera la fusta és capaç de proporcionar un estalvi energètic respecte altres materials menys aïllants.

Els materials cel·lulòsics, entre els quals s'inclou la fusta, són mal conductors de la calor donat que disposen d'una petita quantitat d'electrons lliures, que són els responsables de la transmissió de calor, al contrari del que passa amb els metalls.

Així doncs, en un clima tant fred com és el de la Cerdanya, és molt important buscar un material d'aquestes característiques que eviti al màxim la transferència de fred a l'edifici durant l'hivern i per tant, reduint al màxim el consum d'energia per a la calefacció.

Es defineix la conductivitat tèrmica (λ) com la mesura de la facilitat amb què la calor passa a través d'un material. Tècnicament, és la quantitat de calor que passa per unitat de temps a través d'una unitat superfície, sotmesa a un gradient de temperatura entre les dues cares.

La fusta i els seus derivats són materials amb una gran porositat. Conseqüentment, la seva conductivitat té un valor intermedi entre les dels seus components sòlids i les dels porus d'aire, tenint en compte que la conductivitat de l'aire és molt baixa. És per això que moltes vegades per augmentar encara més la conductivitat de la fusta es col·loca una capa d'aire

entre mig de dues plaques de fusta. Aquesta capa d'aire té una conductivitat tèrmica molt baixa i fa que la conductivitat del conjunt disminueixi considerablement.

Protecció contra incendis. La fusta és un material combustible. No obstant, aquesta pot ser tractada per millorar el seu comportament davant d'un incendi. Existeixen diverses opcions per fer de la fusta un material menys inflamable, es pot destacar l'aplicació de vernissos i pintures. Un altre sistema és revestir-la amb guix o la col·locar-hi una capa entre mig de dues plaques de fusta d'un material resistent al foc.

Protecció acústica. Contràriament a la construcció convencional, la construcció amb fusta segueix el principi d'ús de diverses capes per al compliment de les exigències acústiques. Amb la interposició de material aïllant entre les diferents capes de fusta és possible l'acompliment de les exigències acústiques sense grans esforços.

2.4.2. Prefabricats de fusta per a la construcció

La prefabricació de la fusta dóna a aquest material totes les propietats necessàries perquè sigui idoni per a la construcció. A més, al treballar-lo de forma industrial es transforma en un material més econòmic i de molt fàcil i ràpida disponibilitat.

Actualment, hi ha diverses empreses que es dediquen a la fabricació de panells de fusta i els preparen ja directament per poder ser disposats com a façana, paret o sostre d'un edifici. Els motius principals pels que s'ha decidit treballar amb aquest tipus de construcció prefabricada són els següents:

Excel·lència estètica. La seva alta capacitat de càrrega amb un pes propi baix permet dimensionar components primers per a grans obertures, oferint més espai lliure amb les mateixes mesures externes.

Rapidesa en el muntatge. L'alt grau de prefabricació comporta temps d'obra més curts. Els diferents components s'analitzen i fabriquen en línies de control numèric, minimitzant errors i temps morts durant l'obra.

S'han escollit dues empreses per a la construcció dels panells la primera serà Egoïn que fabricarà les parets i els forjats, en segon lloc l'empres KLH és la que realitzarà la solera. Ambdues empreses són molt reconegudes en el sector de la fusta.

És important tenir present que aquest tipus de prefabricat permet també una ampla varietat d'acabats, podent escollir entre diferents tipus de fusta quina es vol que sigui la visible i escollint també quin tipus de vernís o pintura de colors es desitja.

A continuació s'explica quines són les característiques de cada un dels models seleccionats per a la construcció de l'hotel. A l'*Annex B DADES TÈCNIQUES DELS MATERIALS DE CONSTRUCCIÓ* es poden totes les característiques de cada un d'aquests models.

Paret exteriors

La façana de l'edifici estarà feta del model EGO-CLT MIX 360. Aquest model consta de dues planxes de fusta de 60 mm de gruix entre les quals es troba una capa de fibra de fusta amb una conductivitat tèrmica molt baixa que serveix per amplificar les propietats d'aïllament tèrmic. És molt important que la paret exterior que dona al medi tingui unes característiques aïllants molt bones ja que el clima a la Cerdanya durant la temporada d'hivern és molt fred.

A l'*Annex B.1 Catàleg de la façana: EGO-CLT MIX 360* es mostra les propietats relatives a la transferència de calor d'aquesta planxa. D'aquí s'extrauran les dades per calcular el dimensionament del sistema de calefacció de l'edifici.

Forjat exterior

El forjat també el fabricarà l'empresa Egoín. Seguint el Pla d'Ordenació Urbanística Municipal de la Cerdanya, publicat el 16 de gener de 2006 al Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, les teulades han de tenir una certa inclinació, entre el 30% i el 50%, per tal de mantenir una certa harmonia entre els habitatges. Aquesta inclinació també és útil pel tipus de clima de la zona en què a l'hivern són habituals les nevades i, per tant, és recomanable que la teulada tingui certa inclinació perquè la neu no s'acumuli com passaria en una coberta plana. La inclinació que s'escollirà per al forjat és la del 50% ja que proporciona una major superfície lliure per a la col·locació de plaques solars comparat amb la inclinació del 30%. L'orientació de la teulada serà una part inclinada cap al Sud i l'altre cap al Nord. Utilitzant la cara Sud per a la col·locació de col·lectors solars.

Aquest prefabricat està format d'una primera capa de pissarra que encaixa amb l'estil arquitectònic de la zona. A continuació hi ha dues capes de les quals es pot destacar la seva propietat d'impermeabilitat i seguidament, es troben diferents capes de fusta. De tot

aquest forjat prefabricat la fusta és el material té per un costat funció de resistència mecànica dels diferents esforços que pot suportar la teulada, i per l'altre també és important la seva propietat aïllant. Per últim, la part que dona a l'interior de l'edifici està recoberta amb una fina capa de guix.

Les característiques tèrmiques que presenta el forjat es poden trobar a l'*Annex B.2 Catàleg del forjat*.

Solera

La solera és la part de l'estructura que separa l'edifici dels fonaments. Aquest prefabricat el proporcionarà el proveïdor KLH. Donat que la solera també està en contacte amb l'exterior és important que aquesta tingui unes molt bones propietats tèrmiques.

Aquesta solera està formada per capes de diferents materials, d'entre aquests es poden destacar el plàstic cel·lular i el poliestirè expandit que s'utilitzen per les seves bones propietats aïllants. Per sota es troba la capa de més gruix de la solera que està feta de formigó armat, aquest material és molt usat a la construcció per la seva duresa i resistència a grans esforços tant a altes com a baixes temperatures. Finalment, per sota es col·loquen diferents capes com la de drenatge o la geotextil que serveixen per separar del terra.

El catàleg que ofereix marca KLH es pot visualitzar a l'*Annex B.3 Catàleg de la solera* on a part de veure específicament totes les parts de la solera s'hi poden trobar les propietats tèrmiques.

2.4.3. Elements transparents

En un edifici sostenible, els elements de vidre solen ser una característica interessant i complexa. Un bon disseny de les finestres significa trobar un equilibri entre demandes normalment oposades. Per un costat les finestres proporcionen llum solar, sensació d'espai obert, contacte visual amb l'entorn, ventilació de l'espai i millors condicions d'higiene, però per l'altre les propietats aïllants del vidre no són tan elevades com la dels murs que separin l'edifici de l'exterior, provocant així que les finestres siguin una pèrdua de calor de l'interior.

A l'igual que en el cas dels altres elements constructius, a l'hora d'escollir quin vidre s'utilitzaria els factors més importants han estat les propietats tèrmiques. L'objectiu és que el vidre sigui el més aïllant possible.

El vidre escollit serà de la marca Saint –Gobain Glass, és una empresa important dins del sector i disposa d'un important ventall de producte segons les necessitats i els climes amb què es treballi. El model seleccionat s'anomena COOL-LITE XTREME, és un vidre de control solar i aïllament tèrmic extremadament selectiu que es pot instal·lar en qualsevol tipus de façana.

El seu valor de transmitància tèrmica $U=1 \text{ W/m}^2\text{K}$ el converteixen en un vidre idoni per estalviar calefacció durant les temporades més fredes. A l'*Annex B.4 Catàleg elements transparents* es pot trobar més informació sobre aquest model.

3. ASPECTES TEÒRICS SOBRE L'ENERGIA SOLAR

Les activitats humanes com la indústria, agricultura, transport, serveis i vida quotidiana requereixen l'ús d'energia. L'energia es defineix com l'habilitat que té un sistema per produir treball i calor.

Aquesta energia pot provenir de diferents fonts. La major part de l'energia que es consumeix al món prové de la combustió de combustibles fòssils (carbó, petroli i gas natural). És per això que el model energètic és difícilment sostenible. Els combustibles fòssils tenen un alt contingut en carboni, això suposa una important emissió de CO₂ durant la seva combustió i per tant un impacte sobre el medi ambient. A més, els recursos energètics fòssils són limitats i, en algun moment, tindran que ser substituïts a gran escala per altres fonts d'energia. Finalment, l'elevat creixement dels països emergents està fent créixer la demanda d'energia a nivell global augmentant així el preu de l'energia.

Com a solució en els últims anys s'està considerant cada cop més el desenvolupament sostenible. Es coneix aquest concepte com el progrés que satisfà les necessitats del present sense comprometre la capacitat de les generacions futures per satisfer les pròpies necessitats. Aquest concepte té el seu origen en una presa de consciència en què el model de desenvolupament actual cal adequar-lo a una nova situació.

Des de mitjan de segle, la demanda mundial de recursos s'ha accelerat com no ho havia fet mai abans. Paral·lelament a un espectacular creixement de la població s'ha triplicat el consum de productes bàsics, traspasant així el llindar de la producció sostenible.

Això implica desforestació, desertització, conflictes de repartiments de recursos i l'augment de CO₂ fins al nivell en què la natura no és capaç d'absorbir-ho, produint alteracions en el clima.

Per evitar que aquest escenari generi situacions irreversibles és necessari plantejar un canvi significatiu. Això implica l'adopció de canvis reals considerant la sostenibilitat. Un factor primordial és reduir gradualment l'ús dels combustibles fòssils que contribueixen a

l'augment de la concentració de CO₂, i d'altres gasos que provoquen l'escalfament de la terra.

En aquest sentit, és obvi que les energies renovables es troben al capdavant de qualsevol estratègia de reducció de la dependència dels combustibles fòssils. Les aportacions bàsiques de les energies renovables a la sostenibilitat estan relacionades amb:

- La reducció d'emissions contaminants a l'atmosfera.
- La reducció de la dependència dels combustibles fòssils i el desenvolupament d'un sistema d'aprovisionament energètic basat en recursos inexhauribles.
- La contribució a l'enfortiment global de les economies que s'aconsegueix canviant cap a indústries d'energia sostenible.

Per tant, les energies renovables són l'aposta estratègica de futur perquè són netes, es restitueixen gratuïtament, i poden ser part de la solució al problema energètic a llarg termini. En aquest projecte l'energia que s'ha considerat adequada per la situació i per la seva accessibilitat és l'energia solar.

L'energia solar

El Sol és una immensa bola de plasma que desprèn una gran quantitat d'energia a l'espai. Es va formar fa uns 4.500 milions d'anys, al mateix temps que el sistema.

Gràcies a l'emissió de calor que el Sol produeix es pot dir que és la principal font d'energia de la vida. L'energia solar arriba a la Terra en forma d'ones electromagnètiques que es desplacen per l'espai en totes les direccions. Aquest efecte és el que anomenem radiació solar.

La radiació solar és força constant abans d'entrar a l'atmosfera. La potència de radiació solar rebuda en una superfície d'un m² col·locada sobre el pla tangent a l'esfera imaginària formada per la capa externa de l'atmosfera se l'anomena constant solar. El valor d'aquesta constant és de: 1353 W/m². Encara que aquest valor s'anomeni "constant solar", no és un valor fix, sinó que pot variar una mica en funció de les variacions de la distància Sol- Terra.

En canvi, un cop travessada la franja d'aire que envolta la Terra, la radiació solar experimenta tot un seguit de processos d'interacció amb la matèria (gasos, pols en

suspensió, vapor d'aigua, etc.) que formen l'atmosfera mateixa. En aquest procés, la radiació solar es veu alterada pels següents fenòmens físics:

Reflexió. Una part de la radiació no penetra, sinó que es desvia cap a l'exterior com si es tractés d'un mirall.

Transmissió. Una part de la radiació travessa el cos podent patir més o menys canvis de direcció i/o velocitat.

Absorció. Una part de la radiació és absorbida produint un escalfament del cos per l'impacte sobre els àtoms que componen el material.

Donats aquests fenòmens, només es podrà aprofitar a nivell de mar una part de l'energia disponible. D'altra banda, la radiació solar incident a la superfície de la Terra està condicionada pels factors que es descriuen a continuació.

1. Localització geogràfica

La radiació incident variarà en funció de la localització geogràfica: com més allunyats de l'equador, el nivell de radiació incident per unitat de superfície (W/m^2) serà més baix. Això és perquè al allunyar-se de l'equador l'angle d'incidència de la radiació sobre la Terra és menys perpendicular al Sol i, alhora, la radiació solar ha de travessar més atmosfera "aire" que actua de filtre de la radiació solar.

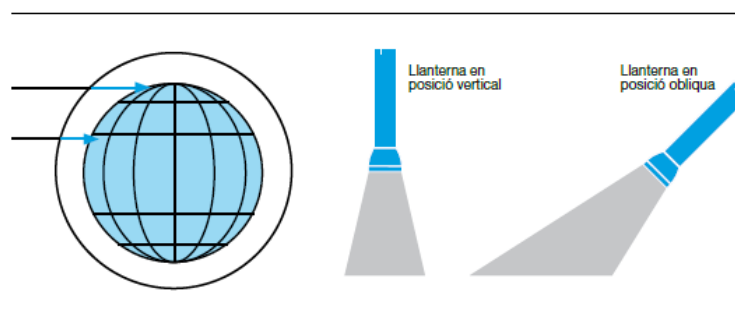


Figura 3.1. Representació de la il·luminació en funció de la posició del sol. [1]

L'alçada respecte al nivell del mar serà un altre dels factors que afectarà directament la quantitat de radiació incident. L'espessor d'atmosfera que ha de travessar la radiació solar varia en funció de la distància que hi ha entre el punt d'ubicació i l'estratosfera.

2. Factor estacional

L'estacionalitat està determinada per la declinació de la Terra respecte el Sol i això incideix directament sobre el temps d'exposició diària a la radiació solar. Com a conseqüència d'aquesta inclinació, variarà la geometria de la situació d'un emplaçament respecte el Sol en cada punt de l'òrbita terrestre. Aquest fet fa variar l'angle d'incidència i el temps d'exposició a la radiació solar, i dóna pas a les estacions meteorològiques.

3. Factor climatològic

De l'energia solar que travessa l'atmosfera i que incideix sobre l'escorça de la Terra, una part principal hi arriba directament, és a dir, que no pateix canvis de dispersió en la direcció. La resta d'energia arriba de manera difusa; aquesta última correspon als raigs desviats per les gotes de vapor d'aigua en suspensió (núvols). Com més ennuvolat és el dia, més important és la radiació difusa.

	Radiació global (W/m ²)	Percentatge de difusa (%)
Cel clar	750 - 1.000	10 - 20
Parcialment núvol	200 - 500	20 - 90
Tapat	50 - 150	90 - 100

Taula 3.1. Radiació global i percentatge de radiació difusa en funció del factor climatològic. [1]

Per mesurar la radiació total que una superfície rep en un determinat nombre de dies s'utilitzen uns aparells anomenats piranòmetres, els quals detecten la intensitat de la radiació incident en cada moment. Les dades de radiació obtingudes a partir d'aquests aparells han de ser de gran fiabilitat, ja que un cop recopilades al llarg dels anys donen lloc a les anomenades taules de radiació solar.

Pel que fa a l'aplicació d'energia solar a la llar, normalment, les necessitats poden ser cobertes gràcies als dos sistemes principals d'aprofitament de l'energia solar:

Energia solar tèrmica. Per a l'escalfament de fluids i per tant és útil per al subministrament d'aigua calenta sanitària o per a l'escalfament d'un fluid per usar com a sistema de calefacció.

Energia solar fotovoltaica. Per a la transformació directa d'energia solar a energia elèctrica.

A continuació s'explicaran més detalladament cadascuna de les dues tecnologies i es mostra també l'estudi de l'aplicació d'aquest tipus d'energies a l'hotel.

3.1. Energia solar tèrmica

L'energia solar tèrmica consisteix en l'aprofitament directe, en forma d'escalfament o energia calorífica, de la radiació solar incident. Una de les maneres més rendibles d'aprofitar el Sol és convertir la seva energia en calor, que després s'aprofitarà per produir aigua calenta, obtenir calefacció, climatitzar piscines o qualsevol altra aplicació on es requereixi elevar la temperatura d'un fluid.

3.1.1. Principi de funcionament

Els rajos del Sol incideixen sobre els col·lectors tèrmics transformant la radiació en energia útil per a la instal·lació. Per captar la radiació s'utilitzen panells solars que basen el seu funcionament en dos principis. El primer és el principi del cos negre que explica que els cossos foscos i mates capten millor la radiació solar que qualsevol altre color; per això l'absorbidor del captador solar acostuma a ser de colors foscos.

El segon principi és l'efecte hivernacles, aquest efecte es genera en alguns cossos transparents, que normalment només són travessats per radiacions amb longitud d'ona entre 0,3 i 3 μ m. Donat que la major part de la radiació solar està compresa entre 0,3 i 2,4 μ m, la llum solar pot travessar un vidre. Un cop travessada la radiació troba l'absorbidor, que s'escalfa per la radiació solar i emet radiacions compreses entre els 4,5 i 7,2 μ m per a les quals el vidre es opac, aconseguint així que la radiació emesa per la placa no escapi del captador.

La calor absorbida per la placa solar no sol aprofitar-se en el mateix lloc on està instal·lada, per això el calor haurà de ser transportat fins a un punt determinat. D'aquesta manera és necessària la col·laboració d'un sistema conductor que assumeixi aquesta funció. Aquest sistema està format per una sèrie de conductes pels que circula el fluid escalfat.

El funcionament de l'equip es basa en la insolació continua de les plaques solars, que van cedint calor al fluid conductor i reposant la seva pèrdua per la continua acció solar.

Cal preveure la necessitat d'utilitzar aigua calenta o de posar en acció el sistema calefactor durant les hores nocturnes. De la mateixa manera que cal tenir en compte els dies ennuvolats i existeix una baixa radiació solar. La solució a aquest problema passa per usar un acumulador solar. Es tracta d'un dipòsit encarregat d'emmagatzemar l'energia que produeixen els col·lectors solars.

La calor que rep l'acumulador es transferit, normalment, de manera indirecta mitjançant un serpentí intercanviador de calor que és una canonada de coure o llautó (bons materials per a la conducció de calor) en forma helicoidal que travessa la caldera de l'acumulador, oferint una llarga superfície de contacte per posar en relació el fluid calent que circula interiorment amb el que conté la caldera.

Dintre el sistema es pot diferenciar entre el circuit primari que seria el que fa referència al líquid anticongelant que es troba dins dels col·lectors solars i que transmet el calor fins a l'acumulador. El circuit secundari seria tot el que està relacionat amb l'aigua calenta sanitària, des de que és escalfat a l'acumulador fins que arriba al punt de consum.

En cas de que l'aigua de l'acumulador no assoleixi la temperatura d'ús desitjada entra en funcionament automàticament el sistema auxiliar (caldera de gas o resistència elèctrica), que s'encarrega de generar el calor complementari. La característica de l'estacionalitat del Sol implica que a fi d'optimitzar la instal·lació solar es dissenyi de manera que produeixi l'energia necessària durant els mesos d'estiu, mentre que a l'hivern, que hi ha menor radiació no es cobreixen les necessitats i és necessari usar altres sistemes alternatius.

Si la instal·lació es dissenya de manera que l'habitatge es pogués abastir d'aigua calenta a l'hivern únicament amb energia solar tèrmica quedaria sobredimensionada durant l'època d'estiu. Això implicaria no només una pèrdua d'energia durant aquests mesos sinó també una inversió molt més elevada que no seria rendibilitzada.

En funció de la circulació del fluid es poden classificar els sistemes diferenciant dos tipus:

Circulació natural (sistema per termosifó). Aquest sistema es basa en un principi físic conegut amb el nom de termosifó. Aquest principi diu que si s'escalfa una massa d'aigua continguda dins d'un recipient la capa líquida en contacte amb el fons del recipient serà la primera en escalfar-se i tendirà a desplaçar-se cap amunt ja que l'aigua calenta és més lleugera que la freda. Pel mateix efecte, l'aigua situada a la superfície que es conserva

relativament freda respecte el fons tendirà a desplaçar-se cap al fons al ser més pesada. D'aquesta manera es forma una corrent circulatòria que es pot aprofitar perquè un líquid es traslladi. El circuit pel que circula l'aigua pot ser obert o tancat.

En el cas de circuit obert l'ACS és el fluid del circuit primari i del secundari, així el sistema consta d'un col·lector en connexió amb un acumulador, establint el circuit amb l'entrada de l'aigua calenta per la part superior, i la recuperació de la freda per la inferior. Es tracta d'un sistema eficaç i de baix cost, però a la pràctica presenta problemes en cas que l'aigua es congeli o la duresa de l'aigua sigui molt elevada.

De forma contrària, en un circuit tancat existeix una total independència entre l'aigua escalfar continguda a l'acumulador i l'aigua circulant que s'escalfa en el col·lector per acció radiant. A l'igual que amb el sistema anterior, perquè es produeixi el moviment circulatori de l'aigua es necessari que l'acumulador se situï per sobre de la placa solar.

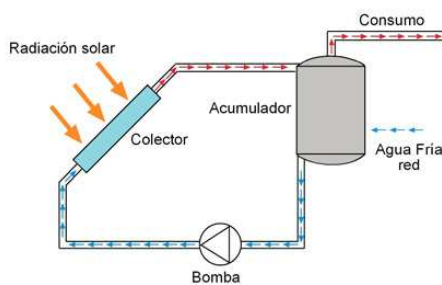


Figura 3.2. Circuit termosifó obert

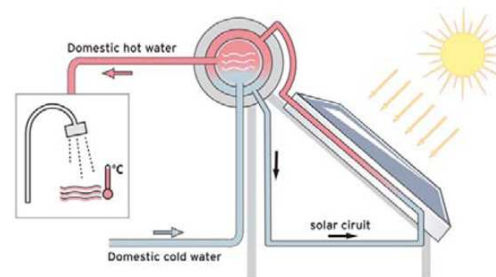


Figura 3.3. Circuit termosifó tancat

Circulació forçada. A una instal·lació per a aigua calenta sanitària de circuit tancat se li afegeix una petita bomba impulsora. Aquesta bomba té la missió de forçar la circulació de l'aigua. Això implica que l'acumulador ja no cal que estigui per sobre dels panells solars.

La incorporació d'aquest nou element a l'equip eliminarà la majoria d'inconvenients del sistema de termosifó; un d'ells, la lentitud amb què s'escalfa l'aigua. La bomba accelera el moviment de la massa líquida i, com a conseqüència, aquesta recorre la totalitat del circuit en menys temps. La rapidesa de la circulació no permet que l'aigua s'escalfi massa durant el seu pas pel circuit del col·lector; la temperatura augmenta pocs graus en cada volta i per tant l'aigua necessita recórrer varies vegades el circuit per aconseguir la temperatura desitjada. De totes maneres, l'acumulador tarda menys en obtenir la temperatura desitjada que el sistema termosifó. Aquest serà el sistema utilitzat per a la instal·lació d'ACS.

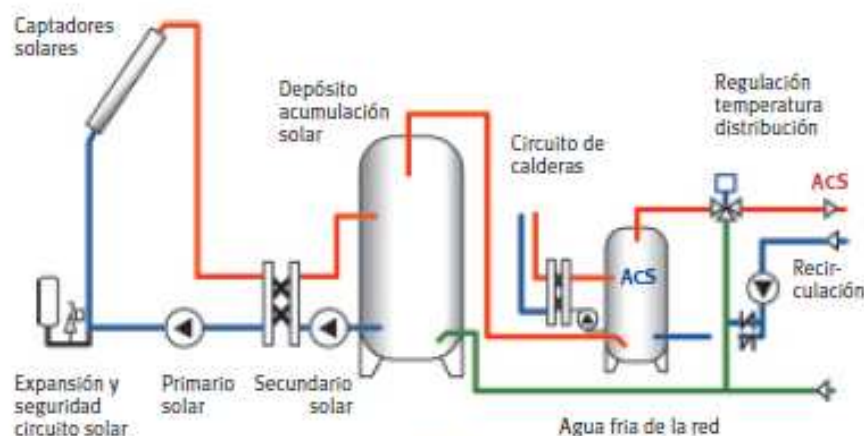


Figura 3.4. Esquema d'una instal·lació de generació d'ACS mitjançant energia solar tèrmica. [9]

3.1.2. Col·lector solar pla

El captador és el component d'una instal·lació solar tèrmica encarregat de capturar l'energia del Sol i transforma-la en calor. Actualment, es poden diferenciar entre els principals tipus de captadors següents en el mercat:

Els captadors plans

Els captadors de concentració de la radiació

Els de tub de buit.

A les aplicacions solars a temperatura baixa, és a dir, a temperatures inferiors a 80°C, com per exemple la producció d'aigua calenta sanitària i el subministrament de calefacció, s'utilitzen, majoritàriament, captadors de placa plana. Per tant, aquest serà el captador que s'usarà per cobrir les necessitats de l'hotel.

Un col·lector solar està format per diversos elements, d'entre aquests es poden destacar els següents:

Carcassa. Forma el recinte que conté els diferents components de la placa. Té dues missions, protegir i suportar tots els elements del captador, i per un altre costat, adaptar-se a l'edifici o al suport que aguantarà la instal·lació.

A fi d'aconseguir una llarga duració cal que sigui rígida, resistent als canvis de temperatura, i resistent a la corrosió. A més, és important que permeti una fàcil ventilació per tal d'evitar condensacions internes.

Coberta transparent. Té la missió de permetre el pas de la radiació solar. Cal escollir un material que a més de ser bo provocant l'efecte hivernacle tingui un coeficient de dilatació petit, així com una bona resistència mecànica perquè no es trenqui pel vent o el granit.

Absorbidor. Rep la radiació solar, la transforma en calor i la transmet al fluid portador. Es tracta d'una placa metàl·lica sobre la qual s'introdueixen uns tubs pels que circula el fluid caloportador. Generalment són de coure o d'alumini. Per incrementar el poder d'absorció, es recobreix la cara de la placa amb una capa de color gris molt fosc o negre.

Aïllament. Protegeix l'absorbidor de les pèrdues tèrmiques per la seva part lateral i posterior.

Circuit. És per on circularà el fluid transportador de calor, es disposa juntament amb la placa absorbent per tal que rebri els efectes calòrics immediatament i amb la major intensitat. El circuit s'encarregarà de portar el calor fins a l'acumulador, o bé fins al lloc de destí.

3.1.3. Rendiment dels captadors solar tèrmics

De la radiació solar incident en un equip solar, només una part es transformarà en calor. Aquesta fracció està determinada pel rendiment de la instal·lació solar i es deu principalment a les característiques del captador i a les pèrdues de calor en els elements que formen el circuit.

Del total de radiació que arriba al captador, una part es perd per reflexió i absorció al vidre de la coberta i la resta és captada. L'energia que capta l'absorbidor produeix l'escalfament i, per tant, una part d'aquesta energia es remet cap a l'ambient en forma de radiació.

La proporció de radiació que aprofita el captador respecte de la radiació que arriba al col·lector queda definida pel rendiment del captador. El rendiment del captador no és un valor fix, ja que depèn de factors que varien durant el seu funcionament: la temperatura mitjana del captador, la temperatura ambient i la intensitat de radiació solar. Si es vol obtenir un bon rendiment, cal fer treballar els captadors a la temperatura més baixa possible, sempre que n'hi hagi prou per a l'ús que es vulgui donar.

Com major sigui l'aprofitament energètic, millor serà el rendiment del captador. És important tenir en compte que la instal·lació solar no pot aprofitar el 100% de la radiació. Aquesta fracció d'energia solar captada serà η_0 . A continuació es mostra quin és el balanç energètic que es dona a la placa solar tèrmica.

Q_1 : Energia incident total

$$Q_1 = \eta_0 \cdot S \cdot I \quad \text{Eq. 3.1}$$

On,

S Superfície del captador

I Radiació solar

η_0 Factor d'energia que absorbeix la placa

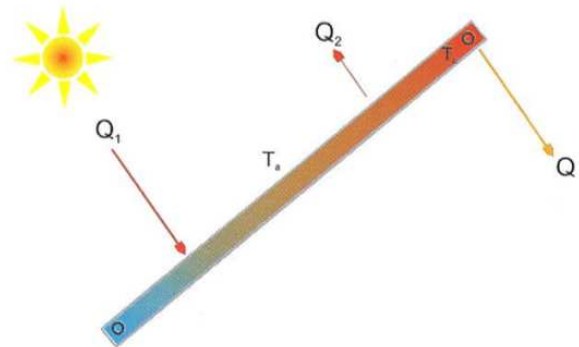


Figura 3.5. Esquema energètic d'un panell solar [4]

Q_2 : Energia perduda per dissipació a l'exterior

$$Q_2 = S \cdot U \cdot (T_c - T_a) \quad \text{Eq. 3.2}$$

On,

U Coeficient global de pèrdues

Tc Temperatura mitja de la placa

Ta Temperatura ambient

Q: Energia útil

De les diferents energies que entren i surten de la placa es dona la següent equació:

$$Q_1 = Q + Q_2$$

Eq. 3.3

$$Q = Q_1 - Q_2 = \eta_0 \cdot S \cdot I - S \cdot U \cdot (T_c - T_a) = S \cdot [\eta_0 \cdot I - U \cdot (T_c - T_a)]$$

El rendiment solar serà:

$$\eta = \frac{Q}{S \cdot I} = \frac{\eta_0 \cdot I - U \cdot (T_c - T_a)}{I} = \eta_0 - \frac{U \cdot (T_c - T_a)}{I} = \eta_0 - \frac{K1 \cdot (T_c - T_a)}{I} \quad \text{Eq. 3.4}$$

Com es pot veure les pèrdues tèrmiques depenen de la diferència de temperatura entre la placa i l'ambient. Quan les temperatures a la placa són baixes, la relació del rendiment és pràcticament lineal, en canvi, al augmentar la temperatura a la placa augmenta l'error. En aquest cas és més precís usar una expressió quadràtica per expressar les pèrdues tèrmiques:

$$\eta = \eta_0 - \frac{K1 \cdot (T_c - T_a)}{I} - \frac{K2 \cdot (T_c - T_a)^2}{I} \quad \text{Eq. 3.5}$$

Les constants que donen lloc a l'equació les faciliten els fabricant, i mitjançant aquestes es pot deduir el rendiment del col·lector.

3.1.4. Connexió dels col·lectors

En una instal·lació solar tèrmica se solen usar diversos col·lectors. A l'hora de definir i muntar el camp solar, cal tenir en compte que s'ha de fer una distribució dels captadors en grups. Aquestes agrupacions de captadors haurien d'estar sempre formades per unitats del mateix model i amb una distribució el més uniforme possible.

Hi ha dues tipologies bàsiques per agrupar dos o més captadors: de tipus sèrie o paral·lel. També es pot configurar un camp de captació combinant que rep el nom de circuit mixt.

Connexió en sèrie

El tub de sortida de cada placa es connecta amb la boca de entrada al del mòdul següent. I l'últim de la sèrie amb la canonada conductora d'aigua calenta fins a l'acumulador. Amb aquest sistema, s'aconsegueix que l'aigua recorri tots els mòduls i vagi augmentant la temperatura en cada un d'ells. Aquesta connexió té l'inconvenient que el rendiment dels captadors va disminuint proporcionalment amb l'augment de la temperatura de treball.

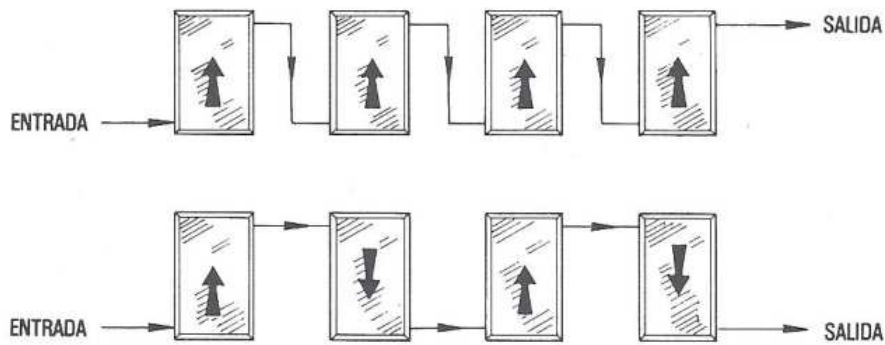


Figura 3.6. Esquema de la connexió en sèrie. [6]

Connexió en paral·lel

En la connexió en paral·lel els punts de sortida i entrada d'aigua comú estan connectades a la sortida i entrada de tots els captadors. Amb aquesta configuració, la temperatura del fluid d'entrada és la mateixa a tots els captadors i passa el mateix amb les temperatures de sortida, de manera que a la sortida de la bateria s'obté la temperatura com si es treballés amb el salt tèrmic d'un sol captador.

Per tant, tots els captadors treballen en el mateix punt de la corba de rendiment. Aquesta connexió és la més habitual a les instal·lacions solars tèrmiques de baixa temperatura.

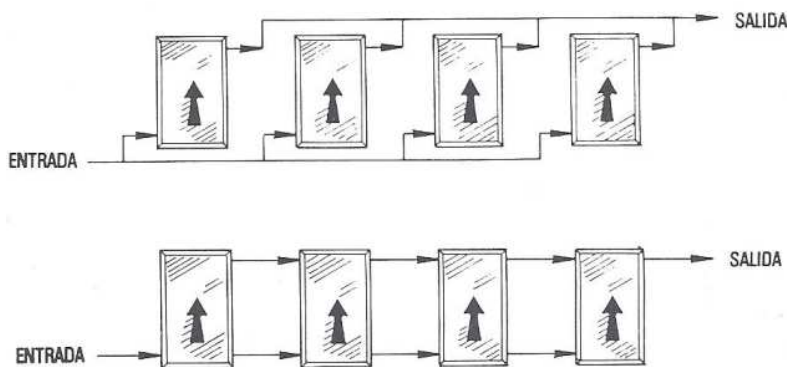


Figura 3.7. Esquema de la connexió en paral·lel. [6]

3.2. Energia solar fotovoltaica

Les instal·lacions solars fotovoltaïques són aquelles que generen electricitat en baixa tensió a partir de la radiació solar. Aquesta transformació es pot dur a terme mitjançant uns dispositius anomenats panells solars.

Es poden diferenciar dos tipus d'instal·lacions solars fotovoltaïques:

Instal·lacions fotovoltaïques autònomes. Instal·lacions de subministrament elèctric en zones aïllades de les xarxes de distribució elèctrica; aquestes instal·lacions no presenten cap tipus de connexió amb la xarxa elèctrica. En entorns aïllats, on es necessita poc corrent elèctric i l'accés a la xarxa està penalitzat econòmicament per la distància, com refugis de muntanya o estacions meteorològiques, s'empren les plaques fotovoltaïques com a alternativa econòmicament viable.

Instal·lacions fotovoltaïques d'interconnexió a la xarxa. Petits o grans generadors fotovoltaïcs connectats a la xarxa elèctrica i que venen tota la producció elèctrica a les comercialitzadores d'electricitat mitjançant un contracte regulat per l'organisme administratiu competent.

Donat que la ubicació del terreny no es troba aïllada i hi arriba subministrament de la xarxa elèctrica, el tipus d'instal·lació escollida serà la d'interconnexió a la xarxa. Al tractar-se d'un edifici destinat al turisme, és important que disposi en tot moment d'allò que el client necessita i per tant no es pot permetre quedar-se sense electricitat.

3.2.1. Principis de l'energia fotovoltaïca

L'energia solar fotovoltaïca és la forma d'obtenir energia solar a través de dispositius semiconductors que, en rebre radiació solar, s'exciten, provoquen salts electrònics i una petita diferència de potencial tipus diode en els seus extrems.

Efecte fotovoltaïc

Els materials semiconductors són el suport de la conversió fotovoltaïca. Aquest tipus de materials tenen la particularitat de presentar un comportament diferent davant l'electricitat depenent de si una font energètica externa, com la radiació solar incident, els excita o no.

El silici és el semiconductor més usat avui en dia en el camp de l'energia fotovoltaïca. Aquest material té quatre electrons de valència preparats per formar enllaç covalent amb altres àtoms. Per millorar les seves propietats elèctriques es dopen els àtoms de silici amb àtoms de diferent estructura de dues maneres possibles:

Semiconductors tipus N o negatiu. Si se submergeix un cristall de silici en una atmosfera de fòsfor, aquest es difon pel cristall ocupant les posicions de la xarxa cristal·lina i establint enllaços amb els àtoms de silici. No obstant, el fòsfor té cinc electrons a la capa de valència preparats per formar enllaç, però al seu entorn només en troba quatre, per tant quan s'enllaça amb els quatre electrons del silici hi ha un electró que queda poc lligat. La incidència de radiació solar aporta l'energia necessària per deslligar completament aquest electró i col·locar-lo a un nivell energètic superior on puig moure's lliurement pel material, es diu que salta a la banda de conducció.

Semiconductor tipus P o positiu. Si se submergeix un cristall de silici en una atmosfera de bor, que té només tres electrons a la capa de valència, als llocs on s'ubica l'àtom de bor apareix una carència del quart electró necessari per compartir amb els quatre àtoms de silici del seu voltant, en aquest cas es crea un forat. Aquest forat se situa a uns nivells d'energia anomenats acceptadors ja que accepten ser ocupats per electrons.

El moviment dels electrons alliberats o dels espais que deixen enrere és el que s'anomena càrregues elèctriques. Perquè aquestes càrregues elèctriques tinguin moviment de manera constant i regular, fa falta que hi hagi la presència d'un camp elèctric de polaritat constant. Aquest camp polaritza les partícules i actua com una veritable bomba que impulsa els electrons en un sentit i, els forats, en l'oposat.

La cèl·lula fotovoltaica està formada per la unió de dos materials semiconductors, un de tipus N amb un altre de tipus P. A causa d'aquesta diferència de càrrega elèctrica en el material, es produeix el camp elèctric encarregat d'empènyer els electrons a sortir de la capa N fins a la zona P on existeixen els forats. Això implica l'establiment d'un corrent elèctric que en el cas de la cèl·lula fotovoltaica és corrent continu.

3.2.2. Principis de funcionament de la cèl·lula fotovoltaica

Quan una cèl·lula solar fotovoltaica es connecta a un consum i, alhora, és il·luminada pel Sol, genera una diferència de potencial entre els seus contactes que provoca la circulació

dels electrons a través de la càrrega. En aquestes condicions, la cèl·lula funciona com un generador de corrent seguint els següents processos:

1. Els fotons procedents de la radiació solar que incideixen a l'interior de la cèl·lula i que posseeixen una energia cinètica igual o superior a l'energia de valència impacten en el material i generen parells de portadors (electró-forat).
2. El camp elèctric produït per la unió PN separa els portadors abans que es puguin donar recombinacions. D'aquesta manera es genera un corrent elèctric capaç de satisfer les necessitats del consum.

El corrent generat per una cèl·lula solar fotovoltaica il·luminada i connectada a una càrrega és la resta entre la seva capacitat de producció bruta i les pèrdues per recombinació entre electrons i fotons.

Característiques bàsiques dels panells fotovoltaics

La cèl·lula solar només és capaç de generar una tensió d'unes dècimes de volt ($\pm 0,5$ V) i una potència màxima d'1 o 2 Watts. Per tant, és necessari connectar en sèrie diverses cèl·lules (que es comporten com petits generadors de corrent) per aconseguir tensions més elevades.

El conjunt format per unes quantes cèl·lules, convenientment encaixat i protegit, constitueix el mòdul fotovoltaic, element de la instal·lació solar fotovoltaica encarregat de transformar d'una manera directa l'energia de la radiació solar en electricitat, en forma de corrent continu.

Els mòduls es poden classificar per la potència que poden produir. Van des de valors d'1 o 2 W fins a 900 W. Quan es parla de la potència d'un mòdul, ens referim a la seva potència nominal, és a dir, la que el fabricant assegura sota uns valors de radiació i de temperatura.

3.2.3. Connexió dels col·lectors

Tenint en compte que la potència d'un mòdul té un valor fix, quan es calcula la potència d'una instal·lació, sovint cal fer servir un determinat nombre de mòduls solars fotovoltaics per assolir la potència necessària. Les connexions d'aquests mòduls poden ser en sèrie, en

paral·lel o combinant les dues per tal d'aconseguir sumar la potència dels mòduls connectats i adaptar el funcionament al voltatge del circuit de càrrega. Els mòduls que s'interconnecten han de tenir les mateixes característiques per evitar descompensacions i pèrdues de rendiment del conjunt.

Connexió en sèrie

Es connecta el terminal positiu d'un mòdul al terminal negatiu del mòdul següent i així successivament. La sortida del conjunt serà entre el terminal positiu del darrer mòdul i el negatiu del primer. En la connexió en sèrie la intensitat de corrent d'aquesta es manté constant i igual a la d'un mòdul, de manera que l'augment de potència s'aconsegueix mantenint la intensitat que pot donar un mòdul i augmentant la tensió. Aquesta és igual a la suma de totes les tensions dels mòduls connectats.

Si un grup de mòduls estan connectats en sèrie i un falla, es converteix en una càrrega resistiva que dificulta el pas del corrent generat pels altres mòduls de la sèrie. Tota la filera en sèrie quedaria fora de servei, cosa que perjudicaria el rendiment de la instal·lació.

Connexió en paral·lel

Es basa en connectar, d'una banda, els terminals positius de tots els mòduls i, de l'altra, tots els terminals negatius. La sortida del conjunt serà entre el terminal positiu i el negatiu de qualsevol mòdul. En les connexions en paral·lel, és la tensió la que no varia i la intensitat és la que se suma.

Connexió mixta

Existeixen també les connexions mixtes sèrie - paral·lel ja que sovint cal treballar a un voltatge determinat i es disposa d'un nombre concret de mòduls. En aquest cas, es connecten en sèrie el nombre de mòduls que genera el voltatge de funcionament i es connecten en paral·lel el nombre de grups que faci falta per a assolir la potència necessària.

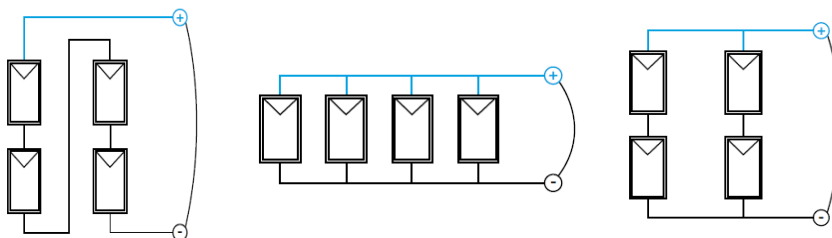


Figura 3.8: Esquema de la connexió en sèrie, en paral·lel i mixta [2]

3.2.4. Components d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa elèctrica

El panell fotovoltaic és l'element captador de la radiació solar i encarregat de transformar l'energia solar en electricitat. Però, les instal·lacions fotovoltaiques requereixen un seguit d'elements complementaris per garantir la funcionalitat, control i durabilitat. En funció del tipus d'instal·lació si és aïllada o connectada a la xarxa elèctrica els components de la instal·lació varien. Com s'ha explicat anteriorment, la instal·lació fotovoltaica que es projectarà per aquest edifici estarà connectada a la xarxa elèctrica, per tant s'estudiarà més profundament els components d'aquest tipus d'instal·lació.

Una instal·lació solar connectada a la xarxa té només tres elements bàsics:

- **Plaques solars fotovoltaiques:** Encarregades de transformar la radiació solar en energia elèctrica de corrent continu.
- **Ondulador:** Encarregat de transforma l'energia en forma de corrent continu que proporcionen les plaques solars en corrent altern.
- **Quadre d'interconnexió amb la xarxa comercial:** Encarregat de generar l'intercanvi d'electricitat entre l'edifici i la xarxa elèctrica.

Cal considerar aquestes instal·lacions com a petites centrals elèctriques. En el cas d'adaptar aquestes instal·lacions a un edifici, aquest passa a tenir dues instal·lacions elèctriques diferenciades. Per un costat, l'habitual línia de subministrament energètic de consum i, d'altra banda, la instal·lació solar fotovoltaica amb tots els seus elements i equipament elèctric propi de control, interconnexió i mesurament. Per tant, en aquest cas el titular de la instal·lació passa a ser un consumidor d'energia elèctrica i una central generadora alhora.



4. DIMENSIONAMENT DE LES INSTAL·LACIONS ENERGÈTIQUES DE L'HOTEL

A continuació hi ha el preestudi de les instal·lacions d'energia solar tèrmica per al subministrament d'aigua calenta sanitària i calefacció i de la instal·lació d'energia solar fotovoltaica per al subministrament d'electricitat.

4.1. Aigua calenta sanitària

Tal i com s'ha comentat anteriorment per al dimensionament de la instal·lació d'aigua calenta sanitària s'utilitzarà un sistema que aprofita l'energia solar tèrmica.

4.1.1. Consum energètic d'aigua calenta sanitària

El procediment per dimensionar una instal·lació s'inicia amb l'avaluació energètica del consum requerit. Pel que fa l'aigua calenta sanitària, el codi tècnic de l'edificació facilita una taula de referència descriptiva dels consums mitjans d'ACS a 60°C en funció de la tipologia d'edifici o activitat. Aquest indica que per al tipus d'edifici Hotel/Hostal** el consum de litres d'aigua a 60°C és de 40 litres per llit.

Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderias	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterias	1	por almuerzo

Taula 4.1. Demanda d'aigua a 60° per generar ACS [1 0]

Sabent que l'ocupació màxima de l'hotel és de 84 llits ja es pot calcular el consum d'aigua calenta sanitària. En un dia qualsevol el màxim d'ACS que es consumirà és:

$$84 \text{ llits} \cdot 40 \text{ litres/llit} = 3360 \text{ litres d'aigua } 60^{\circ}\text{C}$$

Per determinar els consums mensuals és important tenir present que el sector de l'hostaleria no és constant pel que fa el nombre de clients durant l'any i té molta estacionalitat. És per això que cal definir dues temporades l'alta i la baixa. La temporada alta fa referència als mesos de Juny, Juliol, Agost, Setembre i caps de setmana de tot l'any, mentre que la resta de l'any es consideraria temporada baixa.

Durant la temporada alta l'habitatge es farà servir com un hotel, mentre que durant la temporada baixa s'oferiran les instal·lacions a grups de gent discapacitada. Tenint en compte aquests paràmetres es fa un estudi d'ocupació durant els diferents mesos de l'any.

Mes	Nº de dies	Ocupació (%)
Gener	31	90
Febrer	28	75
Març	31	70
Abril	30	80
Maig	31	80
Juny	30	85
Juliol	31	100
Agost	31	100
Setembre	30	85
Octubre	31	80
Novembre	30	70
Desembre	31	90

Taula 4.2. Ocupació mensual de l'hotel

A continuació cal transformar el consum d'aigua a nivell mensual que és l'escala de temps en què es treballarà. Per això simplement cal multiplicar la demanda màxima d'aigua a 60°C diària pel nombre de dies que té cada mes i per l'ocupació d'aquell mes. En forma de resum la següent taula mostra l'aigua calenta a 60°C que es consumirà aproximadament cada mes.

Mes	Consum d'aigua (l)
Gener	93744
Febrer	70560
Març	72912
Abril	80640

Maig	83328
Juny	85680
Juliol	104160
Agost	104160
Setembre	85680
Octubre	83328
Novembre	70560
Desembre	93744

Taula 4.3. Consum mensual d'aigua a 60°C

Un cop s'ha determinat el volum d'aigua que consumiran els usuaris, cal calcular l'energia que s'ha d'aportar per aconseguir que augmenti la temperatura de l'aigua de xarxa fins a la de servei. Per fer aquest càlcul es necessita saber quin és el salt tèrmic de l'aigua fins a 60°C. Cada mes la temperatura amb què arriba l'aigua a de l'escomesa és diferent, el valor d'aquesta temperatura s'extreu del quadern pràctic d'energia Solar tèrmica de la Generalitat[1].

Mes	T^a de la xarxa (°C)	T^a de servei (°C)	Salt tèrmic (°C)
Gener	6	60	54
Febrer	7	60	53
Març	9	60	51
Abril	11	60	49
Maig	12	60	48
Juny	13	60	47
Juliol	14	60	46
Agost	13	60	47
Setembre	12	60	48
Octubre	11	60	49
Novembre	9	60	51
Desembre	6	60	54

Taula 4.4. Salt tèrmic mensual de l'aigua fins assolir 60°C

Un cop es coneix el volum diari d'aigua a escalfar i el salt tèrmic necessari ja es pot calcular l'energia diària requerida amb la següent expressió:

$$Q = V \cdot \delta \cdot ce \cdot \Delta t \quad \text{Eq. 4.1}$$

On:

Q Quantitat de calor (kJ)

V Volum de consum (l)

δ Densitat de l'aigua (1kg/l com a valor de referència)

ce Calor específica de l'aigua (4,18 kJ/kg °C)

Δt Salt tèrmic (°C)

Aplicant l'equació anterior es pot obtenir per a cada mes quin és el conjunt energètic, tal i com es pot veure a la següent taula:

Mes	Salt tèrmic (°C)	Volum mensual (l)	Consum energ. (MJ)
Gener	54	93744	21159,90
Febrer	53	70560	15631,86
Març	51	72912	15543,38
Abril	49	80640	16516,68
Maig	48	83328	16718,93
Juny	47	85680	16832,69
Juliol	46	104160	20027,88
Agost	47	104160	20463,27
Setembre	48	85680	17190,84
Octubre	49	83328	17067,24
Novembre	51	70560	15041,98
Desembre	54	93744	21159,90
Total		1028496	213354,56

Figura 4.5. Consum energètic mensual per obtenir ACS

4.1.2. Reglamentació aplicable

La normativa vigent estableix els paràmetres de partida i requisits de dimensionament de les instal·lacions solars tèrmiques per produir aigua calenta sanitària en edificis.

A Catalunya, actualment, coexisteixen dues reglamentacions pel que fa a l'obligatorietat d'instal·lar sistemes solars tèrmics en edificacions.

Código Técnico de la Edificación o CTE (normativa d'àmbit estatal).

Decret d'ecoeficiència (normativa de la Generalitat de Catalunya).

Cada normativa estableix caracteritzacions i permet diferents tipus de dimensionament de les instal·lacions. En tot cas, sempre cal seleccionar la normativa més restrictiva, en funció de les característiques i ubicació de la instal·lació.

Tant el Codi tècnic de l'edificació del ministeri de foment com el Decret d'ecoeficiència de la Generalitat estableixen que per llei és necessària una aportació mínima d'energia solar tèrmica per produir aigua calenta sanitària, a totes les construccions noves.

En ambdues legislacions s'estableix una aportació solar mínima anual en funció de la localització geogràfica i de la quantitat d'aigua calenta que consumeixi l'edifici. Tant pel CTE com pel Decret d'ecoeficiència la Cerdanya es considera dins de la zona climàtica número II. A continuació s'especifica quin és el percentatge d'aportació per a cada una de les normatives:

Decret d'ecoeficiència. El decret indica que en cas que la font alternativa a l'energia solar sigui l'energia elèctrica el factor d'aportació solar ha de ser del 70%, exceptuant els casos en què no hi hagi gas canalitzat, com és aquest cas. Llavors cal utilitzarà la taula de l'annex 2 per determinar la contribució solar mínima. L'edifici se situa a la zona climàtica II i el consum d'aigua màxim diari és de 3360 litres, amb aquestes dades l'aportació solar mínima és del 40%.

Demanda total d'aigua calenta sanitària de l'edifici (litres/dia)	Zones climàtiques (en funció de la irradiació global diària, mitjana anual)		
	II	III	IV
50 a 5.000 litres	40%	50%	60%
5.001 a 6.000 litres	40%	55%	65%
6.001 a 7.000 litres	40%	65%	70%
7.001 a 8.000 litres	45%	65%	70%
8.001 a 9.000 litres	55%	65%	70%
9.001 a 10.000 litres	55%	70%	70%
10.001 a 12.500 litres	65%	70%	70%
> 12.500 litres	70%	70%	70%

Taula 4.6. Contribució mínima d'energia solar en la producció d'ACS segons la zona climàtica. [11]

Codi tècnic de l'edificació. De la mateixa manera el codi tècnic de l'edificació mostra dues taules depenent de l'energia alternativa que s'utilitza. En aquest cas al ser energia elèctrica (efecte Joule) cal consultar la taula que es mostra a continuació. Per a la zona climàtica II i un consum d'aigua mig al dia de 3360 litres la contribució mínima solar per a la producció d'aigua calenta és del 69%

Tabla 2.2. Contribución solar mínima en %. Caso Efecto Joule

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

4.7. Contribució solar mínima d'energia solar per a la producció d'ACS segons la zona climàtica. [10]

És necessari respectar ambdues normatives per tant es farà cas d'aquella que imposa la condició més restrictiva, en aquest cas el Codi tècnic de l'edificació que determina que l'aportació solar anual mínima serà del 69%.

La normativa també determina algunes restriccions com són que el dimensionat de la instal·lació no podrà en cap mes aportar una energia superior al 110% de la demanda energètica i no es podrà superar el 100% de la demanda energètica durant més de tres mesos seguits. En cas que la instal·lació incompleixi aquestes restriccions s'adoptarà alguna de les següents mesures:

- Dotar la instal·lació de la possibilitat de dissipar els excedents d'energia
- Tapar parcialment el camp de captadors
- Desviar els excedents energètics a altres aplicacions

4.1.3. Avaluació de l'energia solar

L'energia disponible en un emplaçament determinat es pot avaluar a partir de valors estadístics basats en mesures segons les estacions meteorològiques. Per disponibilitat i fiabilitat, les dades de radiació que s'utilitzaran són les de l'Atlas de Radiació Solar a Catalunya [3], editat per l'Institut Català d'Energia.

Aquest document ofereix dades d'irradiació solar global diària sobre superfícies inclinades i amb diferents orientacions, per cada mes de l'any. Les dades de l'Atlas es presenten ordenades en funció de:

L'orientació. L'Atlas de radiació ens presenta taules amb les dades d'irradiació en superfícies orientades al sud (0°) i desorientades del sud 30, 60 i 90° amb independència de si la desorientació es troba en direcció est i oest.

L'orientació sud és la que ofereix una irradiació major durant els mesos d'hivern, per tant aquesta serà la orientació dels col·lectors solars.

La inclinació. A les taules hi apareixen dades de radiació per a superfícies inclinades de 0° a 90° amb intervals de 5°. Es considera que la inclinació òptima de la instal·lació es troba agafant de referència la latitud geogràfica de l'emplaçament i tenint una variació d'entre +10° i -10°.

Latitud geogràfica + 10°: quan la demanda preferent té lloc a l'hivern

Latitud geogràfica - 10°: quan la demanda preferent té lloc a l'estiu

La latitud del terreny és 42,45°. Per tant la inclinació ideal dels col·lectors solars es trobarà entre 32° i 52°. No obstant, al requerir una demanda energètica major a l'hivern que a l'estiu, s'optarà per estudiar les inclinacions al voltant dels 52°. Per determinar exactament quina serà aquesta inclinació es farà un estudi de les diferents inclinacions que ofereix l'Atlas Solar. Les inclinacions a estudiar són: 45°, 50°, 55° i 60°.

La següent taula mostra la radiació solar de Girona, que per proximitat és la més adient de les opcions que ofereix l'Atlas. Els paràmetres són els que s'han determinat anteriorment, orientació sud (orientació 0°) i les inclinacions 45°, 50°, 55° i 60°.

Orientació: 0°													
Inclinació	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des	Anual
45°	13,10	15,12	17,51	19,15	19,72	19,81	19,74	19,32	17,98	15,61	13,34	12,27	16,90
50°	13,42	15,30	17,43	18,72	18,98	18,91	18,92	18,76	17,78	15,70	13,62	12,63	16,69
55°	13,66	15,39	17,26	18,18	18,13	17,90	17,98	18,09	17,46	15,69	13,81	12,90	16,37
60°	13,81	15,37	16,97	17,53	17,17	16,81	16,94	17,32	17,04	15,59	13,91	13,08	15,96

Taula 4.8. Radiació solar global diària sobre superfícies inclinades (MJ/m²/dia) a Girona per a una orientació Sur (0°). [3]

Pèrdues d'energia solar

Tal i com s'ha comentat anteriorment la instal·lació solar no pot aprofitar tota l'energia solar incident als col·lectors per les pèrdues en reflexió. El Codi tècnic de l'edificació proposa un procediment per calcular aquest tipus de pèrdues en funció de dues variables:

Angle d'inclinació, β definit com l'angle que forma la superfície dels mòduls amb el pla horitzontal. El seu valor es 0° per a mòduls horitzontals y 90° per a verticals. A l'apartat anterior s'ha determinat que els angles d'inclinació a estudiar serien entre 45° i 60°.

Angle d'acimut, α definit com l'angle entre la projecció sobre el pla horitzontal de la normal a la superfície del mòdul i el meridià del lloc. Valors típics són 0° per a mòduls orientats al sud, -90° per a mòduls orientats a l'est i $+90^\circ$ per a mòduls orientats a l'oest. A l'igual que l'orientació de l'edificació els col·lectors solars estaran orientats al sud, per tant, l'angle d'acimut serà 0° .

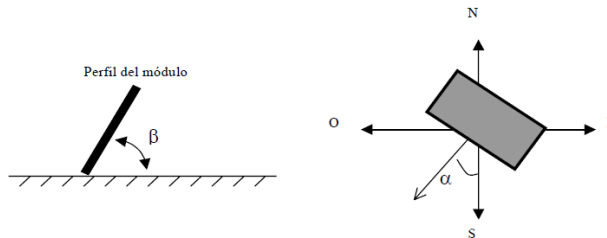


Figura 4.1. Representació dels diferents angles per orientar els col·lectors solars. [10]

Havent determinat els angles d'inclinació i l'angle d'acimut el codi tècnic proposa un gràfic en què per aquestes dues dades et proposa quines seran les pèrdues per orientació i inclinació.

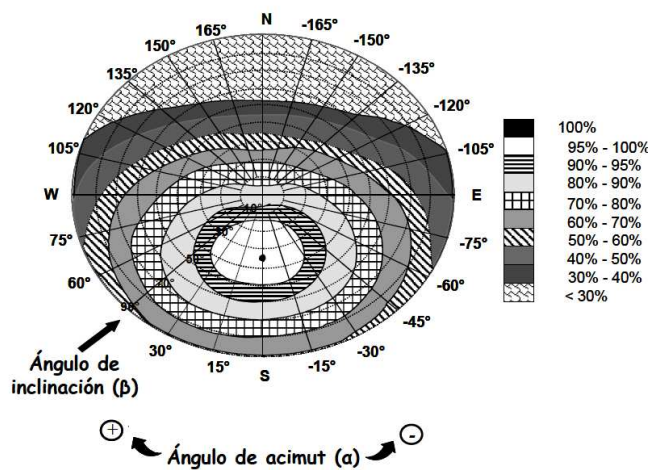


Figura 4.2. Percentatge d'energia útil respecte el màxim per les pèrdues d'orientació i inclinació. [10]

Si es consulta el gràfic s'observa que aquestes pèrdues serien de l'ordre de entre 95 i 100%. Així doncs es prendrà el valor de pèrdues del 95% ja que és el cas més desfavorable.

Pèrdues del sistema

Del total de radiació que pot absorbir el captador, l'usuari només n'aprofita una part en forma d'ACS, la resta es perd en forma de calor residual a través de les parets de l'acumulador, les canonades, les vàlvules i la resta d'accessoris del circuit.

És molt complicat avaluar aquestes pèrdues amb exactitud perquè depenen de la temperatura del fluid, de l'ACS en el secundari i del fluid en el primari, com també de la temperatura ambient, la qualitat i el gruix dels aïllaments i la seva col·locació, etc.

Després de molts estudis, s'ha establert un valor de pèrdues generals del sistema que es correspon força amb la realitat de les instal·lacions en funcionament i que és del 10 al 15% de l'energia obtinguda al captador. Tenint en compte aquest fet es farà el supòsit que aquesta instal·lació tindrà unes pèrdues del 15% i per tant cal recalcular la demanda energètica considerant aquestes pèrdues.

Mes	Demanda energètica base (MJ)	Demanda energètica tenint en compte les pèrdues (MJ)
Gener	21159,90	26449,87
Febrer	15631,86	19539,83
Març	15543,38	19429,23
Abril	16516,68	20645,86
Maig	16718,93	20898,66
Juny	16832,69	21040,87
Juliol	20027,88	25034,86
Agost	20463,27	25579,09
Setembre	17190,84	21488,54
Octubre	17067,24	21334,05
Novembre	15041,98	18802,48
Desembre	21159,90	26449,87

Taula 4.9. Demanda energètica tenint en compte les pèrdues de la instal·lació

4.1.4. Càlcul de la superfície de captació

Primerament, es necessari fer una cerca de diferents proveïdors de panells solars per tal de tenir un ventall més ampli d'ofertes i veure quina és la que realment surt més a compte per

al projecte. La següent taula mostra els diferents models de col·lectors amb què es realitzarà l'estudi així com les seves característiques més destacables.

Marca	DANOSA	HEATSUN	LUMELCO
Model	DS09-25S	SMK12	ST-300
Dimensions (m)	2,03x1,23x0,093	2,03x1,01x0,11	2,05x1,05x0,08
Àrea total (m ²)	2,49	2,06	2,16
Rendiment òptim	0,745	0,746	0,799
K1 (W/m ² °C)	3,556	3,236	3,4
K2 (W/m ² °C ²)	0,017	0,014	0,026
Preu (€)	530	680	635

Taula 4.10. Característiques de diferents plaques solars del mercat

A l'Annex C: *DADES TÈCNIQUES DE LES PLAQUES SOLARS TÈRMiques* es pot trobar una informació més ampliada de les característiques de cada un dels models.

Caldrà fer un estudi de cada un d'aquests models amb les diferents inclinacions (45, 50, 55 i 60°) per veure quina és la solució més òptima. A continuació es mostrarà l'exemple del càlcul del dimensionat del panell DS09-25S per a una inclinació de 55°.

Estudi de la placa solar DS09-25S amb inclinació 55°

En els apartats anteriors s'ha estudiat el consum d'aigua calenta sanitària que es necessitarà cada mes. Seguidament, cal determinar l'àrea de captadors solars que serà necessària.

El primer pas és consulta l'Atles de radiació solar de Catalunya d'on es pot obtenir l'energia solar incident mitja per m² a la província de Girona en un dia. Tal i com s'ha comentat anteriorment, no tota la radiació solar és absorbida pels captadors ja que hi ha pèrdues per orientació i inclinació. Aquestes pèrdues fan que només el 95% de la radiació solar sigui absorbida pel col·lector. A la taula que hi ha a continuació es mostra primerament la radiació solar que proposa l'Atles de radiació solar de Catalunya i a la segona columna la radiació absorbida per la placa solar, tenint en compte el 5% de pèrdues.

Mes	Radiació Solar (MJ/m ² d)	Radiació solar absorbida (MJ/m ² d)
Gener	13,66	12,98

Febrer	15,39	14,62
Març	17,26	16,40
Abril	18,18	17,27
Maig	18,13	17,22
Juny	17,9	17,01
Juliol	17,98	17,08
Agost	18,09	17,19
Setembre	17,46	16,59
Octubre	15,69	14,91
Novembre	13,81	13,12
Desembre	12,9	12,26

Figura 4.11. Radiació solar i radiació solar absorbida (tenint en compte les pèrdues per inclinació i orientació).

Un cop determinada l'energia solar que arriba al panell solar el següent pas es determinarà l'energia que la placa utilitzarà. Aquesta dada es calcularà a partir del rendiment de la placa. Com s'ha vist en apartats anteriors el rendiment d'una placa solar té la següent equació:

$$\eta = \eta_0 - \frac{K_1 \cdot (T_c - T_a)}{I} - \frac{K_2 \cdot (T_c - T_a)^2}{I} \quad \text{Eq. 4.2}$$

η_0 Rendiment màxim que pot assolir la placa. Dada donada pel fabricant

K_1 i K_2 Constants del comportament de la placa. Dades donades pel fabricant

T_c Temperatura del col·lector. En aquest cas la temperatura del col·lector serà 60°C

T_a Temperatura ambient. Dependrà del mes de l'any

I Intensitat de radiació solar (W/m^2)

Les dades que ofereix el fabricant determinen el rendiment màxim i les dues constants:

Marca	DANOSA
Model	DS09-25S
Rendiment òptim (η_0)	0,745
K_1 ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)	3,556
K_2 ($W/m^2 \text{ } ^\circ C^2$)	0,017

Taula 4.12. Característiques de la placa model DS09-25S. Font: Catàleg Danosa

La intensitat de radiació indica l'energia que arriba a la placa per m^2 . Per calcular aquesta dada serà necessari saber la radiació solar absorbida que s'ha determinat anteriorment i les

hores de sol que hi ha cada dia. Seguidament, aplicant l'equació vista anteriorment ja es pot calcular quin serà el rendiment de la placa per a cada un dels mesos de l'any.

Mes	Radiació absorbida (MJ/m ² d)	Hores de sol diàries	Intensitat solar (W/m ² d)	T ^a ambient mitja de dia (°C)	Tc - Ta	Rendiment
Gener	12,98	7,5	480,63	9	51	0,27
Febrer	14,62	8	507,66	10	50	0,31
Març	16,40	9	506,08	13	47	0,34
Abril	17,27	9,5	505,00	15	45	0,37
Maig	17,22	9,5	503,61	19	41	0,41
Juny	17,01	9,5	497,22	23	37	0,45
Juliol	17,08	9,5	499,44	26	34	0,48
Agost	17,19	9,5	502,50	25	35	0,47
Setembre	16,59	9	511,94	23	37	0,45
Octubre	14,91	9	460,05	18	42	0,36
Novembre	13,12	8	455,54	13	47	0,29
Desembre	12,26	7	486,31	10	50	0,28

Taula 4.13. Dades necessàries per al càlcul de la Intensitat solar per a cada mes

Un cop determinat el rendiment per a cada mes de l'any es pot determinar quina serà l'energia útil que cada dia podrà ser aprofitada de la radiació solar que absorbeix la placa. Aquesta energia útil diària s'obté de fer el producte entre la radiació solar absorbida i el rendiment del col·lector.

A continuació, per tenir totes les dades energètiques en la mateixa unitat de temps cal transformar aquesta energia útil diària en energia útil mensual. A la següent taula es mostra quina serà l'energia útil tant a nivell diari com mensual:

Mes	Energia útil diària (MJ/m ² d)	Dies del mes	Energia útil mensual (MJ/m ²)
Gener	3,58	31	110,90
Febrer	4,55	28	127,33
Març	5,58	31	173,10
Abril	6,22	30	186,51
Maig	6,87	31	212,91

Juny	7,37	30	221,19
Juliol	7,92	31	245,47
Agost	7,83	31	242,87
Setembre	7,34	30	220,21
Octubre	5,29	31	164,11
Novembre	3,88	30	116,37
Desembre	3,58	31	110,93

Taula 4.14. Càlcul de l'energia útil que pot generar la placa DS09-25S per a cada mes

Un cop determinada per un costat l'energia útil que el col·lector solar és capaç de produir per cada m^2 i per l'altre l'energia que requereix l'edifici, és possible determinar la superfície de panells solars que seran necessaris per a la instal·lació.

Seguidament, per saber el nombre de plaques solars necessàries caldrà dividir l'àrea total de col·lectors solars entre l'àrea que té cada col·lector. Aquesta última dada la facilita el fabricant en el seu catàleg.

Per a cada mes l'àrea de captació serà diferent i per tant també ho serà el nombre de col·lectors solars. Un dels objectius principals d'aquest projecte serà realitzar un edifici el més sostenible possible. Per tant, es procurarà que el màxim d'energia provingui d'una font neta.

És cert que, el codi tècnic de l'edificació marca que cal que l'aportació d'energia solar sigui com a mínim un 69% de l'energia anual necessària per produir ACS. Es prendrà aquest valor com a valor mínim de percentatge d'energia solar, però no com a valor fix.

De totes maneres, anteriorment s'ha comentat que no és viable agafar com a àrea de la instal·lació el cas del mes límit ja que llavors s'estaria sobredimensionant el sistema i durant molts mesos hi hauria un excés important d'energia. Aquest fet donaria lloc a una instal·lació que no seria econòmicament viable. Per tant, es prendran com a límits de referència a l'hora de realitzar la instal·lació les indicacions que marca el CTE.

Per triar quin serà el nombre de plaques de la instal·lació caldrà fer un problema d'optimització. A continuació es mostra el plantejament del problema amb la seva variable, funció objectiu, les dades i les restriccions.

Variables

La variable que dóna lloc a la funció objectiu és el nombre de captadors solars (N)

Funció objectiu

L'objectiu del projecte és ser el més sostenible possible, per tant, la funció objectiu serà maximitzar el nombre de panells solars.

$$[\text{MAX}] z = N \quad \text{Eq. 4.3}$$

Dades

Les dades que ja s'han anat determinant anteriorment i que serviran per a resoldre el problema són:

- **m** Mes de l'any $m = \{ \text{gener, febrer, ..., desembre} \}$.
- **A** L'àrea del captador solar que ens proporciona el fabricant. En el cas del captador DS09-25S l'àrea és $2,49 \text{ m}^2$.
- **E_{c_m}** L'energia consumida per a produir ACS per mes (Wh). Valors tabulats anteriorment.
- **E_{u_m}** Energia aprofitable pels col·lectors solars per mes (Wh/m^2). Valors tabulats anteriorment.

Restriccions

- El nombre de captadors ha de ser un número natural
 $N \in \text{Naturals } \{1, 2, 3, \dots\}$
- Per tal de promoure les energies renovables a l'edificació el codi tècnic de l'edificació indica l'aportació d'energia solar a l'hora de produir ACS caldrà que sigui com a mínim del 69%

$$\frac{\sum_{m=\text{gener}}^{\text{desembre}} N \cdot A \cdot E_{u_m}}{\sum_{m=\text{gener}}^{\text{desembre}} E_{c_m}} \cdot 100 \geq 69\% \quad \text{Eq. 4.4}$$

- El codi tècnic de l'edificació proposa certes restriccions que cal tenir en compte. Per un costat que el percentatge d'aportació solar no pot superar cap mes al 110%. Per tant:

$$\frac{N \cdot A \cdot E_{u_m}}{E_{c_m}} \cdot 100 \leq 110\% \quad \text{per } \forall m \quad \text{Eq. 4.5}$$

Per l'altre costat el CTE indica que no pot haver més de tres mesos seguits en que l'aportació solar per a ACS excedeixi el 100%. Per tant:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{N \cdot A \cdot Eu_m}{Ec_m} \cdot 100 > 100\% \\ \frac{N \cdot A \cdot Eu_{m+1}}{Ec_{m+1}} \cdot 100 > 100\% \\ \frac{N \cdot A \cdot Eu_{m+2}}{Ec_{m+2}} \cdot 100 > 100\% \\ \frac{N \cdot A \cdot Eu_{m+3}}{Ec_{m+3}} \cdot 100 < 100\% \end{array} \right. \quad \text{per } \forall m \quad \text{Eq. 4.6}$$

Resolent el problema d'optimització el nombre òptim de plaques solars és de 42. L'àrea d'una placa DS09-25S és de 2,49 m². Per tant l'àrea total de captació és de:

$$42 \text{ plaques} \cdot 2,49 \text{ m}^2/\text{placa} = 104,58 \text{ m}^2$$

A continuació es pot veure l'energia obtinguda amb aquesta àrea, el percentatge que suposa respecte la demanda energètica total i la quantitat d'energia alternativa necessària.

Mes	Demanda energètica (MJ)	Aportació Solar (MJ)	% Energia Solar	Energia alternativa (MJ)
Gener	26449,87	11597,84	43,85%	14852,03
Febrer	19539,83	13316,56	68,15%	6223,27
Març	19429,23	18103,12	93,17%	1326,10
Abril	20645,86	19504,83	94,47%	1141,03
Maig	20898,66	22265,76	106,54%	0
Juny	21040,87	23132,13	109,94%	0
Juliol	25034,86	25671,07	102,54%	0
Agost	25579,09	25399,13	99,30%	179,96
Setembre	21488,54	23029,57	107,17%	0
Octubre	21334,05	17162,98	80,45%	4171,07
Novembre	18802,48	12170,29	64,73%	6632,19
Desembre	26449,87	11601,15	43,86%	14848,72
	266693,20	217318,83	81,49%	49374,37

Taula 4.15. Taula resum de l'aportació solar per a la generació d'ACS en valor absolut i percentatge i de l'energia alternativa

Com es pot comprovar es compleixen totes les restriccions que marcava el problema. El factor d'energia solar és superior a 69%, cap mes és major del 110% i no hi ha més de tres mesos seguits en què sigui major al 100%.

A continuació, es repeteix el procediment que s'ha realitzat per trobar el nombre òptim de plaques solar per a totes les combinacions possibles. És poden trobar els resultats d'aquests estudis a l'Annex D: *ESTUDI DE LES DIFERENTS ALTERNATIVES PER A L'OBTENCIÓ D'ACS*

Per últim, es mostra un resum amb els factors que s'han considerat més importants com a criteri de selecció de l'opció més adequada, aquests són:

- El nombre de plaques solars
- El cost de la instal·lació total
- El cost de la instal·lació per MJ
- El percentatge d'aportació d'energia solar

FRACCIÓ D'ENERGIA PROCEDENT DEL SOL				PREU DE L'ENERGIA PER MJ			
	DANOSA	HEATSUN	LUMELCO		DANOSA	HEATSUN	LUMELCC
45	73,15%	75,86%	73,07%	45	0,095	0,134	0,121
50	77,35%	79,73%	77,03%	50	0,098	0,138	0,124
55	81,50%	83,61%	80,94%	55	0,102	0,143	0,129
60	82,30%	85,40%	82,87%	60	0,106	0,149	0,135

NUMERO DE PLAQUES				PREU TOTAL DE L'INSTAL·LACIÓ (€)			
	DANOSA	HEATSUN	LUMELCO		DANOSA	HEATSUN	LUMELCO
45	35	40	37	45	18550	27200	23495
50	38	43	40	50	20140	29240	25400
55	42	47	44	55	22260	31960	27940
60	44	50	47	60	18550	27200	23495

Taula 4.16. Resum dels diferents models i inclinacions. Aportació solar, preu per unitat d'energia, nombre de plaques i preu de la instal·lació

Cal analitzar les dades obtingudes per poder trobar quina serà l'opció escollida per a la instal·lació. Per tant, cal fer diferents observacions:

1. A mida que augmenta el grau d'inclinació de la placa el percentatge de calor aportat per energia solar augmenta. D'aquesta manera, seran descartades les inclinacions de 45° ja que les altres són capaces de donar una aportació superior.
2. La marca de col·lectors Danosa és amb diferència la més econòmica de les tres. A més, ofereix una aportació d'energia solar superior o similar un preu més reduït. Per tant, la marca Heatsun i Lumelco queden descartades.
3. Per últim, només queden tres opcions, la marca Danosa 50°, 55° o 60°. Es pot observar que com major és la inclinació major és l'aportació d'energia solar al sistema, però el preu per MJ és més car. És per això que s'ha considerat optar per la inclinació de 55° que ofereix un terme mig en aportació solar i en preu.

4.2. Sistema de calefacció

La calefacció és un sistema, la finalitat del qual és escalfar durant les estacions de fred l'interior d'un recinte tancat, que es troba habitat, mitjançant l'aportació de calor, fins assolir una temperatura artificial que sigui més elevada que la temperatura existent a l'exterior i així regular la pèrdua de calor del cos humà.

4.2.1. Conceptes previs

La transmissió de calor entre dos cossos és el pas d'energia tèrmica del cos que posseeix una temperatura superior cap al cos de menor temperatura. L'objectiu és que s'igualin les temperatures d'ambdós. Existeixen tres formes de transmetre calor:

Conducció. La transmissió de calor es produeix entre les molècules d'un cos, sense que existeixi desplaçament d'aquestes. Aquesta forma de transmissió és característica de les matèries sòlides.

Convecció. La transmissió té lloc mitjançant el desplaçament de les molècules. És característica dels fluids (líquids o gasos). La convecció natural es produeix a causa de la diferència de temperatura de les molècules del fluid. Les molècules més

calentes són més lleugeres i tendeixen a situar-se a la zona superior, ocupant les fredes la zona inferior del fluid.

Radiació. Es tracta de la cessió de calor d'un cos a un altre sense que existeixi contacte entre ells. Es produeix mitjançant ones electromagnètiques i la magnitud de l'emissió depèn de la temperatura del cos emissor.

Un sistema de calefacció adequat ha de seguir un seguit de condicions:

1. Un dels principis fonamentals que ha de complir un recinte escalfat és la seva uniformitat, és a dir, mantenir la temperatura ambient que durant el temps que la calefacció està en servei, ha de ser aproximadament de 20°C.
2. Per a un estalvi energètic, convé disposar d'aïllament tèrmic en parets i sostres i doble envidrat a les finestres.
3. La calefacció ha de ser regulable, és a dir, la temperatura sensitiva ha de poder variar entre uns límits prefixats.
4. No contaminarà l'ambient. La qualitat de l'aire ambient de ninguna manera ha d'empitjorar sota els efectes de la calefacció.
5. La calefacció ha de resultar econòmica, tant en la seva instal·lació como en el seu manteniment.

4.2.2. Principi de funcionament de la calefacció per terra radiant

El principi bàsic de funcionament del terra radiant consisteix en aportar calor a una xarxa de canonades, situades sota el paviment del local a escalfar, de manera que aquestes canonades aporten calor a la solera del paviment, aconseguint una temperatura de confort. La transmissió es pot dividir en diverses fases:

- **Fase 1.** La potència calorífica produïda a la caldera és transportada cap als tubs que formen el terra radiant mitjançant aigua calenta que es desplaça per l'acció d'una bomba. La temperatura mitja de l'aigua a les canonades ha de ser d'uns 40°C.
- **Fase 2.** A través de la paret plàstica del tub emissor, la calor de l'aigua se cedeix a la solera emissora. D'aquesta forma, la solera en contacte amb les canonades augmentarà la seva temperatura per l'efecte de la transmissió de calor.

- **Fase 3.** A causa de l'augment de temperatura de la solera, aquesta cedeix calor per conducció al paviment situat a sobre. El paviment emissor aconseguirà una temperatura determinada gràcies al contacte entre ambdós elements.
- **Fase 4.** Donada la temperatura existent al paviment emissor es produeix la cessió de calor cap a l'aire ambient del local, aquest se sol trobar al voltant dels 20°C. La calor cedida transmetrà per efecte de radiació (aproximadament el 65% del calor total emès) i convecció (sobre el 35% del calor total).

La solera emissora transmet la calor a l'aire situat en contacte amb ella. A l'augmentar la temperatura, l'aire es torna més lleuger i s'eleva, deixant un espai que ocupa un altre volum d'aire fred. L'aire calent que va ascendint cedeix calor per conducció directa amb la resta d'aire del local, per tant, s'anirà refredant de forma progressiva, iniciant-se de nou el cicle de transmissió de calor.

4.2.3. Característiques principals de la instal·lació per terra radiant

- 1. Perfil òptim de temperatures del cos humà.** El perfil òptim de temperatura del cos humà s'aconsegueix quan la temperatura de l'aire a la zona dels peus és lleugerament superior a la temperatura de l'aire a l'alçada del cap. En aquestes condicions, l'usuari nota una major sensació de confort. D'entre tots els sistemes de calefacció que existeixen, el sistema de terra radiant és el que millor s'adapta a aquest perfil.
- 2. Emissió tèrmica uniforme.** En el sistema de calefacció per terra radiant, l'emissor tèrmic és tot el terra del local a escalfar, això produeix uniformitat en l'emissió tèrmica d'aquesta superfície.
- 3. Control de temperatura independent per a cada local.** El sistema constructiu de distribució, així com els components utilitzats per a aquest tipus d'instal·lació, permeten controlar de forma independent la temperatura ambient de cada un dels locals que componen la instal·lació, provocant una millora del confort.
- 4. Calefacció sense moviment d'aire.** La velocitat de desplaçament de las capes d'aire calent cap a les zones fredes és proporcional a la diferència existent entre

ambdues zones. Donat que la temperatura de la zona emissora del sistema de calefacció per terra radiant és baixa (inferior o igual a 29°C en zona ocupada), sent la temperatura ambient d'aproximadament 20°C, la diferència de temperatura entre ambdues és molt petita, això provocarà una velocitat d'aire pràcticament imperceptible. Una absència de moviment d'aire produirà un menor moviment de pols i un entorn més higiènic i saludable.

5. Estalvi energètic. Per a una mateixa sensació tèrmica percebuda per l'usuari, la temperatura ambient d'un local és inferior si utilitza el sistema de calefacció per terra radiant, respecte a qualsevol altre sistema. L'explicació d'aquest fet és pel perfil tèrmic que presenta aquest sistema:

- A l'escalfar mitjançant altres sistemes, la temperatura de les zones elevades del local és major (temperatura no notada per l'usuari). Amb el sistema de calefacció per terra radiant, per a una temperatura ambient interior menor, s'aconsegueix la mateixa sensació tèrmica.
- Al ser menor la temperatura ambient es reduiran les pèrdues d'energia, sent aquestes directament proporcionals a la diferència entre la temperatura exterior i la temperatura interior del local.

A més, la temperatura de l'aigua en el circuit està es troba entre 30 i 45°C comparat amb els 70°C i 90°C dels altres sistemes de calefacció. La baixa temperatura determina que les pèrdues produïdes a les canonades siguin menors.

6. Compatibilitat amb qualsevol font d'energia. La moderada temperatura d'impulsió de l'aigua que precisa el sistema de calefacció per terra radiant permet la seva compatibilitat amb qualsevol sistema de producció energètica. Concretament, és l'únic sistema que pot ser alimentat amb energia tèrmica procedent de panells solars.

7. Emissors ocults. A la calefacció per terra radiant se la denomina "calefacció invisible", ja que no es veuen els emissors de calor, ni tampoc les canonades del circuit de distribució, que estan ocults sota el paviment. El resultat és un major espai habitable i la desaparició del riscos de cops o cremades pel contacte amb els emissors.

- 8. Compatible amb qualsevol tipus de terra.** La calefacció per terra radiant s'instal·la amb qualsevol tipus de paviment: ceràmic, tèxtil, plàstic o fusta. No obstant, segons les característiques pròpies del terra serà necessari disposar d'unes condicions específiques d'instal·lació de solera i les temperatures de distribució de l'aigua serà diferent.

4.2.4. Dimensionament de la instal·lació

Les necessitats calorífiques d'un edifici són particulars d'aquest, independentment del sistema de calefacció escollit. Aquesta necessitat depèn del volum interior, dels materials de construcció i de les seves dimensions, de la temperatura de confort escollida, de l'orientació, de l'aïllament tèrmic, i altres factors.

Per a temperatures interiors i condicions climàtiques constants, l'aportació de calor de calefacció necessari és igual a la suma de totes les pèrdues de calor a través de les superfícies que envolten el local.

4.2.4.1. Càlcul de les pèrdues de calor

La transmissió de calor entre dos medis a temperatures diferents, però constants, separats per un mur es produeix pels processos de conducció, convecció i radiació, donant-se aquesta transmissió des l'ambient més càlid al més fred.

Si es disposa d'una paret d'espessor e , les cares de la qual estan a les temperatures t i t' , i considerem T_1 i T_2 les temperatures dels dos medis separats pel murs, essent $T_1 > t > t' > T_2$. Del primer medi a la cara AB, el calor es transmet per convecció i radiació. De la cara AB a la CD el calor es transmet per conducció. I de la cara CD al segon medi per radiació i convecció.

La quantitat de calor que passa a través de la paret es calcula mitjançant la següent expressió:

$$Q_T = S \cdot U \cdot \Delta t \quad \text{Eq. 4.7}$$

On,

Q_T Calor transmesa (W)

- S** Superfície (m²)
U Coeficient de transmissió de calor (W/m² K)
Δt Diferència de temperatura interior i exterior (K)

El coeficient de transmissió de calor o transmitància tèrmica és la quantitat d'energia que travessa per unitat d'Pe temps una unitat de superfície d'un element constructiu de cares planes paral·leles quan entre aquestes cares hi ha un gradient tèrmic unitat. El valor de la transmitància tèrmica el facilita per a cada un dels materials el fabricant d'aquest.

La temperatura interior del local haurà de ser escollida segons el tipus de local. Les taules que faciliten aquesta informació indiquen diferents temperatures segons la part de l'hotel que es vulgui, però donat que en aquest projecte s'està fent un predimensionament de les instal·lacions es prendrà per a tot l'interior de l'edifici la mateixa temperatura ambient. Per saber la temperatura exterior es consultarà la web [meteopuigcerda](http://meteopuigcerda.com), en què es pot trobar un resum de les temperatures dels últims anys de la localitat de Puigcerdà a menys de 7km de distància. Aquesta font ens proporciona una gran quantitat de dades meteorològiques de les quals s'extreuen les següents:

Mes	Temperatura mitja	Temperatura mitja màxima	Temperatura mitja mínima
Gener	3,7	10,1	-2,7
Febrer	3,5	11,1	-2,6
Març	6,9	14,5	-0,6
Abril	11,3	18,5	4,0
Maig	14,5	21,9	7,0
Juny	17,8	25,5	10,3
Juliol	20,2	28,0	12,4
Agost	21,2	29,3	13,0
Setembre	16,8	23,9	9,8
Octubre	11,8	21,2	5,7
Novembre	7,1	12,0	2,3
Desembre	4,3	10,1	-1,7

Taula 4.17: Dades meteorològiques de la zona

Donat que la temperatura de confort està entre els 18°C i els 21°C es farà ús de la calefacció durant els mesos d'Octubre a Maig. La resta de l'any la temperatura és suficient

elevada perquè les persones pugin estar de manera confortable a l'hotel sense necessitat de la calefacció.

Per calcular les pèrdues de calor de l'edifici només es tindrà en compte la transmissió calorífica entre les parets exteriors, la solera, el forjat exterior i els elements transparents. Per a cada un d'aquests elements es necessita la transmitància tèrmica, proporcionada pels fabricants, les àrees de cada un d'aquests elements i la variació de temperatura entre l'interior de l'edifici i l'exterior. Per calcular la variació de temperatura es prendrà com a temperatura de confort de l'edifici 20°C per a totes les zones, i com a temperatura exterior es prendrà la temperatura mitja. D'aquesta manera el salt tèrmic pels mesos en què s'usa la calefacció queda de la següent manera:

Mes	Temperatura mitja (°C)	Salt tèrmic (°C)
Gener	3,7	16,28
Febrer	3,5	16,15
Març	6,9	13,06
Abril	11,3	8,76
Maig	14,5	5,52
Octubre	11,8	7,34
Novembre	7,1	12,89
Desembre	4,3	15,78

Taula 4.18: Condicions tèrmiques exteriors i salt tèrmic

A continuació, cal estudiar quina és l'energia necessària per mantenir la temperatura de 20°C dins l'habitatge tenint en compte la temperatura de l'exterior. Per això cal veure la calor que es perd per cada una de les parts de la casa que està contacte amb l'exterior, per un costat les parets i finestres i per l'altre la solera i el forjat.

Pèrdues de calor per les parets exteriors i els elements transparents

Les dimensions de cada una de les 3 plantes de l'edifici és de 24,35x20,30 metres i l'alçada és de 2,7 metres. D'aquesta manera es pot calcular l'àrea lateral de l'edifici per la que hi ha intercanvi de calor:

$$\text{Àrea lateral} = (24,35 \cdot 2,7 \cdot 2 + 20,30 \cdot 2,7 \cdot 2) \cdot 3 = 723,3 \text{ m}^2$$

Per un altre costat, l'edifici també disposa d'elements transparents que permeten el pas de llum natural, aquests elements s'han de tenir en compte per separat ja que tenen unes

propietats tèrmiques diferents que les parets exteriors. A continuació es troba un quadre resum que mostra el nombre de finestres per planta i les seves dimensions i l'àrea.

	Nº de finestres	Dimensions (m)	Àrea (m ²)
Planta Baixa	20	1,3x2,7	20 x 3,51
	2	1,3x1	2 x 1,3
Primera planta	16	1,3x2,7	16 x 3,51
	4	1,3x1	4 x 1,3
Segona planta	16	1,3x2,7	16 x 3,51
	2	1,3x1	2 x 1,3
Àrea total de finestres			192,9

Taula 4.19: Dimensionament i superfície dels elements transparents

D'aquesta manera l'àrea de paret és l'àrea lateral menys l'àrea d'elements transparents:

$$\text{Àrea paret lateral} = 723,3 - 192,9 = 530,4 \text{ m}^2$$

Un segon paràmetre important per al càlcul de calor necessària són les propietats tèrmiques dels elements, concretament el seu coeficient de transmissió tèrmica que indicarà la facilitat que té un material en deixar travessar la calor. Els catàlegs facilitats pels fabricants que es poden trobar a l'Annex B: *CARACTERÍSTIQUES DELS ELEMENTS CONSTRUCTIUS*, mostren les propietats dels diferents materials. El coeficient de transmissió de la paret prefabricada de la façana és de 0,14 W/m² K i pels vidres 1 W/m²K.

Com a exemple es calcularà l'intercanvi de calor del mes de Gener:

$$Q = S \cdot U \cdot \Delta t = \left(530,4 \text{ m}^2 \cdot 0,14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} + 192,9 \text{ m}^2 \cdot 1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right) \cdot 16,28 \text{ K} = 4350,3 \text{ W}$$

Per obtenir l'energia necessària caldrà multiplicar aquesta calor pel nombre d'hores del mes de gener:

$$DQ = Q \cdot NH = 4,4 \text{ kW} \cdot 744 \text{ h} = 3236,6 \text{ kWh}$$

On,

DQ Demanda de Calor (kWh)

Q Calor transmesa (W)

NH Nombre d'hores del més (h)

Repetint el mateix procediment per a tots els mesos s'obté la següent taula que mostra la demanda de calor mensual i total de l'any per als mesos que s'usa la calefacció:

Mes	Salt tèrmic (°C)	Calor transmesa (W)	Nombre d'hores	Demanda energètica (kWh)
Gener	16,28	4350,3	744	3236,6
Febrer	16,15	4313,5	672	2898,7
Març	13,06	3488,7	744	2595,6
Abril	8,76	2339,9	720	1684
Maig	5,52	1473,8	744	1096,5
Octubre	7,34	1961,4	744	1459,3
Novembre	12,89	3444,1	720	2479,8
Desembre	15,78	4214,5	744	3135,6
TOTAL		25586,2		18586,7

Taula 4.20: Dades necessàries per al càlcul de la demanda energètica de la façana

Pèrdues de calor per la solera

La solera és la part de l'edifici que està en contacte amb el sòl. La dimensió de la solera és la mateixa que la de la planta, per tant és de 24,35x20,3 metres, el que suposa una àrea total de 494,3 m². Donat que es tracta d'un estudi preliminar de les dimensions de les instal·lacions la temperatura del sòl se suposarà que és la mateixa que la temperatura ambient. Aquesta suposició es farà donat que la profunditat de la terra en el punt on hi ha la solera és molt poca. La conductivitat tèrmica de la solera és de 0,15 W/m² K.

D'aquesta manera ja es disposa de totes les dades necessàries per calcular quina és la transferència de calor que hi ha mitjançant la solera. Així, a l'igual que en el cas anterior es calcularà quina és la demanda energètica que requereix el fred que entra per la solera:

Mes	Salt tèrmic (°C)	Calor transmesa (W)	Nombre d'hores	Demanda de energètica (kWh)
Gener	16,28	1207,3	744	898,3
Febrer	16,15	1197,1	672	804,5
Març	13,06	968,2	744	720,4
Abril	8,76	649,4	720	467,6
Maig	5,52	409,0	744	304,3
Octubre	7,34	544,3	744	405,0
Novembre	12,89	955,9	720	688,2
Desembre	15,78	1169,7	744	870,2
TOTAL		7101		5158,4

Taula 4.21: Dades necessàries per al càlcul de la demanda energètica de la solera

Pèrdues de calor pel forjat

El forjat cobreix l'edifici per la part superior. Com s'ha comentat anteriorment el forjat és un terrat a dues aigües amb una inclinació del 50% que està format per dues parts de dimensions 20,3x13,6 metres. Amb aquestes dades es calcula l'àrea del forjat:

$$\text{Àrea forjat} = 20,3 \cdot 13,6 \cdot 2 = 552,16 \text{ m}^2$$

La conductivitat tèrmica del forjat és de 0,12 W/m² K, i la variació de temperatura entre ambdues bandes del forjat és la mateixa que en els casos anteriors. Així ja es pot calcular la demanda energètica per compensar les pèrdues tèrmiques que es donen pel forjat:

Mes	Salt tèrmic (°C)	Calor transmesa (W)	Nombre d'hores	Demanda energètica (kWh)
Gener	16,28	1078,9	744	802,7
Febrer	16,15	1069,8	672	718,9
Març	13,06	865,2	744	643,7
Abril	8,76	580,3	720	417,8
Maig	5,52	365,5	744	272,0
Octubre	7,34	486,4	744	361,9
Novembre	12,89	854,2	720	615,0
Desembre	15,78	1045,2	744	777,7
TOTAL		6345,7		4609,7

Taula 4.22: Dades necessàries per al càlcul de la demanda energètica del forjat

Ara ja es disposa de la demanda energètica necessària per compensar les pèrdues de calor que hi ha per els diferents elements que envolten l'edifici, a mode de resum:

Mes	Demanda energètica parets (kWh)	Demanda energètica solera(kWh)	Demanda energètica forjat (kWh)	Demanda energètica total(kWh)
Gener	3236,6	898,3	802,7	4937,6
Febrer	2898,7	804,5	718,9	4422,1
Març	2595,6	720,4	643,7	3959,7
Abril	1684	467,6	417,8	2570,1
Maig	1096,5	304,3	272,0	1672,8
Octubre	1459,3	405,0	361,9	2226,2
Novembre	2479,8	688,2	615,0	3783
Desembre	3135,6	870,2	777,7	4783
TOTAL	18586,7	5158,4	4609,7	28354,8

Taula 4.23: Taula resum de les demandes energètiques

4.2.4.2. Càlcul de la superfície de captació

Un cop s'ha calculat quins seran els consums energètics per mantenir l'habitatge a una temperatura de 20°C, cal estudiar com se subministrà aquesta energia. En el sistema de terra radiant la calor se cedeix a partir del pas d'aigua calenta per sota el terra. A l'igual que en el cas de l'ACS, l'aigua que passarà per sota la solera serà escalfada a partir d'energia solar tèrmica. Per tant, cal calcular quin serà el nombre panells solars tèrmics necessaris per satisfer aquestes necessitats. És important tenir en compte que no tots els mesos de l'any es farà ús de la calefacció, durant aquests mesos els panells solars estaran coberts per així evitar una generació d'energia innecessària i també evitar que es facin malbé.

El procediment de càlcul serà molt semblant al cas de l'aigua calenta sanitària. Les plaques es col·locaran en orientació sud, ja que és la orientació que rep una major radiació energètica. A més, les plaques necessiten una certa inclinació, es considera que la inclinació òptima de la instal·lació es troba agafant de referència la latitud geogràfica de l'emplaçament i tenint una variació d'entre +10° i -10°.

Latitud geogràfica + 10°: quan la demanda preferent té lloc a l'hivern

Latitud geogràfica - 10°: quan la demanda preferent té lloc a l'estiu

La latitud del terreny és 42,45°. Es posicionarà doncs una inclinació de 55° al igual que en el cas de l'ACS ja que al fer servir la instal·lació bàsicament en mesos d'hivern. Per tant, ara ja es pot consultar a l'Atlas Solar de Catalunya quina és la radiació solar per unitat de superfície en orientació sud per una inclinació de 55°. Però, no tota la radiació solar és absorbida pels captadors ja que hi ha pèrdues per orientació i inclinació. De la mateixa manera que en el cas de producció d'ACS aquestes pèrdues faran que només el 95% de la radiació solar sigui absorbida pel col·lector.

Mes	Radiació Solar (MJ/m ² d)	Radiació solar absorbida (MJ/m ² d)
Gener	13,66	12,98
Febrer	15,39	14,62
Març	17,26	16,40
Abril	18,18	17,27
Maig	18,13	17,22
Octubre	15,69	14,91

Novembre	13,81	13,12
Desembre	12,9	12,26

Taula 4.24: Radiació solar emesa i absorbida

Per un altre costat, cal tenir en compte les pèrdues de la instal·lació, els estudis indiquen que aquestes pèrdues solen ser d'entre un 10 i un 15% de l'energia obtinguda al captador. Tenint en compte aquest fet se suposarà que la nostra instal·lació té unes pèrdues del 15% i per tant cal recalculer la demanda energètica considerant aquestes pèrdues.

Mes	Demanda calor total(kWh)	Demanda de calor tenint en compte les pèrdues (kWh)
Gener	4937,6	5808,9
Febrer	4422,1	5202,4
Març	3959,7	4658,4
Abril	2570,1	3023,7
Maig	1672,8	1968,0
Octubre	2226,2	2619,1
Novembre	3783	4450,6
Desembre	4783	5627,6
TOTAL	28354,8	33358,7

Taula 4.25: Demanda energètica total considerant les pèrdues

Donat que en el cas de l'estudi de la instal·lació d'aigua calenta ja s'ha fet un estudi comparatiu de diferents models de plaques solars tèrmiques del mercat, en la instal·lació de calefacció se seguirà usant el mateix model, el DS09-25S de Danosa. D'aquesta manera, com el model i la quantitat de radiació solar absorbida és la mateixa el càlcul del rendiment de la placa per a cada mes serà també igual que en el cas anterior. Un cop es disposa del rendiment es pot calcular l'energia útil a partir del producte entre la radiació diària absorbida i el rendiment del col·lector. A partir d'aquests càlculs s'obté la següent taula resum:

Mes	Energia solar absorbida (kWh/m²)	Demanda energètica (kWh)	Àrea necessària (m²)	Nombre de plaques ideal
Gener	30,81	5808,9	188,57	75
Febrer	35,37	5202,4	147,08	59
Març	48,08	4658,4	96,88	38
Abril	51,81	3023,7	58,36	23
Maig	59,14	1968,0	33,28	13
Octubre	45,59	2619,1	57,45	23

Novembre	32,33	4450,6	137,68	55
Desembre	30,81	5627,6	182,63	73

Taula 4.26: Càlcul del nombre de plaques necessàries

Si s'observa el nombre de plaques ideal que cobriria el 100% de la demanda, varia molt entre els diferents mesos. Així doncs, és impossible cobrir tota l'energia que necessita la calefacció de l'hotel amb energia solar.

L'energia alternativa que aportarà la demanda de calefacció que falti per cobrir és l'electricitat. Per tant, es calcularà el nombre de plaques de manera que el criteri serà que el cost de l'energia sigui menor si es dona amb energia solar tèrmica que si es fes mitjançant electricitat. En unes altres paraules, per obtenir una mateixa quantitat d'energia sempre serà més rendible l'energia solar tèrmica que la fotovoltaica ja que dona més energia per un mateix preu. Però, l'energia que produeixen els panells solars tèrmics només es pot fer servir per a la calefacció, mentre que la que produeixen els panells fotovoltaics serveix produir electricitat que es farà servir no només per a la calefacció. Com la demanda energètica de calefacció no és constant durant molts mesos es disposarà d'uns panells solars tèrmics que no tindran utilitat mentre que si fossin fotovoltaics sí. És per això que el nombre de panells solars tèrmics serà el òptim perquè surti a compte usar l'àrea de la que es disposa en aquest tipus de panells que en fotovoltaics.

Si es consulta l'apartat d'energia fotovoltaica 4.3.5. *Càlcul de la superfície de captació* està indicat quins són els preus dels tres models que s'han escollit per fer l'estudi. Es pot veure que dels tres models el que té un preu més econòmic és el model YL245, per tant es farà l'estudi comparatiu amb aquest model.

El criteri per escollir el nombre de plaques serà que el cost per produir l'energia de calefacció sigui menor amb energia solar tèrmica que amb electricitat. Del contrari, sortiria més a compte usar energia elèctrica per produir la calefacció. Per tant, per triar quin serà el nombre de plaques de la instal·lació caldrà fer un problema d'optimització. A continuació es mostra el plantejament del problema amb la seva variable, funció objectiu, les dades i les restriccions.

Variables

En aquest problema es disposa de tres variables, una serà el nombre de captadors solars tèrmics (NT), una altre que serà el nombre de captadors solars fotovoltaics (NF) necessaris

per produir la mateixa quantitat d'energia produïda amb els NT captadors solars tèrmics. L'última serà l'energia produïda cada mes per les plaques solars tèrmiques serà EP_m i la anual serà EP.

Funció objectiu

L'objectiu del projecte procura ser el més sostenible possible, per tant, la funció objectiu serà maximitzar l'energia utilitzada procedent de la font solar.

$$[\text{MAX}] z = NT \quad \text{Eq. 4.8}$$

Dades

Les dades que serviran per resoldre el problema són:

- **m** Mes de l'any $m = \{ \text{gener, febrer, ..., desembre} \}$
- **AT** L'àrea del captador solar tèrmic que proporciona el fabricant. En el cas del captador DS09-25S l'àrea és $2,49 \text{ m}^2$
- **DE_m** Demanda energètica de calefacció de cada mes (Wh).
- **EuT_m** Energia aprofitable pels col·lectors solars tèrmics per mes (Wh/m^2).
- **P** Potència de la placa solar fotovoltaica. 245 W
- **PT** Preu del col·lector solar tèrmic. 530€ la unitat
- **PFI** Preu del col·lector solar fotovoltaic comprat de forma individual, 272,26€
- **PFp** Preu del col·lector solar fotovoltaic comprat en un pack de 26 unitats. 193,13€/unitat
- **HSP** Hores de sol pic equivalents o nombre d'hores a potencia nominal equivalent. 1211,53 hores

Restriccions

- La primera restricció i molt important és que el nombre de captadors ha de ser un número natural
 - $NT \in \text{Naturals } \{1, 2, 3, \dots\}$
 - $NC \in \text{Naturals } \{1, 2, 3, \dots\}$
- La segona restricció és que el preu que es paga per produir l'energia total de calefacció amb NT plaques tèrmiques sigui inferior que el preu que es pagaria per aconseguir aquesta mateixa quantitat d'energia amb plaques fotovoltaïques.

$$NT \cdot PT < \text{part entera} \left[\frac{NF}{26} \right] \cdot 26 \cdot PFp + \left(NF - \text{part entera} \left[\frac{NF}{26} \right] \right) \cdot PFi \quad \text{Eq. 4.9}$$

Per aconseguir el valor d'aquestes variables cal fer uns passos previs, primer de tot, calcular quina serà l'energia produïda per les plaques solars tèrmiques. L'energia produïda EP (kWh) és la suma per cada mes de l'energia produïda per les plaques solars tèrmiques, excepte en els mesos en què es produeix més energia de la que es necessita, llavors se suma la demanda energètica, ja que és l'energia utilitzada. Resumint:

$$EP_m = A \cdot NT \cdot EuT_m \quad \text{si } DE_m > A \cdot NT \cdot EuT_m$$

$$EP_m = DE_m \quad \text{si } DE_m < A \cdot NT \cdot EuT_m$$

Eq. 4.10

$$EP = \sum_{m=\text{gener}}^{\text{desembre}} EP_m$$

En segon lloc, el nombre de panells solar fotovoltaics es calcularà de la següent forma:

$$NF = \frac{EP \cdot 1000}{HSP \cdot P} \quad \text{Eq. 4.11}$$

Resolent el problema d'optimització el nombre òptim de plaques solars tèrmiques per produir energia per a la calefacció és de 18. L'àrea d'una placa DS09-25S és de 2,49 m². Per tant l'àrea total de captació és de:

$$18 \text{ plaques} \cdot 2,49 \text{ m}^2/\text{placa} = 44,82 \text{ m}^2$$

A continuació es mostra una taula on es pot veure l'energia obtinguda amb aquesta àrea, el percentatge que suposa respecte la demanda energètica total i la quantitat d'energia alternativa necessària.

Mes	Energia solar (kWh)	% Energia solar	Energia alternativa (kWh)
Gener	1457,40	25%	4351,50
Febrer	1673,38	32%	3529,02
Març	2274,86	49%	2383,54
Abril	2451,00	81%	572,70
Maig	2797,95	142%	0

Octubre	2156,72	82%	462,38
Novembre	1529,33	34%	2921,27
Desembre	1457,82	26%	4169,78
TOTAL	14.969	45%	18390,18

Taula 4.27: Resum de la situació final de la instal·lació de calefacció amb energia solar tèrmica

A mode de resum, es pot observar a la taula que el percentatge d'aportació solar pel sistema de calefacció és del 45%, i que caldrà aportar mitjançant altres fonts energètiques un 55%, que suposa 18390,18kWh. Aquesta energia restant s'aportarà mitjançant energia elèctrica.

4.2.5. Distribució dels panells en planta

El terrat de l'edifici serà el lloc on es col·locaran els panells solars. Donat que el terrat és inclinat a dues aigües orientades al Sud i al Nord, l'orientació escollida serà la Sud, que és la que rep una radiació solar més favorable i amb la qual s'ha fet l'estudi anteriorment.

És fonamental a l'hora de dissenyar un muntatge amb diverses files de col·lectors determinar la distància mínima de separació entre elles. La separació entre fileres de captadors ha de garantir la no superposició d'ombres entre les fileres de captadors en els mesos més desfavorables. Primerament, és necessari fer un esbós de la col·locació de les plaques a la teulada per tal de determinar tots els angles i distàncies que influeixen en els càlculs trigonomètrics necessaris per determinar la distància entre plaques.

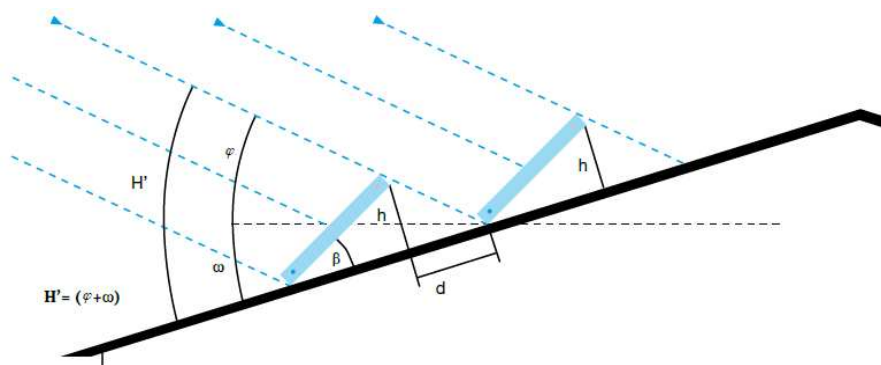


Figura 4.3: Esquema del posicionament de les plaques solars [1]

De la imatge anterior cada un dels símbols s'explica de la següent forma:

- ω Angle d'inclinació de la teulada respecte la horitzontal
- β Angle d'inclinació del panell solar respecte la teulada

- φ Angle dels rajos solars respecte la horitzontal. Aquest valor varia segons l'època, però es prendrà un valor desfavorable de l'hivern en què $\varphi = 25^\circ$
- H' Representa la suma de φ i ω
- h Alçada del panell solar
- d Distància mínima entre els captadors solar

La distància mínima entre els captadors serà aquella que eviti que es facin ombra els uns als altres. Per determinar aquest valor només cal resoldre la següent equació en què es tenen en compte tots els paràmetres explicats anteriorment:

$$d = \frac{h}{\tan H'} \quad \text{Eq. 4.12}$$

Per tant, és necessari trobar el valor de tots els paràmetres per resoldre l'equació. Primerament, es calcularà quin és l'angle de la teulada respecte la horitzontal (ω) i l'àrea disponible per col·locar els panells solars. Per això es farà un croquis de l'alçat de la teulada amb les seves dimensions.

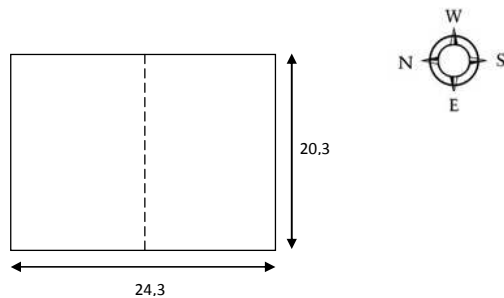


Figura 4.4: Dimensionament de la teulada

La inclinació de la teulada és d'un 50%, això vol dir que per cada 100m horitzontal la teulada s'aixeca 50 en vertical. D'aquesta manera es pot determinar quin és l'angle de la teulada.

$$\tan \omega = \frac{50}{100}$$

$$\omega = 26,6^\circ$$

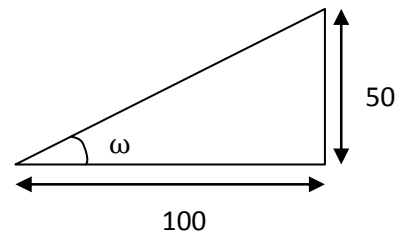


Figura 4.5: Esquema de la inclinació de la teulada

Ara que es disposa de l'angle de la teulada respecte l'horitzontal ja es pot calcular quina serà la resta de dades necessàries per calcular l'àrea de la teulada. Se sap que un dels

costats de la teulada fa 20,3 metres, per saber quant mesura l'altre costat cal fer el següent un càlcul trigonomètric.

$$\cos 26,6^\circ = \frac{24,35/2}{c}$$

$$c = 13,6 \text{ metres}$$

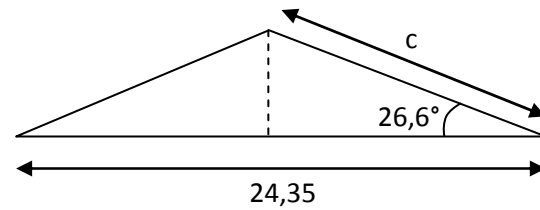


Figura 4.6: Alçat de la teulada

Després d'aquests càlculs es pot dir que la teulada té unes dimensions de 20,3x13,6m, obtenint així una àrea de 276,32 m² per costat.

Un cop se sap quin és l'angle de la teulada (ω) es pot determinar quin serà l'angle dels captadors respecte la teulada (β). Sabent que l'angle dels captadors respecte la horitzontal és de 55°, només cal aplicar la següent relació per trobar l'angle β :

$$\beta = 55^\circ - \omega = 55^\circ - 26,6^\circ = 28,4^\circ$$

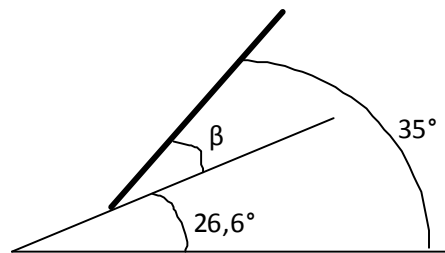


Figura 4.7: Esquema de l'alçat de la teulada i el col·lector

Ara ja es pot calcular quant estarà aixecada la placa (h). Per calcular aquest valor és necessari saber quines són les dimensions de la placa solar, en aquest cas el model escollit DS09-25S té unes dimensions de 2,03x1,23x0,093 metres. Les plaques es col·locaran de manera que la mesura de 2,03 metres serà la que estarà en contacte amb la teulada. Per tant la placa quedarà de la següent manera sobre la teulada:

$$\sin \beta = \sin 28,4 = \frac{h}{1,23}$$

$$h = 0,59 \text{ metres}$$

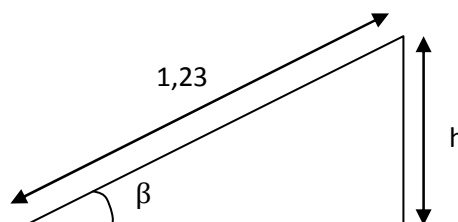


Figura 4.8: Esquema de l'alçat del col·lector

L'última dada que falta calcular és H' que resulta de la suma de l'angle de la teulada respecta la horitzontal i l'angle de la radiació solar en la situació més desfavorable, que és durant l'hivern i en aquest cas val 25° . Per tant:

$$H' = \omega + \varphi = 26,6^\circ + 25^\circ = 51,6^\circ$$

Ara que ja es disposa de totes les dades necessàries ja es pot calcular quina ha de ser la distància mínima entre els captadors solars.

$$d = \frac{h}{\tan H'} = \frac{0,59}{\tan 51,6^\circ} = 0,46 \text{ m.}$$

Sabent que la dimensió de cada un dels costats del terrat és de $13,6 \times 20,3$ i que la longitud de la placa que toca el terrat és de $2,03$. Es poden disposar per cada fila 10 plaques solars i a continuació cal calcular el nombre de files que es poden disposar. Per això, és necessari saber l'espai entre plaques i la projecció de la placa a la horitzontal. Aquest últim valor es pot calcular a partir del següent croquis:

$$\cos \beta = \cos 28,4 = \frac{p}{1,23}$$

$$p = 1,08 \text{ metres}$$

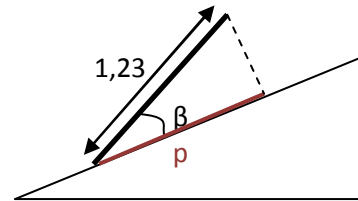


Figura 4.9: Esquema de l'alçat de la teulada i la placa

La projecció de la placa sobre el terrat mesura $1,23$ metres, l'espai entre plaques ha de ser mínim de $0,46$ metres i cada un dels costats del terrat és de $13,6$ metres. Amb aquestes dades ja es pot plantejar una equació per determinar el nombre de files (nf) que es poden col·locar.

$$1,08 \cdot nf + 0,46 \cdot (nf - 1) \leq 13,6$$

$$nf = 9,1 \text{ files}$$

Després de l'estudi s'ha determinat que es requeriran 42 plaques solars tèrmiques per a la producció d'ACS i 18 plaques per generar aigua calenta per a la calefacció. Això suposa un total de 60 plaques solars tèrmiques DS09-25S. Sabent que a cada fila es poden col·locar 10 panells solar es col·locaran tots els panells solars tèrmics en 6 files. Ocupant així una superfície de $187,6 \text{ m}^2$ i deixant disponible una superfície de $88,7 \text{ m}^2$ per a la col·locació de panells solars fotovoltaics.

4.2.6. Sistema alternatiu: Caldera de pèl·lets

Un cop s'ha fet el preestudi del sistema de calefacció amb energia solar, es pot observar que s'està usant un sistema que requereix un gran nombre de plaques solars, que durant molts mesos de l'any no se'ls hi traurà cap rendiment ja que la demanda d'energia calorífica no és constant. Per tant, no se l'hi treu un rendiment durant tot l'any.

Per aquest motiu es proposa una alternativa per abastir les necessitats calorífiques, la combustió de biomassa, concretament de pèl·lets de fusta. Al tractar-se d'una font combustible només serà necessari fer ús de la instal·lació quan sigui necessari.

Els pèl·lets són petits cilindres premsats a alta temperatura. La matèria primera és la fusta natural procedent, normalment, de subproducte de la indústria que transforma la fusta.

Es tracta d'un producte natural, a més, és un combustible ja utilitzat a la comarca de la Cerdany fet que fa que sigui també un producte pròxim i així es minimitzi el transport.

Pel que fa la contaminació, es considera que la combustió de pèl·lets produeix unes emissions neutres, el que vol dir que el CO₂ que emet durant la seva combustió és el mateix que el que ha absorbit durant el seu procés de creixement.

Un segon avantatge que té aquesta font és el seu elevat poder calorífic, al voltant de 4500kcal/kg, o el que és el mateix 5,23kWh/kg. A continuació es disposa una taula que presenta les demandes de calor mensual i la quantitat de pèl·lets que es requeriran cada mes.

Mes	Demanda calor total(kWh)	Pèl·lets necessaris (kg)
Gener	4937,6	943,5
Febrer	4422,1	845,0
Març	3959,7	756,6
Abril	2570,1	491,1
Maig	1672,8	319,6
Octubre	2226,2	425,4
Novembre	3783	722,8
Desembre	4783	913,9
TOTAL	28354,8	5417,9

Figura 4.28: Demanda energètica i massa de pèl·lets per cobrir aquesta demanda

Aproximadament es requeriran 5418 kg de pèl·lets anuals per escalfar l'hotel. Fent una recerca de diferents proveïdors de pèl·lets s'ha considerat que un preu mig d'aquest producte és 0,25 €/kg. Per tant, anualment aquest sistema suposaria una despesa aproximada de 1355€.

4.3. Instal·lació elèctrica

Tal i com s'ha explicat anteriorment part de l'energia elèctrica de l'hotel es generarà a partir de plaques solars fotovoltaïques. Aquesta instal·lació estarà connectada a la xarxa elèctrica i això permetrà que en tot moment l'hotel pugui contar amb electricitat.

4.3.1. Consum d'electricitat

El primer pas per determinar el dimensionament de la instal·lació elèctrica és calcular quin serà el consum aproximat que tindrà l'hotel. Per això, s'ha fet un estudi de la quantitat d'electricitat que es requerirà pels aparells i electrodomèstics més comuns i també per altres consums com la il·luminació i l'energia que les plaques solars tèrmiques no podien subministrar a les instal·lacions d'aigua calenta sanitària i calefacció.

APARELLS D'ÚS VARIABLE

ZONES COMUNS				
Aparell	Potència (W)	Hores/dia	Unitats	Consum (Wh)
TV	80	6	1	480
Ventilador	70	6	1	420
Ordinador	70	18	1	1260
Monitor	16	18	1	288
Cafetera	1460	1	2	2920
Torradora	3000	2	1	6000
Inducció	2000	1	2	4000
Forn	2300	2	1	4600
Ascensor 4p.	2200	-	2	3232
HABITACIONS				
TV	40	1	12	480
CONSUM TOTAL DIARI EN APARELLS D'ÚS VARIABLE				23,68 kWh
CONSUM TOTAL ANUAL D'APARELLS D'ÚS VARIABLE				8643,2 kWh

Taula 4.29. Consum energètic dels aparells d'ús variable

APARELLS D'ÚS CONTINUAT

Aparell	Consum diari /cicle	Cicles diaris	Unitats	Consum diari (Wh)
Rentadora (fred)	500 Wh/cicle	4	1	2000
Rentavaixelles	1050 Wh/cicle	3	1	3150
Nevera	205 Wh/d	-	2	410
Assecadora	3000 Wh/cicle	3	1	9000
CONSUM TOTAL DIARI EN APARELLS D'ÚS CONTINUAT				14,56 kWh
CONSUM TOTAL ANUAL D'APARELLS D'ÚS CONTINUAT				5314,4 kWh

Taula 4.30. Consum energètic dels aparells d'ús continuat

ILUMINACIÓ

El consum energètic diari per a la il·luminació és d'una mitja de 7477 Wh cada dia. Aquest resultat s'ha obtingut a partir d'un estudi que està detallat més endavant a l'Annex E: *CONSUM LUMÍNIC*. Anualment aquest consum representa 2729 kWh cada any.

AIGUA CALENTA SANITÀRIA I CALEFACCIÓ

Anteriorment, s'ha vist que l'energia solar tèrmica no pot subministrar la totalitat de l'energia necessària per escalfar l'aigua necessària tant per l'ús sanitari com de calefacció. Per això, és necessària una font d'energia alternativa, que en aquest cas serà l'electricitat. Consultant l'estudi del dimensionament de la instal·lació d'ACS s'obté que l'energia extra que ha d'aportar la font alternativa és de 13715 kWh. Per un altre costat, si l'acondicionament tèrmic es fa amb energia solar fotovoltaica aquesta no pot subministrar tota la calor i es requerirà d'una quantitat d'energia elèctrica de 18390 kWh.

CONSUM ELÈCTRIC TOTAL

Si se suma el consum elèctric de les diferents partides s'obté un consum anual total de 48791kWh.

4.3.2. Reglamentació aplicable

Les instal·lacions solars fotovoltaïques estan subjectes al marc normatiu establert per les instal·lacions elèctriques de baixa tensió RBT (Reglamento Electrotécnico para Baja

Tensión) i més específicament la instrucció tècnica ITC-BT 40 Instalaciones Generadoras de Baja Tensión.

Pel que fa el dimensionament i el muntatge dels equips de les instal·lacions fotovoltaïques, únicament cal ressaltar el Codi tècnic de l'edificació, Apartat HE 5, en què es descriu l'obligatorietat d'incorporar energia solar fotovoltaïca als grans edificis de nova construcció (hotels, hospitals, centres comercials, etc.) aplicable a tot l'Estat. En aquest document es fa esment dels paràmetres bàsics de dimensionament de les instal·lacions fotovoltaïques subjectes a aquesta norma.

Respecte al sector hotelier comenta que és obligatòria la utilització d'energia solar fotovoltaïca en el cas de que l'hotel superi les 100 places, que no és el cas. De totes maneres, seguint els objectius del projecte de crear un edifici el més autosuficient i sostenible possible, sí que es farà ús d'aquesta tecnologia per subministrar energia elèctrica.

4.3.3. Avaluació de l'energia solar disponible

A l'igual que en el cas de la instal·lació d'energia fotovoltaïca, un cop determinat el consum elèctric és necessari determinar l'energia que proporciona el Sol. Ara el procediment és una mica diferent.

L'Atlas de radiació proporciona per a una localització i una orientació les dades de radiació per les diferents inclinacions dels panells. En aquest cas la inclinació serà aquella que en total proporcionï una major quantitat d'energia, indiferentment de l'estiu o l'hivern. Això és perquè l'energia elèctrica produïda per la instal·lació fotovoltaïca es vendrà a una empresa elèctrica, per tant, el que es vol és maximitzar aquesta quantitat d'electricitat produïda.

Per això, cal consultar l'Atlas i determinar quina és la inclinació que per a aquesta localització proporcionï una radiació major. Se sap que la inclinació de la placa haurà d'estar al voltant de la latitud de la zona geogràfica, que és de 42,45°, per tant s'estudiaran les inclinacions al voltant d'aquest valor. Per trobar quina és l'energia anual que proporcionï cada una de les diferents inclinacions cal fer la següent operació:

$$RAA = \sum_{m=\text{gener}}^{\text{desembre}} RSD_m * \eta_{pèrdues} * DpM_i \quad \text{Eq. 4.13}$$

On,

RAA Radiació absorbida anualment per cada una de les inclinacions

RSD_m Radiació solar diària del mes m (MJ/m²d). [3]

η_{solar} Factor que representa les pèrdues per orientació, inclinació i ombres. Aquest valor està calculat a l'apartat de la instal·lació solar tèrmica i val 0,95.

DpM_m Dies que té el mes m

m Mesos de l'any

A continuació, es mostra una taula resum on es pot veure la radiació absorbida anualment per cada una de les de les inclinacions.

	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Radiació absorbida anualment (MJ/m²)	5786,71	5860,56	5896,32	5895,90	5858,77	5785,82

Taula 4.31. Radiació absorbida anualment per unitat de superfície en funció de la inclinació

Es pot veure que la inclinació que és capaç d'absorbir una radiació major cada any és la de 35°, així aquesta serà la inclinació escollida per a les plaques fotovoltaïques. Per tant, la radiació total absorbida serà de 5896,32 MJ/m² o el que és el mateix 1637,87 kWh/m².

Un cop es coneix la radiació incident en kWh/m²dia, cal dividir-la entre la potencia de radiació estàndard que s'utilitza per calibrar els mòduls (1 kW/m²) i s'obté la quantitat de HSP (hores sol pic) equivalents o nombre d'hores a potència nominal equivalents.

Aquest valor vindria a ser les hores que hauria de lluir el Sol a intensitat fixa de 1.000 W/m² per produir la mateixa energia que arriba en realitat durant un dia escollit en què el Sol varia d'intensitat contínuament al llarg del dia. En aquest cas, el valor de les hores de sol pic anuals és el següent:

$$HSP = \frac{1637,87 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 1637,87 \text{ hores}$$

4.3.4. Pèrdues dels components

En aquest tipus d'instal·lació hi ha molts elements en què es pot anar perdent part de l'energia captada pels col·lectors. D'aquesta manera es generen unes pèrdues que cal tenir present. Les zones en què es poden produir aquestes pèrdues són:

Generador fotovoltaic. Les pèrdues en els mòduls fotovoltaics són degudes als efectes de la temperatura, i a la brutícia del vidre. Aquestes pèrdues poden adoptar un valor aproximat al voltant del 9% (rendiment restant, 0,91).

Inversor. Tenint en compte la bona qualitat dels inversors fotovoltaics de connexió a xarxa d'avui dia, amb uns rendiments que oscil·len del 92 fins al 96%. Un cop calculada la potència real del sistema es podrà determinar quin inversor del mercat serà el que s'usarà per a la instal·lació i el fabricant determinarà el rendiment exacte, de moment s'assumirà que l'inversor suposa unes pèrdues del 8% (rendiment del 0,92).

Cablejat i dispersió de paràmetres. En aquest cas és molt normal establir unes pèrdues del 5% (rendiment, 0,95).

Interrupcions de servei. Es refereix al coeficient de funcionament real de la instal·lació fotovoltaica, descomptant les aturades del sistema per valors fora de rang o problemes a la xarxa, etc. Aquest coeficient pot assumir un valor del 0,93 (és a dir, que un 7% del temps teòric de funcionament es perd).

La multiplicació dels coeficients definits determina, de manera aproximada, el rendiment global de la instal·lació o PR (Performance Ratio).

$$PR = 0,91 \cdot 0,92 \cdot 0,95 \cdot 0,93 = 0,7397$$

4.3.5. Càlcul de la superfície de captació

Per escollir el col·lector més adequat per a les necessitats de l'hotel es farà un estudi de tres models de diferents marques del mercat. Les característiques que s'usaran durant l'estudi per a cada un dels models és poden trobar a *l'Annex F: DADES TÈCNIQUES DE LES PLAQUES SOLARS FOTOVOLTAIQUES*. La següent taula mostra un resum:

Marca	KYOCERA	YINGLI SOLAR	ARTESA
Model	KD320GH	YL245	A-300 P
Dimensions (mm)	1,66x1,32x0,046	1,65x0,99x0,04	1,97x0,99x0,04
Àrea total (m ²)	2,19	1,63	1,95
Potència nominal (W)	320	245	245
Rendiment òptim (%)	14,59%	15%	15,42%
Preu en paquet(€/u.)	432,6	193,13	285,56
Unitats per paquet	20	26	25
Preu en individual(€/u.)	-	272,25	338
Preu mínim kWh (€/kWh)	1,116	0,651	0,786

Taula 4.32. Característiques dels diferents models del mercat de panells solar fotovoltaics

El proveïdor (www.solar-online.es) ofereix paquets de plaques fotovoltaïques amb un nombre concret de plaques, comprant les plaques d'aquesta manera el preu per unitat et surt més econòmic.

4.3.6. Criteris per al dimensionament de la instal·lació

Donat que les instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa elèctrica no han de garantir el subministrament energètic de l'usuari en qualsevol circumstància, es pot ser més flexible a l'hora de dimensionar el sistema. Es poden fer servir diferents criteris, els més comuns són:

- Producció elèctrica anual
- Màxima superfície disponible
- Inversió disponible
- Acompliment del CTE en grans edificis

Per estudiar la superfície de panells solars s'usaran dos criteris dels esmentats anteriorment. El primer criteri serà la producció elèctrica anual, es determinarà quin seria el nombre de plaques solars capaç de produir una electricitat igual a la que consumiria l'hotel. D'aquesta manera l'hotel no seria autosuficient, ja que no sempre la quantitat produïda i demanada és la mateixa per a un mateix moment, però almenys la instal·lació aportarà a la xarxa elèctrica la mateixa quantitat d'electricitat que ha consumit. El segon criteri serà la superfície disponible a la teulada. El criteri de l'acompliment del codi tècnic no és vàlid en aquest cas ja que pel tipus d'hotel que es vol construir no obliga a obtenir cap mínim d'energia elèctrica a partir de panells fotovoltaïcs.

Sabent la demanda d'energia elèctrica, les hores de sol pic i la potència del col·lector. Amb aquestes dades s'obté la següent equació:

$$\text{Nombre plaques} = \text{Part Entera} \left[\frac{\text{Demanda energètica} \cdot \text{Hores de sol pic}}{\text{Potència del col·lector}} \right] \quad \text{Eq. 4.14}$$

CRITERI 1: PRODUCCIÓ ELÈCTRICA ANUAL

A l'estudi anterior sobre el consum elèctric s'ha determinat que anualment l'hotel consumeix una electricitat de 48791 kWh. Aquesta és la quantitat doncs d'electricitat que es vol abocar a la xarxa elèctrica. Amb una radiació solar absorbida de 1637,87 kWh/m² i un factor de pèrdues del 0,7397 el nombre de plaques necessàries de cada un dels models és el següent:

Marca	KYOCERA	YINGLI SOLAR	ARTESA
Model	KD320GH	YL245	A-300 P
Nombre de plaques	126	165	135
Àrea necessària (m ²)	276,42	269,53	262,62
Preu total (€)	51912	32579	39075
Preu kWh (€/kWh)	1,06	0,67	0,80

Taula 4.33: Característiques dels models de plaques solars fotovoltaïques

Seguint aquest criteri el panell que serà seleccionat serà aquell capaç de produir l'energia elèctrica que consumeix l'hotel en un any a un cost més baix, sense tenir en compte l'àrea disponible. Seguint llavors aquestes condicions el model seleccionat serà el més econòmic que és el YL245, de la marca Yingli Solar.

CRITERI 2: MÀXIMA SUPERFÍCIE DISPONIBLE

Tots els col·lectors solars es col·locaran a la part de la teulada orientada al sud, ja que aquesta orientació és la que proporciona una major radiació solar. Cal tenir en compte que gran part de la superfície d'aquesta part de la teulada ja està ocupada per les plaques solars tèrmiques que produeixen aigua calenta sanitària i aigua calenta per a la calefacció. Per tant, traient la superfície que ocupa aquesta part que és de 177,2 m², d'un total de 276,32 m², es disposa de 98,88 m² per a la col·locació de panells solars fotovoltaïcs.

Però no tota aquesta superfície podrà estar ocupada per panells solars ja que entre les diferents files de panells haurà d'haver una distància que evitarà que uns es facin ombra als altres.

La distància mínima entre els captadors serà aquella que eviti que es facin ombra els uns als altres. Per determinar aquest valor només cal resoldre la següent equació en què es té en compte tots els paràmetres explicats anteriorment:

$$d = \frac{h}{\tan H'} \quad \text{Eq. 4.15}$$

On,

- d** Distància mínima entre els captadors solar
- h** Alçada del panell solar
- H'** Representa la suma de l'angle dels rajos solar respecte la horitzontal en el cas més desfavorable (φ) i l'angle d'inclinació de la teulada respecte la horitzontal (ω)

Com s'ha calculat anteriorment a l'apartat 4.2.5. *Distribució en planta de la instal·lació* cada un dels costats de la teulada té unes dimensions de 20,3x13,6 metres. Obtenint així una àrea de 276,32 m² per costat. També se sap que l'angle de la teulada (ω) és de 26,6°. Amb aquest valor i sabent que les plaques han de tenir una inclinació de 35°, ja es pot calcular quina serà la inclinació de la placa respecte la teulada (β):

$$\beta = 50^\circ - \omega = 35^\circ - 26,6^\circ = 8,4^\circ$$

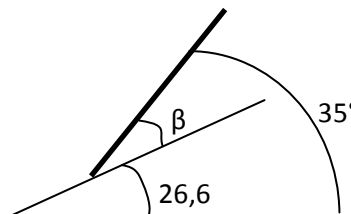


Figura 4.10: Esquema de l'alçat de la teulada i el col·lector

Coneixent l'angle de la placa respecte la teulada es pot determinar el valor de h. Per calcular aquest valor és necessari saber les dimensions del col·lector, que són diferents per a cada model, per això es faran tots els càlculs de forma teòrica. Les plaques es col·locaran de manera que la mesura de més gran serà la que estarà en contacte amb la teulada. Sent c el costat petit de la placa, l'alçada h es calcula de la següent manera:

$$\sin \beta = \sin 8,4 = \frac{h}{b}$$

$$h = \sin 8,4 \cdot b$$

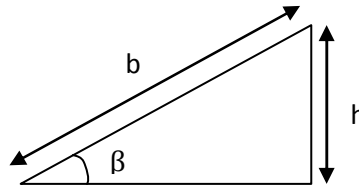


Figura 4.11: Esquema per calcular l'alçada del panell

Finalment, la dada H' resulta de la suma de l'angle de la teulada respecte la horitzontal i l'angle de la radiació solar en la situació més desfavorable, que és durant l'hivern i en aquest cas val 25° . Per tant:

$$H' = \omega + \varphi = 26,6^\circ + 25^\circ = 51,6^\circ$$

Ara que es disposa de totes les dades necessàries ja es pot calcular quina ha de ser la distància mínima entre els captadors solars.

$$d = \frac{h}{\tan H'}$$

Sabent que la dimensió de cada un dels costats del col·lector és de $a \times b \times c$ i que la longitud de la placa que toca el terrat és de a . Es poden disposar a cada fila un nombre de plaques igual a la part entera del quocient entre la longitud de la teulada que és 20,3 i el costat de la placa que toca la teulada, a .

$$\text{nombre de files} = \frac{\text{longitud de la teulada}}{\text{costat de la placa}} = \frac{20,3}{a}$$

Finalment, per calcular quina és la projecció de la superfície de les plaques sobre la teulada caldrà saber la projecció del costat b sobre la teulada, b' . Es pot veure com es calcula aquesta última dada amb l'ajuda del croquis:

$$\cos \beta = \frac{b'}{b}$$

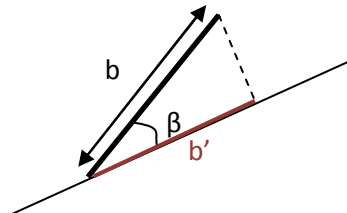


Figura 4.12:: Esquema per calcular la projecció de la placa sobre la teulada

Ara que es disposa de totes les dades ja es pot calcular quin serà el nombre de files de plaques solars fotovoltaïques que hi haurà al terrat. Es considera que l'àrea on es col·locaran aquestes plaques és una àrea rectangular d'àrea $98,88 \text{ m}^2$. Sabent que un dels

costats és de 20,3m, és pot calcular que l'altre costat serà de 4,87 metres. Per calcular el nombre de files que de plaques que podran col·locar cal tenir en compte que la suma de la projecció del costat petit de les plaques (b') i la distància entre plaques per fer aquest càlcul:

$$b' \cdot nf + d \cdot (nf - 1) < 4,87 \text{ m}$$

D'aquesta manera es podrà calcular l'àrea total de plaques fotovoltaïques:

$$\text{Àrea plaques solars} = 20,3 \cdot b' \cdot pxf \cdot nf + d \cdot 20,3 \cdot nf - 1$$

On,

pxf Nombre de plaques per fila, pxf ∈ naturals

nf Nombre de files, nf ∈ naturals

A continuació es troba una taula resum amb totes les dades que s'han anat necessitant per a fer els càlculs dels tres models de plaques solars fotovoltaïques

Marca	KYOCERA	YINGLI SOLAR	ARTESA
Model	KD320GH	YL245	A-300 P
Costat a (m)	1,66	1,65	1,97
Costat b (m)	1,32	0,99	0,99
Alçada de la placa (h)	0,19	0,14	0,14
Distància entre plaques (m)	0,15	0,11	0,11
Projecció de b (b') (m)	1,31	0,98	0,98
Nombre de plaques per fila	12	12	10
Nombre de files	3	4	4
Nombre de plaques solars	36	48	40
Àrea d'una placa solar (m ²)	2,19	1,63	1,95
Àrea de panell solars (m ²)	78,84	78,24	78

Taula 4.34: Dades necessàries per a l'estudi de la superfície de captació necessària per a cada model

Per últim, cal calcular la dada més important, que és l'energia que és pot obtenir amb cada un dels models. Aquesta dada es pot calcular de la següent manera:

$$\text{Energia produïda} = \text{Nombre plaques} \cdot \text{Hores de sol pic} \cdot \text{Potència} \quad \text{Eq. 4.16}$$

Sabent que les hores de sol pic són les mateixes per als tres models, 1211,53 hores/any ja es pot calcular quina és la quantitat d'energia elèctrica anual produïda:

Marca	KYOCERA	YINGLI SOLAR	ARTESA
Model	KD320GH	YL245	A-300 P
Potència (W)	320	245	300
Nombre de plaques	36	48	40
Energia produïda (kWh)	13956,8	14247,6	14538,36

Taula4.35: Energia elèctrica produïda amb cada model

Finalment caldrà mirar quin cost té comprar aquestes plaques fotovoltaïques per poder decidir quin dels tres models serà el que es comprarà:

Marca	KYOCERA	YINGLI SOLAR	ARTESA
Model	KD320GH	YL245	A-300 P
Nombre de plaques	36	48	40
Energia produïda (kWh)	13956,8	14247,6	14538,36
Preu en paquet(€/u.)	432,6	193,13	285,56
Unitats per paquet	20	26	25
Preu en individual(€/u.)	-	272,25	338
Preu Total plaques (€)	17304	10042,8	12209
Preu kWh (€/kWh)	1,24	0,70	0,84

Taula 4.36: Cost produït per cada una de les alternatives

La placa que produeix una quantitat més gran d'energia és la A-300P, tot i això, entre aquesta i el model YL245 no hi ha gaire diferència i en canvi el preu és inferior. Per tant val la pena escollir el model YL245 que és la que el model que té preu per unitat d'energia inferior.

A l'Annex G. *DISTRIBUCIÓ DE LES PLAQUES SOLARS A LA TEULADA* es pot trobar el plànol que mostra com quedaria la col·locació dels panells solars tant tèrmics com fotovoltaïcs a la teulada.

5. AVALUACIÓ DE L'IMPACTE AMBIENTAL

Es considera que hi ha un impacte ambiental quan una acció o activitat produeix una alteració favorable o desfavorable al medi ambient o alguna de les seves components. Per poder analitzar a fons quin impacte té una activitat sobre el medi cal fer una avaluació d'impacte ambiental, aquest anàlisi està pensat per identificar, preveure i valorar, així com comunicar les conseqüències o efectes ambientals de determinades activitats.

Tal i com s'ha anat comentant durant tot el projecte un dels objectius més importants és aconseguir un model d'abastiment energètic el més sostenible possible, fent que l'impacte sobre el medi sigui mínim. És per això que s'ha fet ús d'energia solar com a principal font per subministrar les demandes energètiques de l'edifici i electricitat com a font alternativa.

Tot i l'esforç per reduir les emissions sobre el medi adoptant l'ús d'energies netes l'impacte no és nul. Durant el desenvolupament del projecte es poden diferenciar quatre etapes: disseny, construcció, operació i desmantellament. Les emissions produïdes són diferents a cada una de les etapes.

Fase de disseny. La contaminació és nul·la ja que el projecte només és una idea que s'ha de desenvolupar

Fase de construcció. Durant la fabricació d'un panell solar és necessari l'ús de materials com alumini, vidre, acer o silici, sent aquests components comuns a la indústria. Durant la producció dels col·lectors es requereix un consum energètic que genera residus, com partícules de NO_x, SO₂ o CO₂. Això és com a conseqüència de l'ús d'energies convencional per a la fabricació dels panells.

També cal tenir en compte en aquesta etapa les emissions que es poden produir durant el transport dels panells i les possibles molèsties que pot suposar la col·locació de la instal·lació com sorolls o obstaculització del trànsit.

Fase d'operació. Durant la fase d'operació hi haurà un impacte positiu sobre el medi ambient, donat que l'energia solar és una energia neta i per tant no produeix cap tipus d'emissió a l'atmosfera.

Per un altre costat, com a conseqüència de que la instal·lació dissenyada no és capaç d'abastir tota la quantitat d'energia necessària, serà necessari fer ús d'una altra font d'energia alternativa que serà electricitat. Aquesta font que està comprada a les companyies elèctriques no té perquè estar produïda de forma neta i per tant, la seva producció pot partir de combustibles fòssils o combustible nuclear. Ambdós generen una contaminació sobre el medi, els combustibles fòssils produeixen NO_x, SO₂, CO₂ i cendres, mentre que el combustible nuclear genera substàncies radioactives que es mantenen actives durant molts segles i que són perjudicials per a l'ésser humà.

Fase de desmantellament. Un cop la instal·lació de plaques solar hagi acabat amb la seva vida útil, serà necessari retirar les velles plaques solar. Aquests dispositius contenen substàncies perilloses com metalls pesats, per tant, cal gestionar-los de manera adequada.

Els col·lectors solars contenen materials que poden ser recuperats per a la fabricació de nous mòduls i altres productes, com el vidre, l'alumini, el coure dels cables o el silici. Els panells en desús podran ser traslladats al poble de Pamiers, França, situat a uns 100 km de Llivia. Allà es troba un punt de recollida de panells solars. (<http://www.rouchennergies.fr/>)

Estalvi de l'emissió que suposa l'ús d'energia solar

L'energia solar no emet gasos contaminats a l'atmosfera, això suposa una disminució en l'impacte ambiental per a un consum d'energia comparat en si s'usés qualsevol altre tipus d'energia que no fos sostenible.

El ministeri d'indústria i turisme ha publicat una guia tècnica en què comptabilitza els consums. D'aquest dossier indica quina és l'emissió de CO₂ que produeixen els diferents tipus d'energia.

Energia suministrada (tèrmica)	Emisiones de CO ₂ gr CO ₂ /kWh
Gas natural	204
Gasóleo C	287
GLP	244
Carbón uso doméstico	247
Biomasa	Neutro
Biocarburantes	Neutro
Solar tèrmica baja temperatura	0

Tabla 4: Emisiones CO₂ según energía suministrada (tèrmica).

Energia suministrada (elèctrica)	Emisiones de CO ₂ gr CO ₂ /kWh
Electricidad convencional peninsular	649
Electricidad convencional extra-peninsular (Balears, Canarias, Ceuta y Melilla)	981
Solar Fotovoltaica	0
Electricidad convencional horas valle nocturnas, para sistemas de acumulaci3n elèctrica peninsular	517
Electricidad convencional horas valle nocturnas, para sistemas de acumulaci3n elèctrica extra-peninsular	981

Tabla 5: Emisiones CO₂ según energía suministrada (elèctrica).

Taula 5.1: Emissions de CO₂, segons l'energia subministrada [12]

D'aquesta manera, no només es pot calcular quina serà l'emissió que generarà l'hotel sinó també es podrà saber la quantitat de CO₂ que es deixarà d'emetre gràcies a l'ús d'energies netes.

Per realitzar l'avaluació d'impacte ambiental hi ha dos escenaris que cal tenir en compte, el primer en què el sistema de calefacció es realitza amb energia solar tèrmica i el segon en què es realitza amb energia biomassa.

La següent taula mostra l'energia necessària per a cada una de les necessitats de l'hotel i la font com se subministren aquestes necessitats, també tenint en compte que de la taula anterior s'obté que l'energia solar té una emissió nul·la i que l'energia elèctrica té una emissió de 649 grams de CO₂ per kWh es pot fer un càlcul de l'emissió que genera l'hotel.

Necessitat	Energia necessària (kWh)	Font de subministrament	Energia aportada (kWh)	Emissió de CO ₂ (kg)
Aigua calenta sanitària	74081	Solar	60366	0
		Electricitat	13751	8924
Calefacció:	33359	Solar	14969	0

Solar tèrmica		Electricitat	18390	11935
Calefacció: Biomassa	33359	Pèl·lets	33359	0
Electricitat	16686	Solar	14248	0
		Electricitat	2438	1582

Taula 5.2: Energia aportada per cada font de subministrament i emissions de CO₂

Analitzant la taula anterior es pot fer un resum de quines és l'energia total requerida en cada escenari i quina és l'emissió també generada segons el tipus de calefacció:

	Energia requerida (kWh)	Emissió de CO₂ (kg)
Escenari 1 (Calefacció: Energia solar tèrmica)	124126	22441
Escenari 2 (Calefacció: Energia biomassa)	124126	10506

Taula 5.3: Resum de les emissions generades a cada escenari

Per veure quina és la quantitat de gasos que s'evita d'emetre al medi amb l'ús d'energies renovables cal calcular quant CO₂ s'emetria en cas que totes les necessitats es cobrissin amb energia elèctrica. Per saber aquesta dada fem la següent operació:

$$\text{Energia requerida (kWh)} \cdot \text{Emissió de CO}_2 \text{ per kWh (kg CO}_2\text{/kWh)}$$

$$124126 \text{ kWh} \cdot 0,649 \text{ kg } \frac{\text{CO}_2}{\text{kWh}} = 80558 \text{ kg CO}_2$$

Per tant, fent la diferència entre el que s'emetria si totes les necessitats es cobrissin amb energia elèctrica i amb el model actual es determina quin és l'estalvi d'emissió de CO₂:

$$\text{Estalvi de CO}_2\text{(Escenari 1)} = 80558 - 22441 = 58117 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Estalvi de CO}_2\text{(Escenari 2)} = 80558 - 10506 = 70052 \text{ kg CO}_2$$

Es pot veure clarament que el disseny energètic que s'ha realitzat suposa un estalvi d'aproximadament 60 tones de CO₂ cada any per al primer escenari i 70 per al segon.

6. ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA

La viabilitat econòmica és una característica imprescindible perquè un projecte es pugui dur a terme amb èxit. Aquesta viabilitat significa que es disposarà dels recursos necessaris en el moment que facin falta.

Les energies renovables amb el temps estan augmentant la seva eficiència, millorant així la seva rendibilitat econòmica. Si a més se li afegeix el fet que el preu de les energies tradicionals com els combustibles fòssils estan augmentant cada cop més el seu preu, resulta una opció molt considerable cada cop més l'ús d'energies netes.

Un dels inconvenients, econòmicament parlant, dels projectes d'energies renovables és que cal fer una molt forta inversió inicial. Tot i això, les instal·lacions d'energia solar solen tenir una vida útil de 25 anys en els quals hi haurà un estalvi molt gran d'ús de combustibles tradicionals i per tant un estalvi econòmic també important.

A continuació es realitzarà l'estudi de viabilitat econòmica per als dos escenaris plantejats durant el projecte, entre els quals l'únic que canvia és que en un el sistema de calefacció és mitjançant plaques solars tèrmiques i en l'altre és a partir d'una caldera de pèl·lets. En aquest estudi es compararan els escenaris plantejats amb la situació en què tota l'energia que requereix l'hotel provingués de la xarxa elèctrica. S'escull aquesta situació ja que el terreny no disposa de canalització de gas i per tant es pren l'energia elèctrica com a energia alternativa.

Per realitzar aquests estudis primer pas és analitzar els costos i ingressos o estalvis del projecte durant tot el cicle de vida d'aquest. Per determinar quin seria l'estalvi d'energia elèctrica que s'obtindria de realitzar aquest projecte primerament cal determinar les tarifes actuals del mercat. Consultant la tarifa d'electricitat de l'empresa Endesa per a una potència de 15 kW, que seria la necessària per a l'hotel, s'obté la següent taula:

Tarifa	Término de potencia (€/kW/mes)	Término de energía €/kWh		
		Punta	Llano	Valle
Tarifa 3.0.2 general potencia >15kW	2,048996	0,165604	0,133798	0,090852

Taula 6.1: Tarifa d'energia elèctrica de la companyia Endesa

Com es pot veure el preu de l'energia varia segons l'hora del dia en què es faci servir. A continuació es mostra quina és la distribució de les diferents franges horàries:

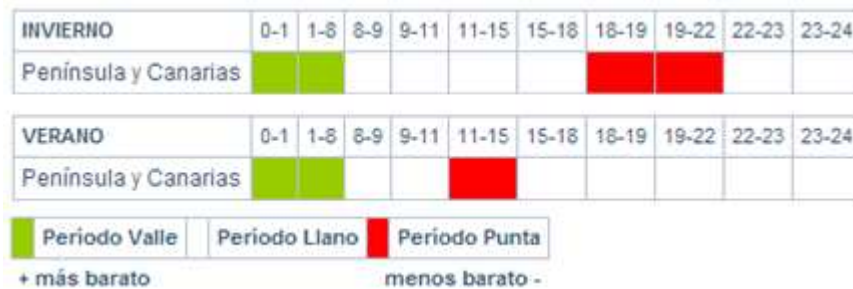


Figura 6.1: Franges horàries d'energia elèctrica

Per fer l'estudi d'energia es determinarà un preu mig de l'energia, considerant l'ús d'aquesta qualsevol hora del dia.

Franja horària	Hores diàries	Preu per kWh (€/kWh)	Preu mig (€/kWh)
Punta	4	0,165604	0,124784
Plana	12	0,133798	
Base	8	0,090852	

Taula 6.2: Càlcul del preu mig de l'energia elèctrica

Ara que ja es disposa del preu de la unitat d'electricitat ja es pot estudiar quina serà la inversió de cada tipus d'instal·lació i l'estalvi anual que suposarà.

Instal·lació de plaques solars tèrmiques per a aigua calenta sanitària

La inversió que fa referència únicament l'adquisició de les plaques solar tèrmiques és de 22260€, aquestes plaques proporcionen una energia anual de 60366 kWh. Si es consumís aquesta quantitat d'energia de la xarxa elèctrica suposaria el següent cost:

$$60366 \text{ kWh/any} \cdot \frac{0,124784 \text{ €}}{1 \text{ kWh}} = 7533 \text{ €/any}$$

Consultant altres projectes d'instal·lacions similars es pot veure que les plaques tèrmiques representen una mica més de la meitat de la inversió total de la instal·lació. Això és perquè també cal tenir en compte que hi ha altres elements com l'acumulador d'aigua, les canonades o el cost de mà d'obra. Per això, se suposarà que el cost de la inversió inicial suposarà el doble del cost de les plaques, és a dir, 44520 €.

També cal tenir en compte que anualment la instal·lació requereix un manteniment que suposarà un cost que orientativament és del 3% de la inversió inicial. Això representa aproximadament 1336€.

Per determinar l'estalvi cal considerar el cost que suposaria obtenir tota l'energia per escalfar l'aigua de la xarxa elèctrica. Si els 74081kWh que es requereixen anualment per escalfar l'aigua es consumissin de la xarxa elèctrica resultaria un cost de 9244€ a l'any. Si es té en compte el que s'estalvia amb l'energia solar i el manteniment de les plaques la inversió suposa un estalvi anual de 6197€.

A continuació es mostra un esquema que representa les despeses i els estalvis de cada any durant la vida útil de la instal·lació que són 25 anys.

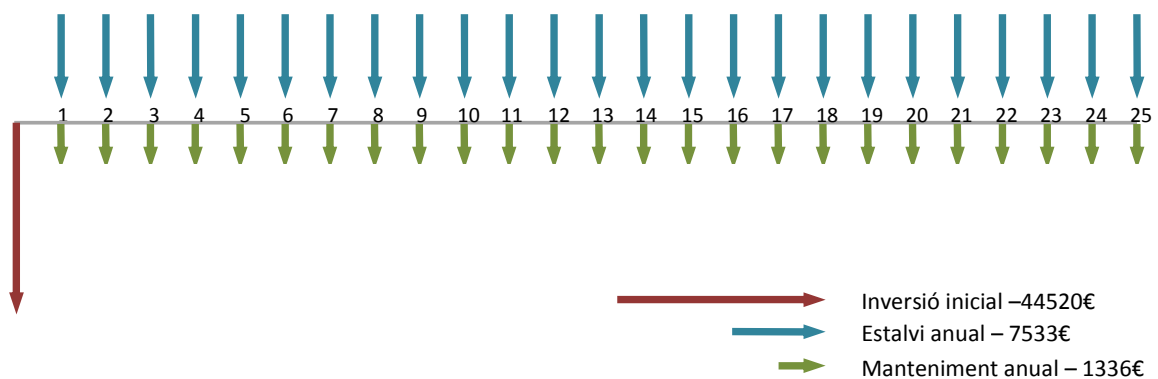


Figura 6.2: Esquema de les despeses i estalvis de la instal·lació d'aigua calenta sanitària

Instal·lació de calefacció

Per al cas de la calefacció s'han estudiat dos casos diferents. El primer seria a l'igual que en el cas de l'ACS instal·lar un conjunt de plaques solar tèrmiques que escalfaran l'aigua que posteriorment passarà per les canonades del sistema de terra radiant. Tot i ser una font 100% neta i sostenible té l'inconvenient que la demanda de calefacció no és constant, ja que es requereix més durant els mesos de fred, en què la radiació és més baixa que durant els mesos d'estiu quan la radiació solar és més favorable. Per tant, caldria realitzar una inversió molt gran per cobrir aquesta necessitat de calefacció i aquesta instal·lació tan sols seria usada uns quants mesos de l'any sent inútil la resta.

Per això s'ha fet un estudi d'un segon escenari amb una font de biomassa com són els pèl·lets, aquesta alternativa té l'avantatge que només es fa ús de la instal·lació quan es requereix i la resta de l'any no és inútil.

Escenari 1: Energia solar tèrmica amb el suport d'energia elèctrica

La inversió que suposa únicament l'adquisició de 18 plaques solars tèrmiques DS09-25S, amb un cost individual de 530€, que suposa un cost total de les plaques de 9540€, aquestes plaques proporcionen una energia útil anual de 14969 kWh. Si es consumís aquesta quantitat d'energia de la xarxa elèctrica suposaria un cost de 1868€.

A l'igual que en el cas de l'aigua calenta sanitària, se suposarà que el cost de la inversió inicial, que inclou, acumulador d'aigua, canonades, mà d'obra... suposarà el doble del cost de les plaques, és a dir, 19080€.

També amb el cost de manteniment es farà la mateixa aproximació i se li donarà un 3% de la inversió inicial. Això representa aproximadament 572€.

En cas que s'obtingués tota l'energia per a l'acondicionament tèrmic de la xarxa elèctrica suposaria un cost de 4162€ a l'any. Però, si es té en compte l'energia que s'obté de les plaques solars només es tindria que pagar 2294€. Tenint això en compte i el cost de manteniment s'obté un estalvi anual de 1296€.

Totes les despeses i estalvis generats durant la vida útil de la instal·lació es poden resumir en el següent esquema:

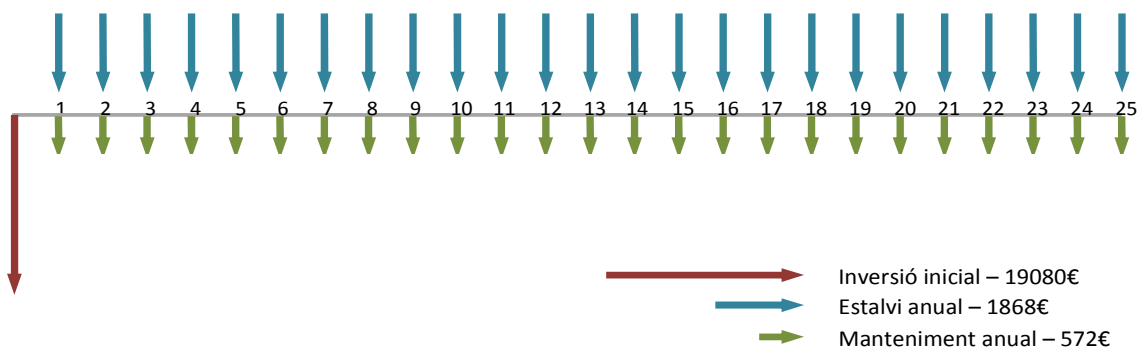


Figura 6.3: Esquema de les despeses i estalvis de la instal·lació de calefacció amb energia solar tèrmica

Escenari 2: Energia biomassa a partir de pèl-lets

En el cas de l'obtenció d'energia a partir de biomassa també és necessari fer una forta inversió de la caldera de pèl-lets. Consultant la empresa Hargassner (<http://www.hargassner.es>), pionera en el sector de calderes automatitzades, estimen una inversió inicial aproximadament de 35000€. Proposen també un cost de manteniment anual d' aproximadament el 3%, que representa 1050€.

Anualment, es requerirà un consum de pèl-lets aproximadament de 5418 kg per escalfar l'hotel. Considerant que el preu del pèl-let és de 0,25 €/kg, el cost anual del combustible serà aproximadament de 1355€. En aquest cas els pèl-lets aporten tota l'energia necessària per escalfar la casa i no cal usar l'electricitat.

Aquest sistema suposarà un estalvi anual de 28355kWh que si se subministressin de la xarxa elèctrica suposarien un cost anual de 3538€. Per tant, si s'usa la caldera de pèl-lets implica un estalvi anual de 1133€ l'energia que requereix la calefacció fos obtinguda amb electricitat.

Amb totes aquestes dades l'esquema que representa el consums es pot representar el esquema on es veuen reflectits els estalvis i les despeses d'aquest escenari:

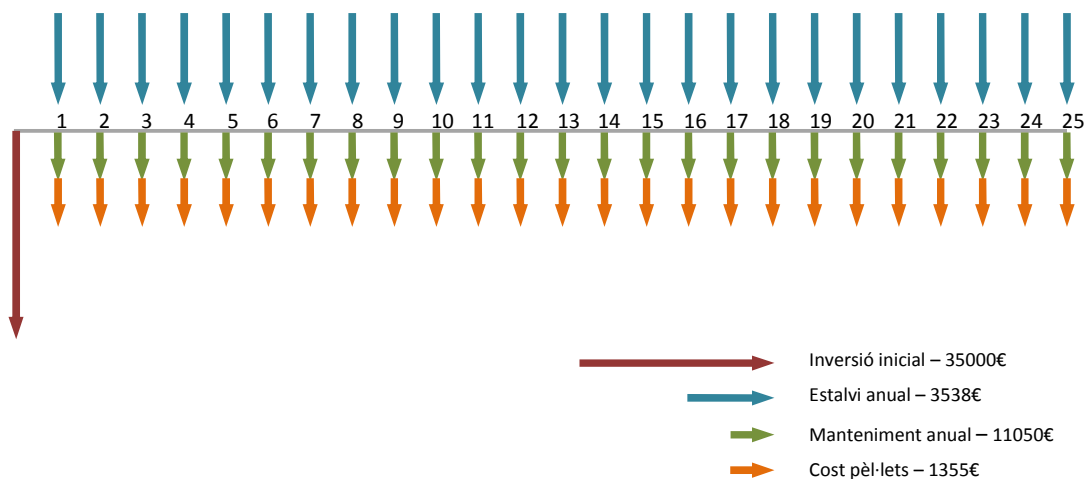


Figura 6.4: Esquema de les despeses i estalvis de la instal·lació de calefacció amb biomassa

Instal·lació de plaques solars fotovoltaïques per a l'electricitat

Per a aquesta instal·lació es requereixen 48 plaques solars fotovoltaïques YL245 que suposaran un cost total de 10043€, aquestes plaques produiran un 14248kWh d'energia

útil. De la mateixa manera que en les dues instal·lacions anteriors se suposarà que la inversió inicial és el doble que la de les plaques, és a dir, 20086€.

L'energia generada serà venuda a la xarxa elèctrica al cost que indica la normativa espanyola. Per fer-nos una idea es prendrà l'últim valor establert al Real Decreto Ley 9/2013, que és de 0,27374€/kWh, per tant s'obtindrà un benefici brut de 3900€. Per un altre costat aquesta energia serà també consumida i suposarà un cost de 1778€. Per tant és té un benefici net de 2122€ anualment.

El cost de manteniment se suposarà igual que en els altres casos d'un 3% i per tant representarà aproximadament 600€. Si es té en compte aquesta despesa el benefici anual serà de 1522€. L'esquema que representa totes les despeses i els beneficis es representa en el següent esquema:

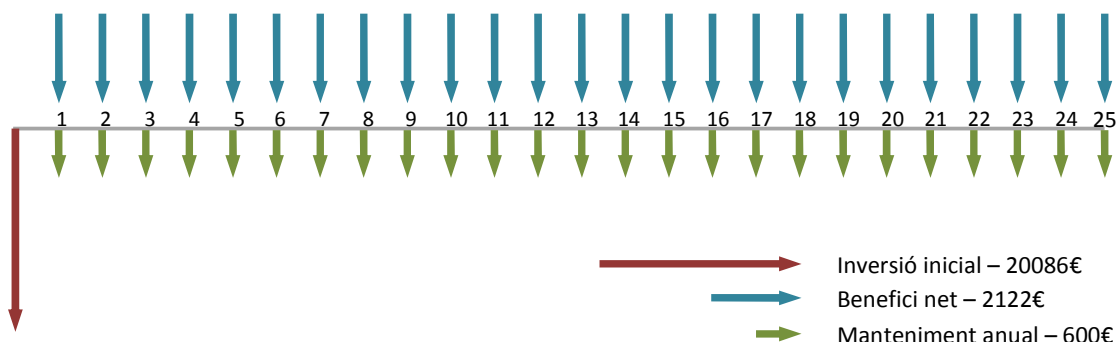


Figura 6.5: Esquema de les despeses i estalvis de la instal·lació d'energia elèctrica

Un cop s'han determinat quines són les despeses i els estalvis que suposa cada una de les instal·lacions es pot fer un quadre resum per facilitar els càlculs posteriors que serviran per estudiar la rendibilitat econòmica.

	Inversió inicial	Despesa anual	Estalvi anual	Benefici anual
Instal·lació ACS – Energia solar tèrmica	44520 €	1336 €	7533 €	6197 €
Instal·lació Calefacció – Energia solar tèrmica	19080 €	572 €	1868 €	1296 €
Instal·lació Calefacció – Biomassa (pèl·lets)	35000 €	2405 €	3538 €	1133 €
Instal·lació electricitat – Energia fotovoltaica	20086 €	600 €	2122€	1522 €

Taula 6.3: Inversió inicial, despeses anuals i estalvis anuals per a cada una de les instal·lacions

Subvencions

Donats els beneficis que suposa l'ús d'energies renovables per a la societat els governs aposten per la inversió en aquest tipus de font per als diferents subministraments. És per això que ofereixen subvencions per a aquells que decideixin invertir les energies netes. Anys enrere les subvencions que s'oferien eren moltes més que actualment, tot i això també segueixen sortint ajudes per aquells que es decideixen a optar per aquestes instal·lacions.

El projecte es realitzarà en un futur i per tant no se sap les subvencions que hi haurà en aquell moment. És per això que s'estudiarà la rendibilitat del projecte sense tenir en compte les subvencions de les que es podrà disposar. D'aquesta manera si el projecte surt rendible sense disposar d'ajudes, també ho serà si en un futur es pot comptar amb aquestes.

Rendibilitat econòmica

Seguidament ja es podrà començar a estudiar la rendibilitat, per això s'usarà el Valor actual net (VAN), es tracta d'un procediment que permet calcular el valor present d'un determinat fluxos de caixa futurs (ingressos o estalvis menys despeses), generats per una inversió.

El procediment consisteix en descomptar al moment actual tots els fluxos de caixa futurs. D'aquesta manera es poden donar tres situacions:

1. Si un projecte té $VAN > 0$, serà aconsellable realitzar-lo
2. Si un projecte té $VAN < 0$, no serà aconsellable realitzar-lo
3. Si un projecte té $VAN = 0$, serà indiferent realitzar-lo o no

La fórmula que permet calcular el Valor actual net és:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad \text{Eq. 6.1}$$

On,

F_t	Flux de caixa del període t
I_0	Valor de la inversió inicial
n	Nombre de períodes
i	Tipus d'interès

El tipus d'interès seria la aquell interès pel qual un inversor estaria disposat invertir els seus diners en aquest projecte i no en un altre. Per veure diferents escenaris es calcularà el valor actual net tenint en compte diferents tipus d'interès del 5% i el 7%, que són percentatges habituals de interessos d'inversions. Una altra dada fixa serà el nombre de períodes que es considera 25, ja que són els anys de vida útil que se li posen als panells solars i a la caldera de biomassa.

Per fer bé l'estudi caldria tenir en compte l'augment del preu de l'electricitat i de l'índex de preus de consum (IPC), però com el percentatge d'augment de l'IPC serà menor que el de l'electricitat, l'estalvi cada any serà major. Per tant, una opció per fer el pre-estudi és posicionar-se en una visió conservadora i no considerar aquests percentatges, de manera que si així el projecte surt rendible a la realitat també ho serà.

A continuació es calcularà el VAN per als dos escenaris estudiats

Escenari 1: Energia solar tèrmica amb el suport d'energia elèctrica

En aquest escenari la inversió inicial suposaria 83686€. El flux net anual és el mateix per a tots els períodes i és de 9015€. Ara que es disposa de totes les dades ja es pot calcular el VAN amb un tipus d'interès del 5%:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} - I_0 = \sum_{t=1}^{25} \frac{9015}{(1+0,05)^t} - 83686 = 43371$$

El fet que el VAN surti positiu indica que el projecte és rendible i que per tant té sentit fer-lo. Si repetim el procediment amb un tipus d'interès del 7% VAN surt de 21371€.

Escenari 2: Energia biomassa a partir de pèl-lets

En aquest escenari la inversió inicial suposaria 99606€. El flux net anual és el mateix per a tots els períodes i és de 8852€. D'aquesta manera ja es pot calcular el VAN amb un tipus d'interès del 5%:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} - I_0 = \sum_{t=1}^{25} \frac{8852}{(1+0,05)^t} - 99606 = 25154$$

Si es calcula el VAN amb un interès del 7% el resultat és de 3552€.

Es podrien dur a terme ambdós escenaris ja que el VAN surt positiu en, per tant això indica que són viables econòmicament els dos escenaris. De totes maneres el primer escenari en què la calefacció utilitza energia provinent dels panells solars el VAN és major i per tant la inversió és més rendible.

7. CONCLUSIONS

Després de realitzar l'estudi preliminar per abastir energèticament un hotel a la Cerdanya s'ha arribat a diferents conclusions:

Primerament, s'ha pogut veure que en la situació energètica actual és important buscar fonts alternatives als combustibles fòssils. Arribats a aquest punt la millor solució és la tria de les energies renovables, com l'energia solar, que d'entre totes les seves propietats es pot destacar per ser una font neta, inesgotable i gratuïta.

Després de fer els estudis per a les diferents instal·lacions, utilitzant el sol com a energia, es poden destacar diversos comentaris per a cada subministrament.

Per a la instal·lació d'aigua calenta sanitària la solució que s'ha decidit és capaç de subministrar un 81,5% de tota l'energia necessària per escalfar l'aigua, complint així els requisits que indicava la normativa, tant a nivell autonòmic com estatal.

La instal·lació de calefacció amb energia solar tèrmica no ha generat tan bons resultats com el cas anterior, això és perquè el consum de calefacció està centrat en els mesos d'hivern en què la radiació solar és pitjor que a l'estiu. Utilitzant aquest sistema per obtenir l'acondicionament tèrmic el resultat és un subministrament del 45% de l'energia. Tot i que en aquest aspecte la normativa no indica requisits s'ha considerat un percentatge baix i per això s'ha fet l'estudi alternatiu d'utilitzar una caldera de biomassa. L'avantatge que suposa l'alternativa és que només es fa ús de la instal·lació quan es requereix calefacció.

Per últim, la instal·lació de plaques solars fotovoltaïques per al subministrament d'energia elèctrica s'ha realitzat amb el criteri d'ocupar l'espai sobrant. D'aquesta manera l'energia obtinguda suposa un 47% de l'energia elèctrica necessària.

Ambientalment, es considera que totes les solucions que s'han aportat per subministrar l'energia necessària, tant la font solar com de biomassa suposen un impacte ambiental menor que si la font utilitzada fos energia elèctrica. Tant és així, que l'estalvi d'emissions de CO₂ que es preveu és d'entre 60 i 70 tones anualment.

Finalment, l'estudi econòmic indica que els dos escenaris plantejats, tant si la calefacció funciona amb energia solar com si funciona amb biomassa, el projecte és econòmicament viable donat l'estalvi que a la llarga suposa la inversió. De totes maneres, l'escenari en què l'acondicionament es dona amb una caldera la pèl·lets la contaminació atmosfèrica és menor per tant, és una solució més sostenible, essent la rendibilitat econòmica també positiva. Per tant, és l'alternativa escollida per realitzar el projecte.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] GENERALITAT DE CATALUNYA, *Energia solar tèrmica*, Col·lecció quadern pràctic Número 3. Barcelona, 2009
- [2] GENERALITAT DE CATALUNYA, *Energia solar fotovoltaica*, Col·lecció quadern pràctic Número 4. Barcelona, 2011
- [3] GENERALITAT DE CATALUNYA, *Atlas de radiació solar a Catalunya*. Barcelona, 2001
- [4] DOCAMPO REY, PABLO y GARCÍA CASAL, WALTHER, *Guía práctica de energía solar*. A Coruña, 2006
- [5] GENERALITAT DE CATALUNYA, *Les energies renovables a Catalunya*. Barcelona, 1997.
- [6] CUSA RAMOS, JUAN DE. *Energia solar para viviendas*. Barcelona, 2004.
- [7] CONAIF. *Manual de calefacción por suelo radiante*. Madrid, 2007.
- [8] CARNICER ROYO, ENRIQUE. *Calefacción: cálculo y diseño de las instalaciones*. Madrid, 2001
- [9] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). *Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas. Información y consejos para las comunidades de vecinos*. Madrid 2008.
- [10] *Código técnico de la edificación*. Madrid, 2010
- [11] *Decret d'ecoeficiència*. Barcelona, 2006
- [12] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). *Guía técnica. Contabilización de consumos*. Madrid, 2007