

ENERGIA SOLAR

PROJECTE D'UNA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA



Treball de recerca 2017-2018

Marc Vernet Sancho

2n Batxillerat C

Institut Salvador Vilaseca

ÍNDIX

Pròleg.....	1
Introducció.....	2
L'ENERGIA FOTOVOLTAICA	
1. L'energia del Sol.....	4
1.1 El Sol.....	4
1.2 Radiació electromagnètica.....	5
1.3 Radiació Solar.....	6
2 Tecnologia Solar.....	7
2.1 Energia fotovoltaica.....	7
2.2 Energia Solar a Espanya.....	9
2.3 Funcionament de la tecnologia fotovoltaica.....	10
2.4 Instal·lació fotovoltaica.....	12
CONSUM DE L'HABITATGE	
3 Descripció del projecte.....	15
4 Consum detallat.....	17
4.1 Fonts de consum constants.....	17
4.2 Fonts de consum variables.....	18
4.3 Consum final.....	21
RADIACIÓ	
5 Equacions pel càlcul de la radiació.....	24
5.1 Radiació.....	25
5.2 Radiació directa sobre un pla inclinat.....	25
5.3 Radiació difusa des de l'atmosfera.....	29

5.4 Radiació reflectida del terra.....	31
5.5 Variables.....	31
6 Excel pel càlcul de radiació.....	33
6.1 Radiació anual.....	39
6.2 Radiació per dia.....	40
6.3 Comparació de l'angle d'inclinació.....	41
6.4 Validació dels resultats.....	43
7 Radiació per l'habitatge.....	44

VIABILITAT

8 Dimensionat de la instal·lació.....	48
9 Cost i amortització.....	56
Conclusió.....	59
Agraïments.....	59
Webgrafia.....	62
Bibliografia.....	63

ANNEX

1 Plànols de l'habitatge.....	65
2 Codi del programa de Visual Basic.....	66
3 Fulls d'especificacions.....	70

PRÒLEG

Per fer aquest treball de recerca vaig decidir escollir una temàtica de tecnologia, ja que sóc un estudiant del batxillerat tecnològic i en un futur tinc pensat estudiar alguna carrera universitària d'enginyeria.

Després de plantejar-me diferents opcions, vaig acabar decidint-me per fer el treball sobre l'energia solar. És un tema que sempre m'ha interessat, crec que l'ús d'energies renovables i en especial de l'energia solar és important pel futur.

Tot i això, en iniciar el treball no coneixia gaire els aspectes tècnics d'una instal·lació fotovoltaica, per això també tenia curiositat per saber si seria possible dissenyar la instal·lació per aconseguir que l'habitatge del treball fos independent a la xarxa elèctrica.

Mentre desenvolupava el treball em vaig donar compte de que els càlculs necessaris eren molt més complexos del que m'esperava. Per això vaig acabar decidint desenvolupar un programa informàtic per realitzar els càlculs, que ha acabat esdevenint una de les parts principals del projecte. Aquest programa es pot descarregar seguint el següent enllaç:

<https://www.dropbox.com/s/579jkd2kv7fx6ib/RadiacioSolar.xlsm?dl=0>

INTRODUCCIÓ

En aquests últims anys, s'ha originat un moviment a favor de les energies renovables. Aquest moviment, provocat per la visió pública del canvi climàtic i els problemes mediambientals, ha provocat un ràpid augment en la inversió i el desenvolupament de les energies renovables.

Aquestes noves fonts d'energia són cada cop més eficients i suposen una alternativa més viable a les fonts d'energia tradicionals. Una de les més destacables és l'energia solar; la quantitat d'energia que arriba des de el Sol és immensa, només fa falta utilitzar-la. Les instal·lacions fotovoltaiques comencen a ser un element quotidià en les nostres ciutats, però encara no estan del tot incorporades.

En aquest projecte es plantejarà una instal·lació fotovoltàica en un habitatge real per que sigui independent de la xarxa elèctrica. L'objectiu és poder analitzar si realment és possible tenir habitatges amb una producció energètica pròpia.

Per poder conèixer si el projecte és viable, es calcularà l'energia que requereix l'habitatge i l'energia que proporciona el sol. D'aquesta manera al comparar els resultats es podrà conèixer la superfície de plaques solars necessària i saber si es viable la seva instal·lació.

A més a més, per poder calcular la radiació solar amb més facilitat he programat un document d'Excel que realitza diferents càlculs relacionats amb la radiació.

L'ENERGIA FOTOVOLTAICA

1. L'ENERGIA DEL SOL

1.1. El sol

El sol es va crear a partir d'una nebulosa formada principalment per hidrogen i heli. Aquesta nebulosa es va comprimir fins que les grans pressions i l'augment de temperatura van fer possibles la fusió nuclear. Va aparèixer fa 4650 milions d'anys i encara tardarà aproximadament 7500 milions d'anys més en consumir tot l'hidrogen del seu interior. En arribar aquest moment, el sol s'expandirà i es convertirà en una gegant vermella.

El sol té unes 109 vegades el diàmetre de la terra i 330000 vegades la seva massa. Es troba a $1'496 \times 10^8$ km de distància de la Terra, està format principalment per hidrogen (73%) i heli (25%).

L'energia que alimenta el Sol s'origina al nucli a partir d'una reacció termonuclear (reacció nuclear que allibera energia en forma de partícules o radiació electromagnètica). Aquesta reacció és la fusió nuclear de l'hidrogen. En aquest procés, el deuteri (^2H) es fusiona amb el triti (^3H), formant Heli4 (^4He). Per tal que la fusió sigui possible cal superar la força electrostàtica que repel·leix els isòtops. Aquesta força és contrarestada per la força nuclear forta (força responsable de mantenir units els protons i neutrons del nucli dels àtoms). En el nucli d'una estrella es pot donar la fusió gràcies a les grans pressions que hi ha.

Si dos isòtops suficientment lleugers es fusionen formaran un nucli que tindrà menys massa que la suma dels dos originals. Seguint la fórmula d'equivalència entre massa i energia d'Einstein la diferència de massa s'alliberarà com a energia en forma de fotons.

La quantitat de matèria transformada en energia és el 0'7% de la matèria total involucrada en la fusió. Això són 4'26 milions de tones per segon, que generen

$3'846 \times 10^{26}$ W. L'energia en forma de fotons es desplaça des del nucli cap a l'exterior per convecció ja que la temperatura de la capa superior (5772 K) és més baixa que la temperatura del nucli ($1'57 \times 10^7$ K). En arribar a la capa superior, l'energia es desplaça cap a totes direccions en forma de radiació electromagnètica¹

1.2. Radiació electromagnètica

La radiació electromagnètica és un conjunt d'ones electromagnètiques que es desplacen per l'espai a la velocitat de la llum transportant energia. Una ona electromagnètica està formada per un camp elèctric i un camp magnètic situats perpendicularment (*fig.1*).

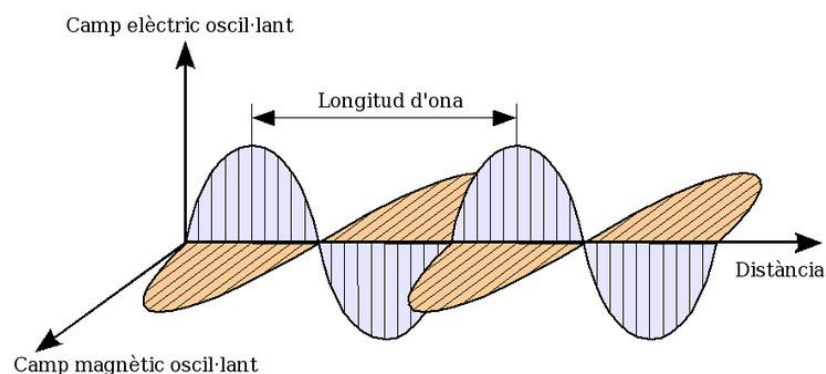


fig.1 Camp electromagnètic

Segons la longitud d'ona la radiació pot ser de diferents tipus i tenir propietats diferents. El ventall complet de longituds d'ona s'anomena espectre electromagnètic. (*fig.2*)

La llum visible també està composta per ones electromagnètiques, i el seu color depèn de la longitud d'ona. La majoria de mitjans de comunicació moderns funcionen gràcies a les ones electromagnètiques. En algunes parts de l'espectre podem trobar:

¹ Dades obtingudes de: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Sol> 9/10/2017

- Ones de ràdio
- Microones
- Radiació infraroja
- Llum visible
- Radiació ultraviolada
- Raigs X
- Radiació gamma

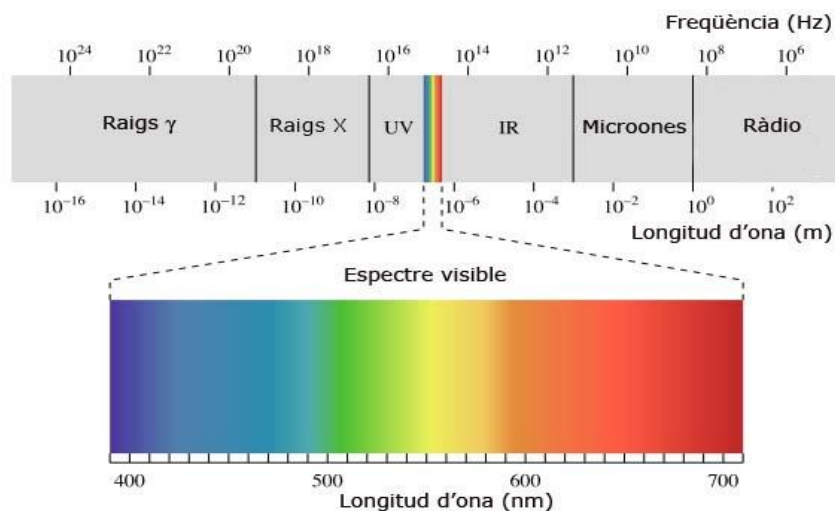


fig.2 Espectre electromagnètic

1.3. Radiació solar

El 99% de la radiació emesa pel sol es troba entre les longituds d'ona de 0'15 μm i 4 μm . L'atmosfera de la Terra, gràcies a la capa d'ozó, bloqueja la radiació amb longituds d'ona inferiors a 0'29 μm . Això ens permet protegir-nos de la radiació ultravioleta que és la més perjudicial per la salut.

L'atmosfera terrestre també és opaca a la radiació de longitud d'ona superior a 24 μm , la radiació infraroja. L'energia solar té un efecte de motor de l'atmosfera, ja que a l'escalfar més unes parts que d'altres provoca canvis de densitat en els gasos que originen la circulació atmosfèrica².

² Dades obtingudes de: https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar 9/10/2017

2. TECNOLOGIA SOLAR

L'energia solar es considera una font d'energia renovable, per la quantitat immensa d'energia que proporciona el Sol i perquè no contamina. Es pot transformar en energia tèrmica o elèctrica. L'energia solar tèrmica és aquella en que s'aprofita la radiació solar per produir calor. Aquests sistemes funcionen mitjançant un col·lector amb un circuit d'aigua o algun altre fluid que s'escalfa amb la radiació incident. N'hi ha de baixa temperatura d'us domèstic i d'alta temperatura que s'usen per crear vapor a partir del qual es genera energia elèctrica. L'energia solar fotovoltaica permet crear energia elèctrica a partir de la radiació solar gràcies a una cèl·lula fotovoltaica.

2.1. Energia fotovoltaica

L'energia fotovoltaica s'obté amb cèl·lules fotoelèctriques, que es troben en panells solars. Els panells es poden instal·lar al terra, sobre superfícies inclinades com ara teulades, o estar integrades en parets d'edificis.

L'efecte fotovoltaic que permet el funcionament de les cèl·lules fotoelèctriques va ser descobert el 1839 i la primera cèl·lula va ser dissenyada al 1883. No va ser fins al 1954 que es van començar a desenvolupar cèl·lules de silici amb un rendiment suficientment elevat com per poder ser utilitzades eficientment.

Des de la popularització de les plaques solars al 2007 els preus han baixat dràsticament, això a permès que instal·lacions domèstiques siguin possibles. L'energia fotovoltaica permet un abastiment d'energia descentralitzada, és a dir, que es pot produir allà on és consumida i per tant no necessita una infraestructura de transport. Aquesta característica és molt útil en zones rurals aïllades o zones en desenvolupament. La versatilitat de les plaques solars

permet que es puguin integrar en diferents màquines i dispositius per tal de fer-los autònoms i no necessitar una font d'energia externa.

A mitjans de l'any 2017 la potencia instal·lada a escala global estava al voltant de 390GW, que representa l'1% de la demanda elèctrica mundial. Gràcies a la inversió de països com Alemanya, Xina o Estats Units l'energia solar s'ha convertit en la tercera font d'energia renovable més important després de l'energia eòlica i l'energia hidroelèctrica. L'augment de l'ús de l'energia fotovoltaica és exponencial, i creix molt ràpidament, considerant que abans del 2007 gairebé no n'hi havia ús(*fig.3*). Es preveu que en el futur, l'energia solar fotovoltaica passarà a ser la font d'energia primària per als éssers humans

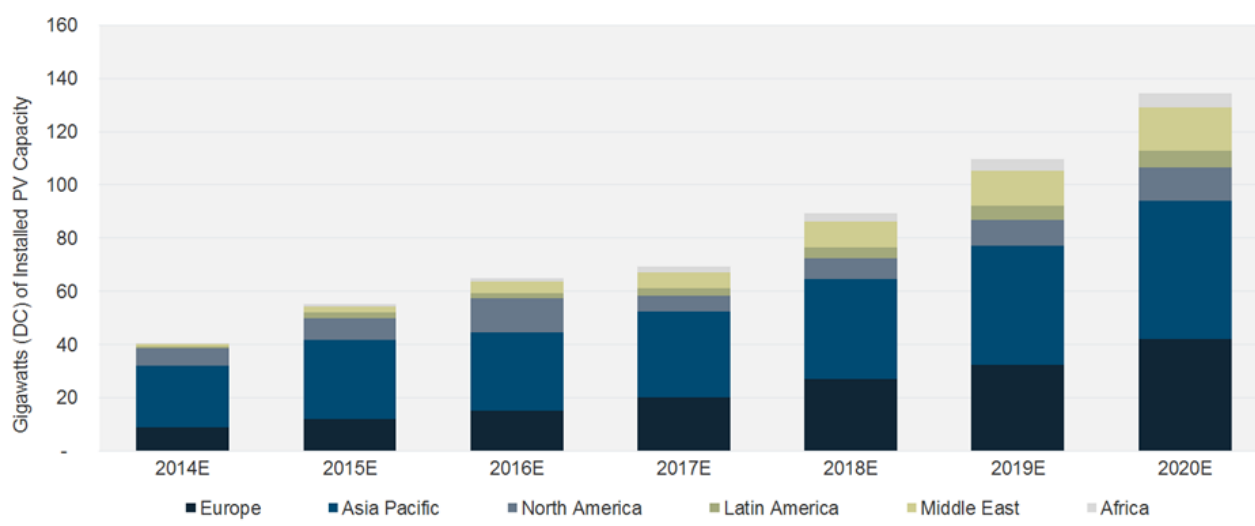


fig.3 Gw instal·lats anualment i previsió fins l'any 2020

El principal avantatge de l'energia fotovoltaica és la gran abundància d'energia que ens arriba des del Sol, i que fa que sigui l'energia renovable que permet obtenir més energia per metre quadrat. Els panells solars no emeten cap tipus de contaminació i tenen una vida útil molt elevada. Actualment els panells fotovoltaics tenen una vida útil d'entre 20 i 25 anys, després d'aquest període el seu rendiment va disminuint.

El principal inconvenient d'aquest tipus d'energia és la fabricació del panell solar, que es tracta d'un procés molt complicat en el que es necessiten una gran varietat de minerals, l'extracció dels quals pot suposar problemes

mediambientals. A més a més, el silici, que és el material principal, no es pot trobar en estat pur a la natura i s'ha d'obtenir a partir d'un procés complex que requereix molta energia. Per aquestes raons el preu de la tecnologia fotovoltaica segueix sent elevat, fent que moltes vegades la inversió inicial en una instal·lació fotovoltaica sigui massa elevada³.

2.2. Energia solar a Espanya

En els últims 5 anys el cost de la instal·lació de sistemes fotovoltaics s'ha reduït un 80%. El cost de producció d'energia, per tant, també s'ha reduït: de 287 €/MWh al 2009 a 111€/MWh al 2009³. Tal i com es pot veure en el mapa (fig.4), Espanya és una de les zones amb més radiació d'Europa. L'any 2008 Espanya va ser el segon país d'Europa en nombre d'instal·lacions de plaques solars, però al 2015 va desaparèixer de la llista dels deu països europeus més favorables a l'energia solar. L'energia solar ha patit un retrocés a Espanya en els últims anys que contrasta amb l'increment que ha tingut en la majoria de

països. Durant el 2007 el govern espanyol va animar a ciutadans i empreses a invertir en energia fotovoltaica. Es volia aconseguir que pel 2010 el 29,4% del consum energètic provingués d'energia solar. El govern va prometre diferents subvencions de tal manera que les inversions es van disparar. A finals del 2008 la potencia instal·lada multiplicava per 10 les previsions.

Per tal de regular l'energia solar, l'any 2010 el govern va aplicar un nou decret que establia accions per

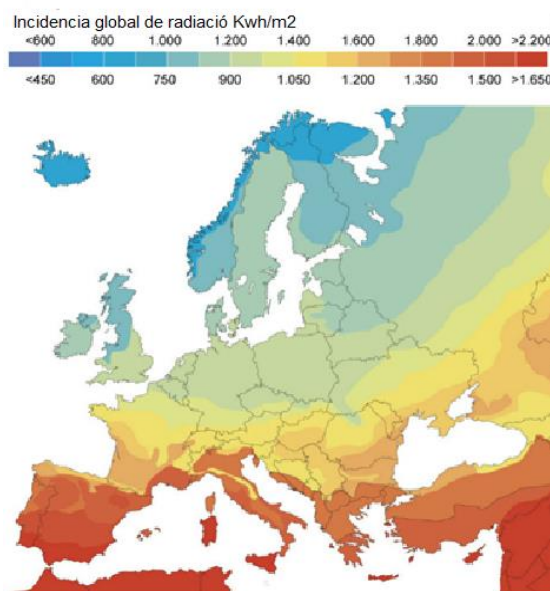


fig.4 Mapa de radiació solar

³ Dades obtingudes de: <http://www.lavanguardia.com/natural/20161205/412343713969/energia-solar-baja-costes-un-80.html> 18/10/2017

la correcció del dèficit tarifari del sector elèctric. Es van reduir les subvencions fins al 45% en alguns casos, fent que la majoria d'instal·lacions passessin a ser inviables, i frenant el desenvolupament d'energia fotovoltaica a Espanya indefinidament.

Amb la publicació del Decret d'autoconsum⁴ l'octubre del 2015, el desenvolupament d'instal·lacions d'autoconsum s'ha reduït molt. Aquest decret imposa unes condicions molt dures a les instal·lacions domèstiques que disposin d'un sistema d'energia solar i que estiguin connectades a la xarxa elèctrica. Les instal·lacions que estan menys limitades són aquelles que són independents de la xarxa elèctrica⁵. També està previst la aplicació de l'impost al sol per instal·lacions amb una potència superior a 10kW. D'aquesta manera l'energia produïda amb sistemes autònoms s'encareix de forma injustificada fent que molts projectes passin a ser inviables.

2.3. Funcionament de la tecnologia fotovoltaica

El principi bàsic de funcionament d'una cèl·lula fotovoltaica consisteix en un material semiconductor en el que els fotons arrenquen electrons, creant forats. En un estat natural, els electrons tornarien al seu lloc corresponent, però si es desplaça els electrons i els forats cap a costats oposats es genera una diferència de potencial. 20/10/2017

Una cèl·lula fotovoltaica està formada principalment per dues capes de silici, la capa superior "N" i la capa inferior "P". A la capa N hi ha un nombre d'electrons lliures més elevat. En el moment de la unió de les dos capes, els electrons de la capa N es recombinen amb els forats de la capa P. D'aquesta manera la capa N sempre serà positiva, ja que li falten electrons i la capa P sempre serà negativa, perquè els forats s'han omplert. En tancar-se la unió, es formarà un camp elèctric, que només permetrà el flux d'electrons en una direcció, de P a N (*fig.5*).

4 <https://www.boe.es/boe/dias/2015/10/10/pdfs/BOE-A-2015-10927.pdf> 20/10/2017

5 <http://www.elmundo.es/economia/2017/03/13/58c11c3522601da3218b45e8.html> 20/10/2017

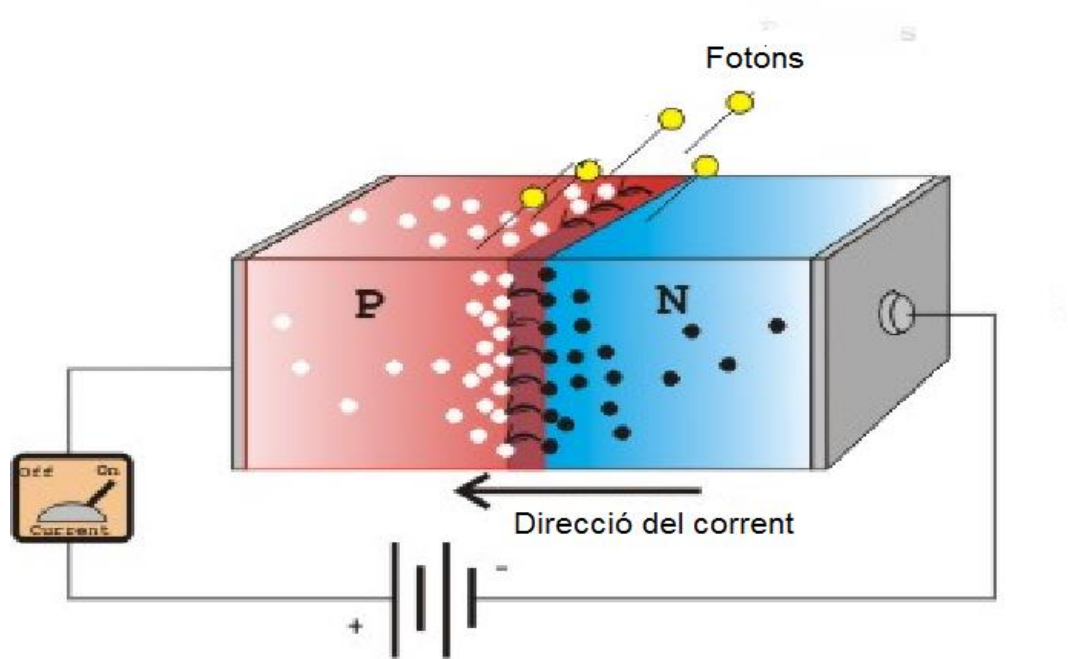


fig.5 Unió P-N

La cèl·lula fotovoltaica té un contacte superior i inferior, per on passa el corrent elèctric i una capa antireflectant per absorbir el màxim de llum possible. Els tipus de cèl·lules fotovoltaïques més utilitzats en l'actualitat són les cèl·lules de silici amorf, les de silici monocristal·lí i les de silici policristal·lí.

Les cèl·lules de silici amorf, van ser els primers models en produir-se. Són les que utilitzen instruments com calculadores o rellotges, ja que és poc costosa. Tenen un rendiment molt baix i que decreix amb el temps. Les cèl·lules de silici monocristal·lí s'elaboren a partir d'un únic cristall de silici. La relació entre potència generada i superfície és molt bona. El cost és més elevat. Les cèl·lules de silici policristal·lí, s'elaboren a partir de diferents cristalls. Tenen una eficiència una mica menor que les cèl·lules monocristal·lines però tenen l'avantatge que tenen forma quadrada, i per tant és més fàcil integrar-los en mòduls.

2.4. Instal·lació fotovoltaica

Les cèl·lules fotovoltaiques es combinen per formar mòduls, les plaques solars (*fig.6*).

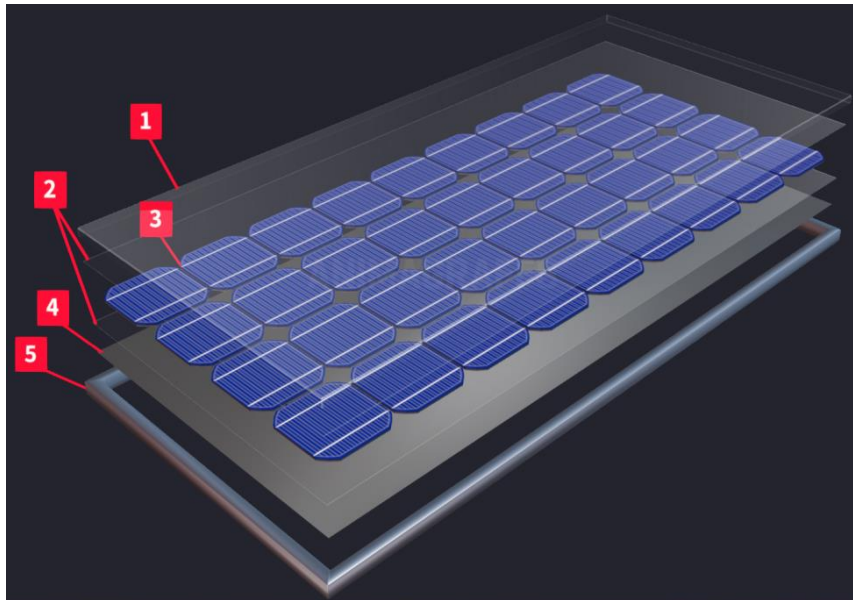


fig.6 placa solar amb els seus components

Els components d'una placa solar són:

1. Capa superior de vidre: protegeix les cèl·lules fotovoltaiques de les inclemències meteorològiques.
2. Encapsulant: capes adhesives que aïllen les cèl·lules fotovoltaiques de l'exterior, per evitar-ne el deteriorament.
3. Cèl·lules fotovoltaiques
4. Capa negra: situada a la part inferior, és impermeable i evita que la calor solar traspassi.
5. Marc d'alumini: uneix tots els elements i els aporta rigidesa.

Una instal·lació de plaques solars, necessita uns quants complements per tal de que l'energia pugui ser utilitzada (fig.7):

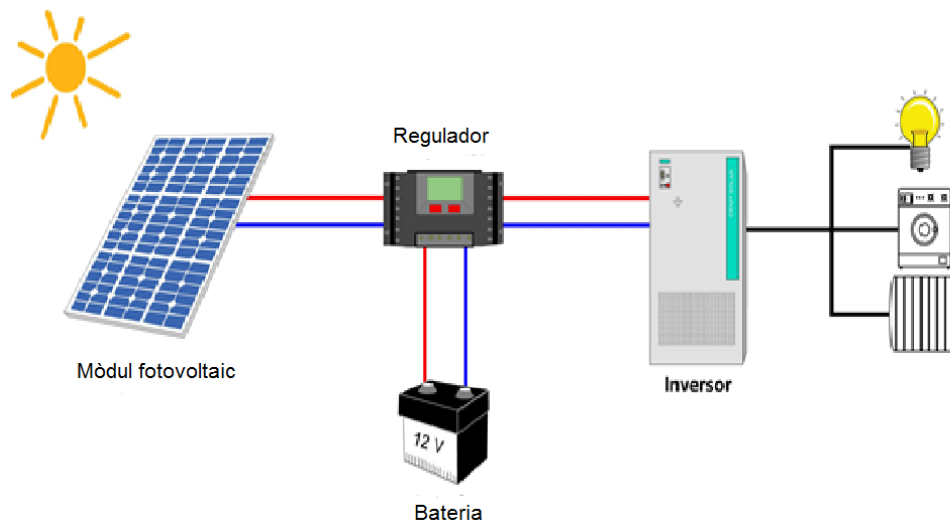


fig.7 Instal·lació fotovoltaica d'autoconsum

- Bateria. La necessitat d'energia no sempre coincideix amb el moment en el que es capta aquesta energia. Per això es necessita un sistema d'emmagatzematge que permeti acumular els excedents de producció energètica. La mida de la bateria s'ha de calcular perquè permeti assegurar energia per a entre 2 i 5 dies de consum domèstic.
- Inversor. Les plaques solars generen energia de corrent continu i la que es consumeix en un habitatge és de corrent altern. La funció de l'inversor és transformar el corrent continu en corrent altern.
- Regulador de carrega. El regulador és un instrument que controla els processos de carrega i descàrrega de la bateria. Evita que un cop la bateria està plena es segueixi injectant corrent. També evita que la bateria es descarregui fins a nivells molt baixos. Amb la regulació de la intensitat de carrega evita sobrecarregues i sobredescàrregues que reduirien la vida útil de les bateries. També és una font d'informació de paràmetres com la tensió, intensitat i estat de càrrega de les bateries.

CONSUM DE L'HABITATGE

3. DESCRIPCIÓ DEL PROJECTE

En aquesta secció es descriu l'habitatge en el que es vol fer una instal·lació fotovoltaica d'autoconsum i es calculen les seves necessitats energètiques anuals.

L'habitatge on es farà la instal·lació fotovoltaica es troba a la població de Marçà, al Priorat. El clima és mediterrani amb una temperatura mitjana anual de 15°C. Les precipitacions anuals són més aviat escasses, d'entre 500 i 700 mm; per tant el clima és sec i hi hauran més hores de sol.

És una casa unifamiliar de tres plantes. La planta baixa consisteix principalment en el garatge i la segona planta son les golfes. La primera planta és la més utilitzada diàriament, i per tan és la que tindrà un consum elèctric major. La instal·lació elèctrica de la casa està pensada per tal de que pugui estar habitada durant tot l'any per dos persones, amb tots els electrodomèstics necessaris, il·luminació i una bomba de calor que fa les funcions d'aire condicionat i calefacció. Addicionalment es podria incloure un sistema d'escalfament d'aigua que funcioni amb la calor dels rajos solars que arriben a la teulada, encara que això no està estudiat en aquest treball. A l'annex I es poden consultar els plànols de l'habitatge.

La superfície de cada planta és aproximadament 80 m², però l'única planta que realment és habitada contínuament és la segona planta, on hi ha la majoria d'electrodomèstics i per la qual es calcularà el consum de la bomba de calor.

La teulada té una superfície de 80 m², i no té edificis al voltant que siguin més alts i que per tant puguin fer ombra. La teulada té una inclinació d'entre 10 i 20 graus (*fig.8*).



fig.8 Superfície de la teulada

L'objectiu del projecte és que les plaques solars proporcionin suficient energia per tal que l'habitatge sigui independent a la xarxa elèctrica. Però com que l'espai per instal·lar plaques solars és limitat (80m^2) és possible que no es pugui cobrir tota la demanda energètica, en aquest cas haurà de ser una instal·lació connectada a la xarxa. Si la instal·lació està connectada a la xarxa es podrà calcular el percentatge d'energia que s'estalvia amb les plaques solars.

Annex I: Plànols de l'habitatge

4. CONSUM DETALLAT

El consum elèctric en un habitatge no és constant al llarg de l'any, hi ha mesos en que és més gran que d'altres. Això depèn d'elements com per exemple l'aire condicionat, que només s'utilitza duran una època de l'any. Per tal de fer un càlcul aproximat del consum de cada mes, les diferents fonts de consum estan dividides entre les que són constants durant tot l'any i les que varien.

4.1. Fonts de consum constants

En un domicili hi ha una sèrie d'electrodomèstics que al llarg de l'any s'utilitzen de forma més o menys constant i que per tant el consum elèctric que representen serà constant per cada mes. L'estimació d'hores de consum està feta a partir de l'observació en situacions reals. El consum elèctric d'un electrodomèstic es pot aproximar multiplicant la seva potència en Watts pel temps de consum en hores. (Taula 1)

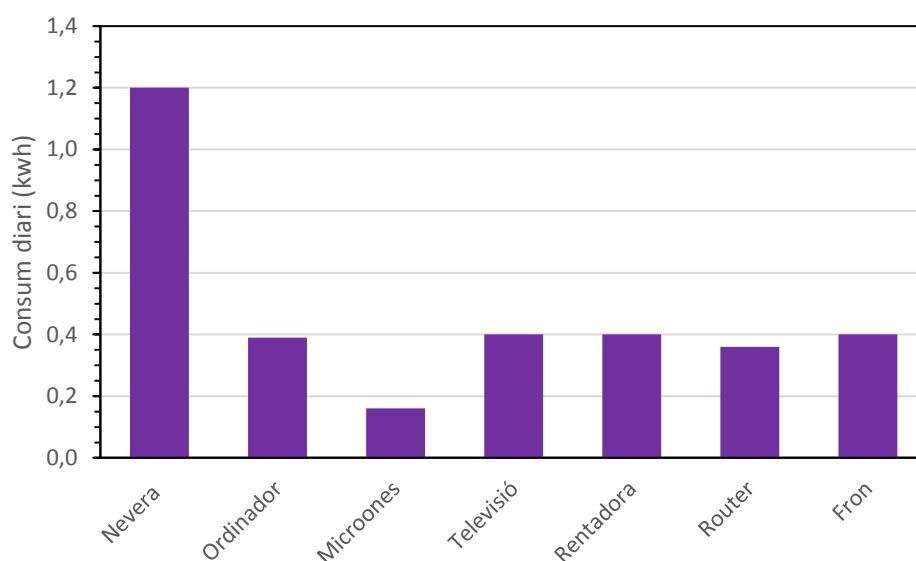


fig.9 Consum dels electrodomèstics

Taula 1 Consum elèctric d'electrodomèstics

	Unitats	Potència (W)	Ús diari (h)	Consum diari (kWh)
Nevera	1	150	8*	1'2
Ordinador	1	130	3	0'39
Microones	1	800	0'2	0'16
Televisió	1	100	4	0'4
Rentadora	1	1200	0'5	0'4
Router	1	15	24	0'36
Forn	1	800	0'5	0'4

TOTAL: 3'31 kWh

* Encara que una nevera estigui en funcionament les 24 hores del dia, el compressor només funciona durant un terç del temps.

4.2. Fonts de consum variables

Com a fonts de consum variables únicament es consideren la il·luminació i l'ús de la bomba de calor.

Les hores d'il·luminació artificial necessàries es poden calcular fent una suposició a partir de les hores de sortida i posta del sol (Taula 2). Després d'obtenir les hores de posta i sortida del sol a Tarragona⁶, s'elabora una mitjana mensual. Les dades de posta i sortida del sol són de Tarragona perquè és el punt més proper on hi ha un registre de dades, tot i així, la variació és molt petita. La casa s'utilitza entre les 7.00h del matí i les 23.00h de la nit.

D'aquesta manera, la diferència entre aquestes hores i les de posta i sortida del sol es poden considerar com les hores en que es requereix il·luminació artificial. Les dades de les taules estan en hores, i els decimals representen els minuts de forma decimal.

⁶ <http://astronomia.ign.es/hora-salidas-y-puestas-de-sol> 12/11/2017

Taula 2 Hores d'il·luminació

	Sortida del sol	Posta del sol	Hores d'il·luminació artificial
Gener	8'21	17'88	6'35
Febrer	7'8	18'45	7'35
Març	7'28	19	4'28
Abril	7'26	20'58	2'68
Maig	6'65	21'1	1'9
Juny	6'38	21'43	1'56
Juliol	6'61	21'36	1'63
Agost	7'8	20'85	2'23
Setembre	7'58	20'05	3'53
Octubre	8'11	19'25	4'86
Novembre	7'7	17'65	7'05
Desembre	8'16	17'51	7'65

A l'habitatge hi ha 19 punts d'il·luminació. D'aquests, només 10 s'utilitzen sovint, ja que pertanyen a habitacions molt utilitzades (menjador, lavabo, cuina), el consum d'aquets punts d'il·luminació es calcularà a partir de les hores calculades a la taula anterior. Els altres 9 punts d'il·luminació pertanyen a habitacions molt poc utilitzades (garatge, golfes) i per tant considerarem que s'utilitzen 0'5h al dia, independentment de l'època de l'any. La il·luminació més utilitzada és de tipus LED de baix consum, amb una potència mitjana de 15W. La resta és de tipus convencional de 40W. (Taula 3)

Taula 3 Consum de la il·luminació

	Alt Consum				Baix Consum				TOTAL (kWh)
	Ús diari (h)	Potència (W)	Unitats	Energia diària (w·h)	Ús diari (h)	Potència (W)	Unitats	Energia diària (w·h)	
Gener	0'5	40	9	180	6'35	15	10	952'5	1'1325
Febrer					7'35			1102'5	1'2825
Març					4'28			642	0'822
Abril					2'68			402	0'582
Maig					1'9			285	0'465
Juny					1'56			234	0'414
Juliol					1'63			244'5	0'4245
Agost					2'23			334'5	0'5145
Setembre					3'53			529'5	0'7095
Octubre					4'86			729	0'909
Novembre					7'05			1057'5	1'2375
Desembre					7'65			1147'5	1'3275

La bomba de calor és una màquina tèrmica que transporta calor en contra del gradient tèrmic. Funciona amb un fluid que absorbeix calor d'un punt i la transporta a un altre punt a partir de comprimir i expandir aquest fluid, per això és capaç de proporcionar fred o calor. Una bomba de calor té una potencia de consum diferent segons si s'utilitza per escalfar o per refredar. La potència per escalfar és sempre més baixa, ja que es pot utilitzar la calor creada pel motor del compressor per facilitar el procés.

En aquest cas utilitzarem les següents potències (*Taula 4*):

$$P_{calor} = 1'18kW$$

$$P_{fred} = 1'35kW$$

Taula 4 Consum de la bomba de calor

	Potència (kW)	Ús diari (h)	Consum diari (kWh)
Gener	1'35	2	2'7
Febrer		1	1'35
Març		0'5	0'675
Abril		0	0
Maig		0	0
Juny	1'18	0'5	0'59
Juliol		2	2'36
Agost		1	1'18
Setembre		0	0
Octubre	1'35	0	0
Novembre		1	1'35
Desembre		2	2'7

4.3. Consum final

La suma dels resultats obtinguts proporciona el consum diari d'energia, que en multiplicar-se pel número de dies de cada mes és el consum mensual (*Taula 5*). Aquest consum és la quantitat d'energia requerida per satisfer les necessitats de l'habitatge.

El consum mitjà d'electricitat a Espanya per a una casa habitada per dos persones és de 2100 kWh anuals⁷. Això representa aproximadament uns 170 kWh mensuals. Aquesta dada s'apropa bastant al càlcul de l'habitatge del treball, per tant es pot considerar que el consum obtingut és realista.

⁷ <http://www.comparatarifasenergia.es/comparar-precios-de-energia/consumo-medio> 20/12/2017

Taula 5 Consum final

	Fonts de consum constants (kWh)	Fonts de consum variables		Consum diari (kWh)	Consum mensual (kWh)
		Il·luminació (kWh)	Bomba de calor (kWh)		
Gener	3'31	1'1325	2'7	7'14	221'3
Febrer		1'2825	1'35	5'94	166'3
Març		0'822	0'675	4'81	149'1
Abril		0'582	0	3'89	123'9
Maig		0'465	0	3'77	116'9
Juny		0'414	0'59	4'31	136'5
Juliol		0'4245	2'36	6'09	188'8
Agost		0'5145	1'18	5'00	155'0
Setembre		0'7095	0	4'02	127'8
Octubre		0'909	0	4'22	130'8
Novembre		1'2375	1'35	5'90	184'2
Desembre		1'3275	2'7	7'34	227'5

TOTAL: 1928'4 kWh

RADIACIÓ

5. EQUACIONS PEL CÀLCUL DE LA RADIACIÓ⁸

Aquest conjunt d'equacions permet calcular la radiació que incideix en una superfície en w/m^2 en una hora i dia de l'any determinats. Les dades que cal conèixer per tal de fer els càlculs són:

- Latitud de la superfície on es vol fer el càlcul en graus.
- Alçada sobre el nivell del mar de la superfície en metres.
- Inclinió de la superfície respecte el terra en graus.
- Azimut de la superfície en graus. (*fig. 10*)
- Número de dia (considerant 31 de Desembre el dia 365).
- Hora solar.
- Temperatura en graus centígrads
- Humitat en %.

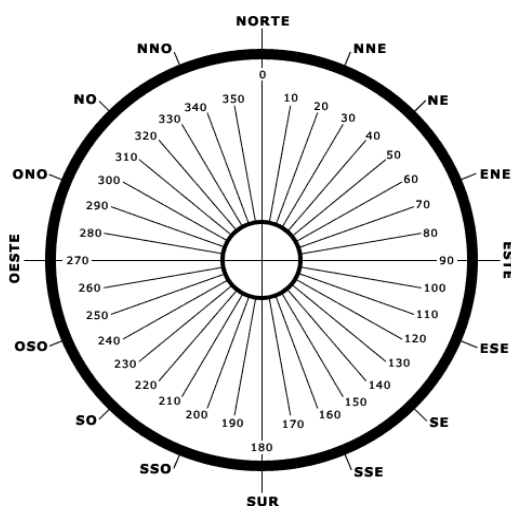


fig. 10 Angle de l'azimut segons l'orientació

⁸ Totes les equacions provenen de: PINAJO, José Manuel; *Manual de climatización Tomo II: Cargas térmicas*; Universidad Politécnica de Valencia, 1995

5.1. Radiació

La radiació que s'origina al Sol es desplaça uniformement en totes direccions. Per tal de que la radiació arribi des de la capa superior de l'atmosfera de la Terra fins a la superfície hi intervenen diferents factors que en dificulten el pas i provoquen variacions. Per això no es pot calcular directament, sinó que s'ha de calcular a partir de tres variables diferents de radiació.

$$I = I_d + I_{dat} + I_{dre}$$

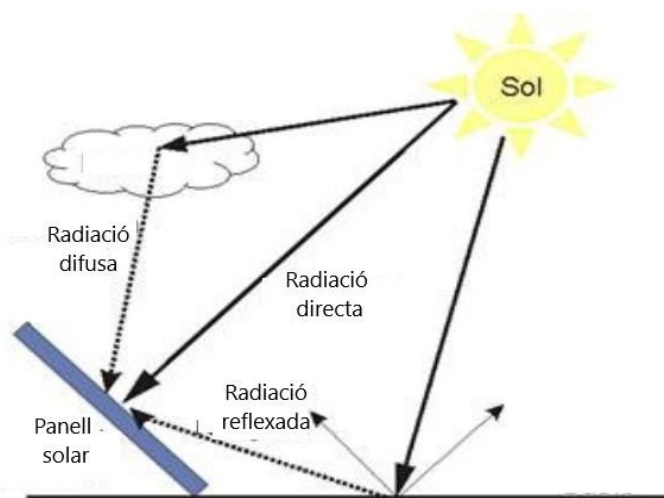


fig.11 Tipus de radiació

5.2. Radiació directa sobre un pla inclinat

Aquesta fórmula permet conèixer la quantitat d'energia directa que arriba a una superfície amb una inclinació determinada. Radiació directa vol dir que no ha estat reflectida abans a l'atmosfera ni a cap superfície, sinó que ve directa del Sol. La seva unitat és w/m^2 .

$$I_D = I_n \cdot \cos i$$

I_n : Radiació directa. Durant el pas de la radiació per l'atmosfera aquesta es veu afectada per la presència de molècules gasoses i sòlides conegudes com aerosols i aire. El valor 0'9751 és una constant per eliminar aquelles freqüències de l'espectre de la radiació que són bloquejades per la capa d'ozó.

$$I_n = 0'9751 \cdot I_{sc} \cdot E_0 \cdot \tau_r \cdot \tau_o \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_a$$

I_{sc} : Constant solar (1367 w/m^2), és la quantitat d'energia que arriba a la capa superior de l'atmosfera quan la Terra es troba al punt mitjà de distància amb el Sol (tenint en compte que al llarg de l'òrbita la distància Terra-Sol varia $\pm 1'7\%$).

$$I_{sc} = 1367 \text{ w/m}^2$$

E_0 : Coeficient corrector de l'excentricitat de l'òrbita solar. Aquest coeficient té la funció de corregir la constant solar al llarg de l'any, ja que varia per causa de la diferència de distància Terra-Sol al llarg de l'òrbita. ND és el número de dia (considerant 31 de Desembre el dia 365).

$$E_0 = 1 + 0'33 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot ND}{365}\right)$$

τ_r : Coeficient de transmissió degut al canvi de direcció de la radiació solar degut a les molècules d'aire.

$$\tau_r = e^{(-0'0903 \cdot M_a^{0'84} \cdot (1 + M_a - M_a^{1'01}))}$$

M_a : Massa òptica d'aire. És la massa d'aire existent en la vertical del punt.

$$M_a = \frac{P_t \cdot M_{rel}}{101325}$$

M_{rel} : Massa relativa d'aire sec. Equivalent a M_a però sense considerar la variació de pressió de l'aire.

$$M_{rel} = \frac{1}{\cos(\vartheta_z) + 0'15 \cdot (93'885 - \vartheta_z)^{-1'253}}$$

ϑ_z : Angle zenital, angle entre els rajos solars i el punt de la superfície terrestre.

$$\vartheta_z = \cos^{-1}(\sin DEC \cdot \sin LAT + \cos DEC \cdot \cos LAT \cdot \cos AH)$$

P_t : Pressió total de l'aire en Pascals a la superfície, es pot calcular a partir de l'altura sobre el nivell del mar (z).

$$P_t = 101325 \cdot e^{(-0'0001184 \cdot z)}$$

τ_0 : Coeficient de transmissió l'ozó. Aquest coeficient regula l'absorció de radiació de l'ozó.

$$\tau_0 = 1 - (0'1611 \cdot U_3 \cdot (1 + 139'48 \cdot U_3)^{-0'3035} + \left(\frac{0'002715 \cdot U_3}{1 + 0'044 \cdot U_3 + 0'0003 \cdot U_3^2} \right))$$

U_3 : Camí òptic relatiu de l'ozó. L_0 és l'espessor de la capa d'ozó en funció de la latitud i l'època de l'any (fig.12).

$$U_3 = L_0 \cdot M_{rel}$$

Latit	Ener	Febr	Mar	Abril	May	Junio	Juli	Agos	Sept	Octub	Novi	Dicie
90 N	0,33	0,39	0,46	0,42	0,39	0,34	0,32	0,30	0,27	0,26	0,28	0,30
80 N	0,34	0,40	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,30	0,28	0,27	0,29	0,31
70 N	0,34	0,40	0,45	0,42	0,40	0,36	0,34	0,31	0,29	0,28	0,29	0,31
60 N	0,33	0,39	0,42	0,40	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,30	0,31
50 N	0,32	0,36	0,38	0,38	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,28	0,29	0,30
40 N	0,30	0,32	0,33	0,34	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27	0,28	0,29
30 N	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,26	0,27
20 N	0,24	0,26	0,26	0,27	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25
10 N	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23
0	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22
10 S	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23
20 S	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25
30 S	0,27	0,28	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,31	0,32	0,32	0,29	0,29
40 S	0,30	0,29	0,28	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,38	0,37	0,34	0,32
50 S	0,31	0,30	0,29	0,30	0,32	0,36	0,39	0,40	0,40	0,39	0,37	0,35
60 S	0,32	0,31	0,30	0,30	0,33	0,38	0,41	0,42	0,42	0,40	0,39	0,35
70 S	0,32	0,31	0,31	0,29	0,34	0,39	0,43	0,45	0,43	0,40	0,38	0,34
80 S	0,31	0,31	0,31	0,28	0,35	0,40	0,44	0,46	0,42	0,38	0,36	0,32
90 S	0,31	0,30	0,30	0,27	0,34	0,38	0,43	0,45	0,41	0,37	0,34	0,31

fig.12 Valors de L_0

τ_g : Coeficient de transmissió de combinació uniforme de gasos. Aquest coeficient regula l'absorció de radiació del CO_2 i O_2 .

$$\tau_g = e^{-0'0127 \cdot M_a^{0'26}}$$

τ_w : Coeficient de transmissió al vapor d'aigua. Aquest coeficient regula l'absorció de radiació del vapor d'aigua present en l'atmosfera.

$$\tau_w = 1 - \frac{2'4959 \cdot U_1}{(1 + 79'034 \cdot U_1)^{0'6828} + 6'385 \cdot U_1}$$

U_1 : Camí òptic relatiu per al vapor d'aigua.

$$U_1 = WW \cdot M_{rel}$$

WW : Quantitat d'aigua present a l'atmosfera en cm en la vertical del punt. ϕ és la humitat en %.

$$WW = 0'00493 \cdot \phi \cdot \frac{e^{26'23 - \frac{5416}{T+273'15}}}{T + 273'15}$$

τ_a : Coeficient de transmissió total degut als aerosols en dispersió i absorció.

$$\tau_a = 0'12445 \cdot \alpha - 0'0162 + (1'003 - 0'125 \cdot \alpha) \cdot e^{-\beta \cdot M_a \cdot (1'089 \cdot \alpha + 0'5123)}$$

α : Coeficient d'Angström, defineix la mida dels aerosols en la vertical del lloc. Pot variar entre 0'8 (cel molt clar) i 1'8 (cel contaminat).

β : Coeficient d'Angström⁹, defineix la quantitat d'aerosols en la vertical del lloc., es considera un valor mitjà de 0'15.

i : Angle d'incidència. Angle entre la direcció dels rajos solars i la direcció perpendicular de la superfície que es considera.

$$i = (\sin \gamma) \cdot (\sin \eta) \cdot (\cos DEC) \cdot (\sin AH) + (\cos \gamma) \cdot (\sin \eta) \cdot (\cos DEC) \cdot (\sin LAT) \cdot (\cos AH) - (\cos \gamma) \cdot (\sin \eta) \cdot (\sin DEC) \cdot (\cos LAT) + (\cos \eta) \cdot (\sin DEC) \cdot (\sin LAT) + (\cos \eta) \cdot (\cos DEC) \cdot (\cos LAT) \cdot (\cos AH)$$

⁹ http://www.gersol.unlu.edu.ar/trabajos/3_AVERMA_salazar%20cr.pdf 25/11/2017

DEC : Declinació. Angle entre el pla equatorial terrestre i la recta que uneix el centre de la Terra amb el del Sol.

$$DEC = 23'45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (ND+284)}{365 \cdot 25}\right)$$

AH : Angle horari. Angle entre el paral·lel celeste en que es desplaça el Sol i el pla equatorial serveix per localitzar el Sol al cel. Cada 24 hores el Sol ha d'haver recorregut la circumferència completa de l'angle horari, per tant la seva velocitat és de 15°/h. L'angle serà negatiu en les hores prèvies a les 12 del migdia i positives en les següents. TSV és l'hora solar, que es oscil·la entre 0 i 24 que és el temps que tarda en Sol en tornar a un meridià.

$$AH = 15 \cdot (TSV - 12)$$

5.3. Radiació difusa des de l'atmosfera

Aquesta radiació, arriba a la superfície de la Terra després de ser reflectida o difosa per diferents elements de l'atmosfera, com els aerosols o les molècules d'aire. La seva unitat és el w/m².

$$I_{dat} = \frac{1 + (\cos \eta)}{2} \cdot I_{dh}$$

I_{dh} : Radiació difusa total sobre el pla horitzontal. Mateix valor que I_{dat} però considerant una superfície plana.

$$I_{dh} = I_{dr} + I_{da} + I_{dm}$$

I_{dr} : Radiació difusa deguda a la difusió de Rayleigh, la difusió és provocada per les molècules de l'aire¹⁰.

$$I_{dr} = 0'79 \cdot I_{sc} \cdot \left(1 + 0'033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot ND}{365}\right)\right) \cdot \tau_0 \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot 0'5 \cdot \frac{1 - \tau_g}{1 - M_a + M_a^{1/02}} \cdot \cos \vartheta_z$$

¹⁰ https://ca.wikipedia.org/wiki/Difusi%C3%B3_de_Rayleigh 25/11/2017

τ_{aa} : Coeficient de transmissió degut a l'absorció dels aerosols. El valor

$$\tau_{aa} = 1 - (1 - \omega_0) \cdot (1 - M_a + M_a^{1'06}) \cdot (1 - \tau_a)$$

ω_0 es considera a partir del model de Bird i Hulstrom¹¹.

$$\omega_0 = 0'9$$

I_{da} : Radiació difusa deguda als canvis de direcció provocats pels aerosols.

$$I_{da} = 0'79 \cdot I_{sc} \cdot \left(1 + 0'33 \cdot \cos \frac{360 \cdot ND}{365}\right) \cdot \tau_0 \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot F_c \cdot \frac{1 - \tau_{as}}{1 - M_a + M_a^{1'02}} \cdot \cos \vartheta_z$$

F_c : Representa el percentatge de radiació que al creuar una dispersió d'aerosols va cap endavant, com a valor mitjà s'utilitza 0'84, segons el model de Bird i Hulstrom¹².

$$F_c = 0'84$$

τ_{as} : Coeficient de transmissió degut a la difusió per aerosols.

$$\tau_{as} = \frac{\tau_a}{\tau_{aa}}$$

I_{dm} : Radiació provocada per la reflexió entre l'atmosfera i el terra.

$$I_{dm} = (I_n \cdot \cos \vartheta_z + I_{dr} + I_{da}) \cdot \frac{P_g \cdot P_a}{1 - (P_g \cdot P_a)}$$

P_a : Coeficient de reflexió del cel, albedo de l'atmosfera.

$$P_a = 0'0685 + (1 - F_c) \cdot (1 - \tau_{as})$$

P_g : Coeficient de reflexió dels voltants. És l'albedo dels materials que envolten a la superfície. L'albedo és la quantitat, expressada en percentatge, de radiació que incideix sobre una superfície i és reflectida.

¹¹ <http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/pdfs/tr-642-761.pdf> (pag. 7) 25/11/2017

¹² <http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/pdfs/tr-642-761.pdf> (pag. 9) 25/11/2017

Taula 6 Coeficients d'albedo

Asfalt gastat	0'12
Bosc	0'15-0'18
Herba	0'25
Sorra	0'17
Ciment	0'55
Neu	0'8-0'9
Mar	0'05-0'1

5.4. Radiació reflectida del terra

Aquesta radiació és la que arriba a la superfície reflectida pel terreny del voltant.

$$I_{dre} = \frac{1 - \cos \eta}{2} \cdot P_g \cdot (I_n \cdot \cos \vartheta_z + I_{dh})$$

5.5. Variables

AH : Angle horari

DEC : Declinació

E_0 : Coeficient corrector de l'excentricitat de l'òrbita solar

i : Angle d'incidència

I_{da} : Radiació difusa deguda pels aerosols

I_{dh} : Radiació difusa total sobre el pla horitzontal

I_{dm} : Radiació difusa per reflexió terra-atmosfera

I_{dr} : Radiació difusa deguda a la difusió de Rayleigh

I_n : Radiació directa sobre un pla horitzontal

I_{sc} : Constant solar (1367w/m²)

F_c : Representa el percentatge de radiació que al creuar una dispersió d'aerosols va cap endavant (0'84)

M_a : Massa òptica d'aire

M_{rel} : Massa relativa d'aire sec

ND : Número de dia (considerant 31 de Desembre el dia 365)

LAT : Latitud

L_0 : Espesor en cm de la capa d'ozó (*fig. 1*)

P_a : Coeficient de reflexió del cel

P_g : Coeficient de reflexió dels voltants (albedo)

P_t : Pressió total de l'aire en Pascals

T : Temperatura (°C)

TSV : Temps solar verdader

U_1 : Camí òptic relatiu per al vapor d'aigua

U_3 : Camí òptic relatiu

WW : Quantitat d'aigua en cm en la vertical del pla

z : Alçada sobre el nivell del mar (m)

α : Coeficient d'Angström

β : Variació del coeficient d'Angström al llarg de l'any (0'15)

τ_a : Coeficient de transmissió total degut als aerosols.

τ_{aa} : Coeficient de transmissió degut a l'absorció pels aerosols

τ_{as} : Coeficient de transmissió degut a la difusió pels aerosols

τ_g : Coeficient de transmissió de combinació uniforme de gasos

τ_r : Coeficient de transmissió degut al canvi de direcció

τ_w : Coeficient de transmissió del vapor d'aigua

τ_0 : Coeficient de transmissió l'ozó

γ : Azimut de la superfície en graus

ϕ : Humitat en %

ϑ_z : Angle zenital

η : Inclinació de la superfície sobre la horitzontal en graus

6. EXCEL PEL CÀLCUL DE RADIACIÓ

Amb les equacions de l'apartat anterior es pot obtenir la quantitat de radiació incident en una hora concreta d'un dia determinat de l'any. Aquestes equacions són molt complexes, amb un gran nombre de variables diferents. En el cas d'aquest treball es necessita saber el valor de radiació mitjans de tots els mesos de l'any per tal de comparar-los amb la demanda energètica de la casa. Aquest es un dels principals problemes, ja que les equacions proporcionen un valor de radiació per a un instant concret i per calcular la radiació mensual es necessari fer un càlcul per cada hora de cada dia.

Si es tenim en conte la complexitat de les equacions i que cal fer 24 càlculs per cadascun dels 365 dies de l'any (al voltant de 8500 càlculs), l'única possibilitat d'obtindre els resultats es trobar una manera d'automatitzar els càlculs. L'opció que s'utilitza en aquest treball es crear un document d'Excel automatitzat mitjançant un programa en llenguatge Visual Basic.

Visual Basic es un llenguatge de programació amb el qual es poden crear extensions o aplicacions per a programes de Microsoft Office, que s'anomenen macros. En un document Excel, per exemple, l'ús de les macros pot permetre automatitzar càlculs repetitius o moure informació de lloc automàticament.

En aquest treball s'utilitza com a base un document Excel on s'han introduït les equacions. El codi de Visual Basic, repeteix el càlcul de cada hora per cada dia de l'any automàticament. D'aquesta manera realitza una gran quantitat de càlculs en un moment i permet saber el valor de la radiació per a qualsevol instant de l'any. El programa permet fer tres càlculs diferents:

- Radiació diària per un any sencer.
- Radiació diària per un dia determinat.

- Comparació de la captació de radiació en superfícies amb diferent inclinació.

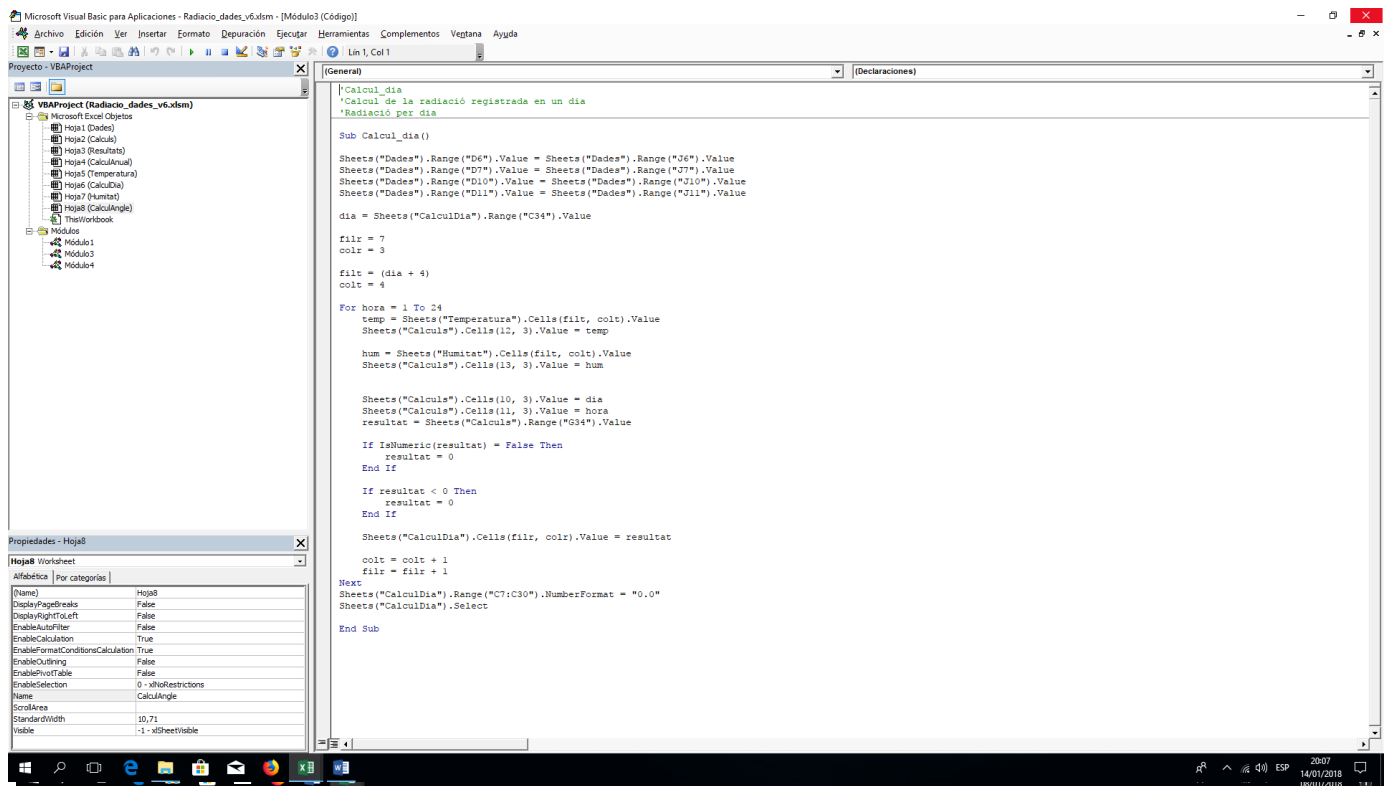


fig.13 Pagina de programació de Visual Basic

A la pàgina inicial hi ha tres requadres, cadascun per un dels tres càlculs diferents. Per tal de executar un càlcul s'ha d'omplir els espais grocs amb les dades desitjades i clicar el botó **CALCULAR** pertinent. Un cop clicat el botó, el càlcul s'executa i ens dirigeix directament a la fulla on es mostren els resultats.

Les dades introduïdes es transporten al full **Càlculs** on hi ha les equacions pel càlcul de la radiació. Amb aquestes equacions s'obté el valor de radiació per una hora d'un dia concret, el programa de Visual Basic s'encarregarà de repetir els càlcul per tal d'obtindre el resultat que es demani.

Les equacions del full **Càlculs** donen el resultat en w/m^2 . En els resultats per mostrar la radiació anual els valors es passen a kWh/m^2 , ja que es necessari saber la quantitat d'energia de la que es disposa al llarg del dia. En canvi per al càlcul de la radiació diària els valors es mantenen en w/m^2 , perquè en aquest cas és més important poder comparar la potència en un moment concret.

Funció de cada fulla:

- **Dades.** Aquesta fulla és la primera que es mostra en obrir el programa. Hi apareixen tres requadres, cadascun és per a un càlcul diferent. Aquí és on s'han d'introduir les dades.
- **Càlculs.** Un cop introduïdes les dades es traslladen a aquesta fulla, on hi ha totes les equacions de la radiació, i se'n calcula el valor.
- **Resultats.** Els resultats calculats a **Càlculs** es traslladen a aquesta fulla a mesura que són calculats. S'ordenen en una taula segons el dia i l'hora que representen i es calcula la mitjana diària, que es passa a kWh/m². També es calcula la mitjana mensual.
- **Temperatura.** Registre de temperatura necessari per efectuar els càlculs.*
- **Humitat.** Registre de temperatura necessari per efectuar els càlculs.*
- **CalculAnual.** Resultats de "Radiació anual".
- **CalculDia.** Resultats de "Radiació per dia".
- **CalculAngle.** Resultats de "Comparació de la inclinació".

* Les dades de temperatura i humitat són de l'observatori de Constantí, de l'any 2016. Com que els valors de temperatura i humitat són poc importants i no presenten canvis importants en les equacions, es poden utilitzar per a calcular la radiació de qualsevol any sense haver-hi variacions greus¹³. Substituir el registre de temperatura i humitat en cas de que es volgués calcular la radiació en una zona geogràfica diferent i es disposés de les dades, no afectaria al funcionament del programa.

L'enllaç per accedir al treball és el següent:

<https://www.dropbox.com/s/579jkd2kv7fx6ib/RadiacioSolar.xlsm?dl=0>

¹³ <http://www.meteo.cat/observacions/xema/dades?codi=VQ&dia=2017-12-28T11:30Z>
14/12/2017

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			

Radiació anual

Localització

Alçada sobre el nivell del mar (z) m 100,0

Latitud ° 40,0

Dades de la placa

azimut (γ) ° 45,0

Inclinació (η) ° 30,0

CALCULAR

Radiació per dia

Localització

Alçada sobre el nivell del mar (z) m 0,0

Latitud ° 40,0

Dades de la placa

azimut (γ) ° 45,0

Inclinació (η) ° 0,0

Data (dia/mes/any)

Dia

CALCULAR

Comparació de l'inclinació

Alçada sobre el nivell del mar (z) m 500,0

Latitud ° 40,0

azimut (γ) ° 45,0

n° d'angles (1,3) 3,0

Angles ° 0,0

CALCULAR

fig.14 Dades

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Localització del lloc							
3		Latitud (radians)	0,70		Declinació	Dec	-23,12	-0,40 (rad)	
4					Angle horari	AH	180	3,14 (rad)	
5		Dades de la placa			Angle zenital	Øz	163,1	2,8 (rad)	
6		azimut (radians)	0,79		Massa relativa d'aire sec	m rel	#!NUM!	-69,2	
7		Inclinació (radians)	0,52		Pressió Total	Pt	100132,4		
8					Massa òptica d'aire	ma	#!NUM!		
9		Dades del dia			Coefficient de transmissió de canvi de direcció	tr	#!NUM!		
10		Dia	365		Coefficient de transmissió total degut als aerosols	ta	#!NUM!		
11		Hora solar (TSV)	24		Espesor en cm de la capa d'ozó (Taula pp 41)	Lo	0,3		
12		Temperatura seca			Camino óptico relativo para el ozono	U3	#!NUM!		
13		Humitat (Φ)			Coefficient de transmissió degut a l'absorció per ozó	to	#!NUM!		
14					Coefficient de transmissió de mezcla uniforme de gases	tg	#!NUM!		
15		Constant Solar (W/m2) - Isc	1367		Cantidad de agua precipitable en la vertical del lugar (cm)	WW	0,0		
16					Camino óptico relativo para el vapor de agua	U1	#!NUM!		
17		α	1,3		Coefficient de transmissió del vapor d'aigua	tw	#!NUM!		
18		β	0,2		Coefficiente corrector de la excentricidad de la orbita solar	Eo	1,3		
19					Radiació directa segons els rajos solars (W/m2)	I n	#!NUM!		
20					Cosinus de la incidencia cos(I)	cos(I)	-0,9		
21					Angle d'incidencia dels rajos solars (°)	I	158,7	2,8 (rad)	
22					Radiació directa (W/m2)	ID	#!NUM!		
23					Número únic p. 430	w0	0,9		
24					Transmitancia debida a la absorción por aerosoles	taa	#!NUM!		
25					Coefficient de transmissió degut a la difusió pels aerosols	tas	#!NUM!		
26					Taula pp.428	Fc	0,8		
27					Coefficient de reflexió del cel	Pa	#!NUM!		
28					Coefficient de reflexio. dels voltants de la superficie estudiada	Pg	0,1		
29					Radiación difusa debida a la radiación por Raleigh	Idr	#!NUM!		
30					Radiació difusa deguda als aerosols	Ida	#!NUM!		
31					Radiació difusa per reflexió entre la terra i l'atmosfera	Idm	#!NUM!		
32					Radiación difusa total sobre un plano horizontal	Idh	#!NUM!		
33					Radiació reflexada desde el terra	Idre	#!NUM!		
34					Radiació total (w/m2)		#!NUM!		
35									
36									
37									
38									
39									
40									

fig.15 Càlculs

[illegible][illegible]

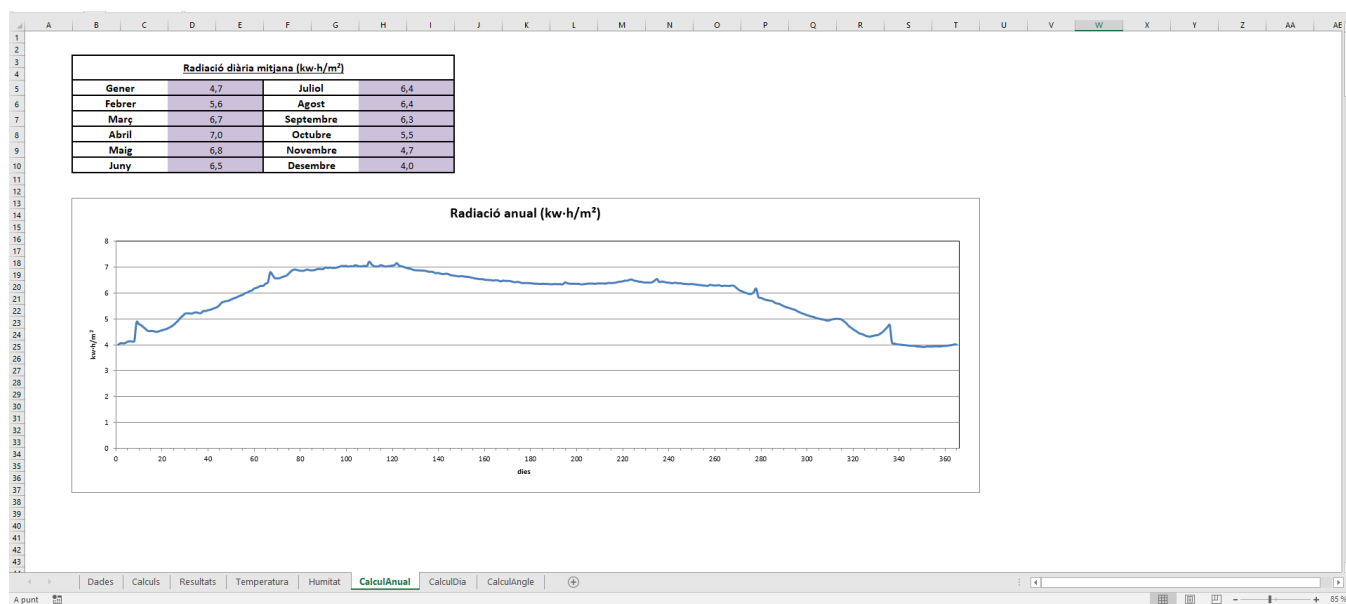


fig.19 CalculAnual

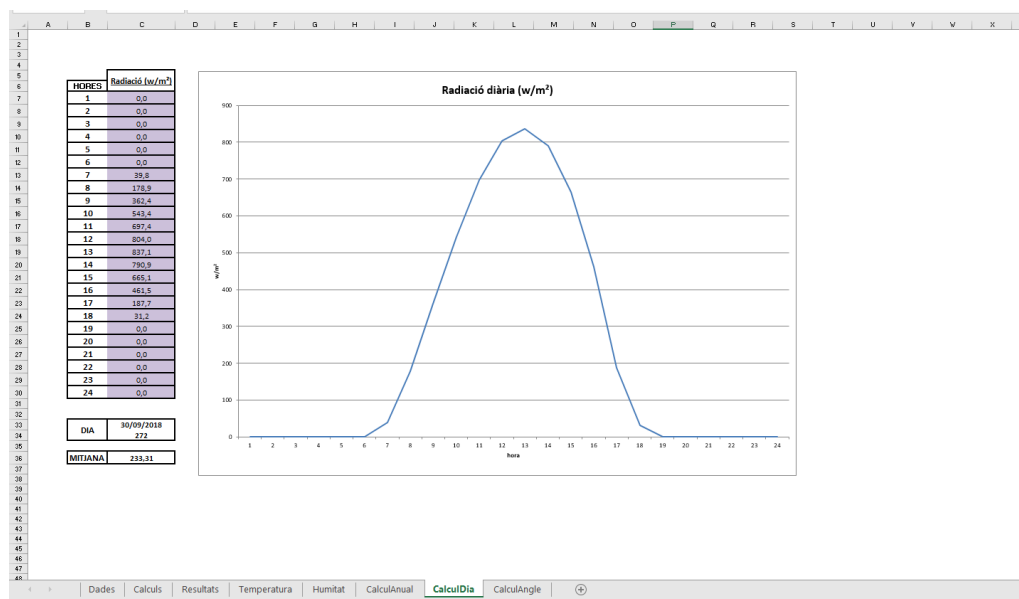


fig.20 CalculDia

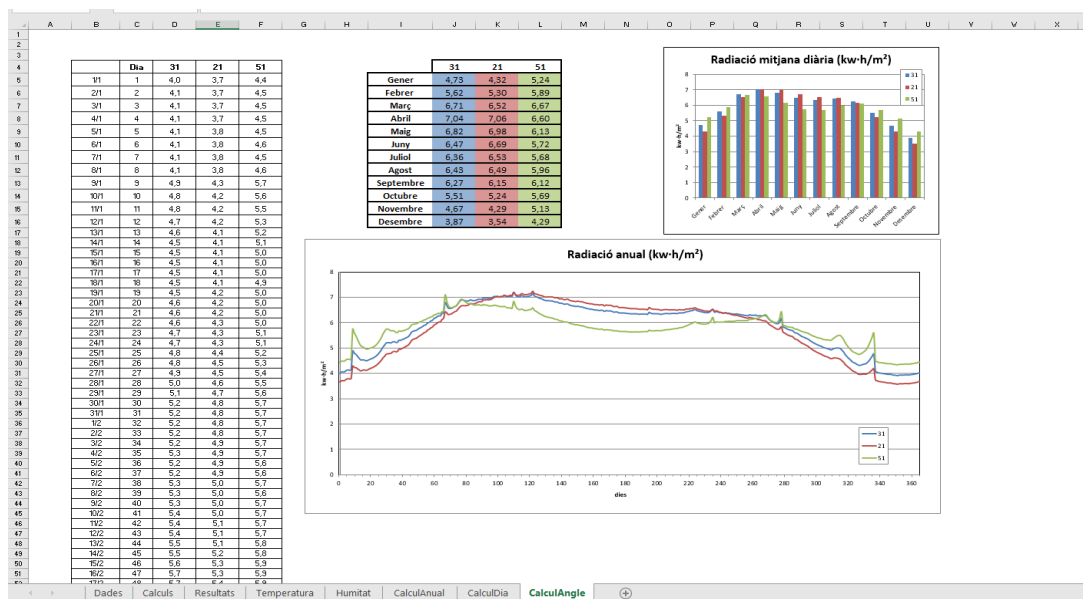


fig.21 CalculAngle

6.1. Radiació anual

Aquesta macro calcula per una superfície especificada la radiació que es rebirà per cada hora de cada dia al llarg de l'any en w/m^2 . A mesura que es van fent els càlculs, els resultats apareixen a la fulla **Resultats**.

Un cop obtinguts els resultats es calcula l'energia disponible per cada dia de l'any en kWh/m^2 , aquestes dades apareixen en una columna al costat de tot el registre de resultats. Amb l'energia disponible diària es fa la mitjana de cada mes.

Després d'efectuar els càlculs, el programa ens desplaça directament a la fulla **CalculAnual**, on es representen els valors obtinguts. Hi ha una gràfica amb l'energia disponible diària al llarg de l'any i una taula on apareix la mitjana mensual de radiació diària. Amb aquestes dades es pot conèixer la quantitat d'energia de la que es disposarà en qualsevol moment de l'any.

En un exemple del gràfic que apareix a la fulla de **CalculAnual** (fig.22), es pot observar com la radiació té una simetria gairebé constant al llarg de l'any. Encara que semblaria lògic que el temps amb més radiació hauria de ser l'estiu, els mesos de màxima captació poden variar segons la inclinació de la placa. La inclinació de la placa és un tema que es tracta més endavant. Les

irregularitats de la gràfica són degudes a que durant aquells dies va haver un temps diferent a l'esperat per l'època de l'any.

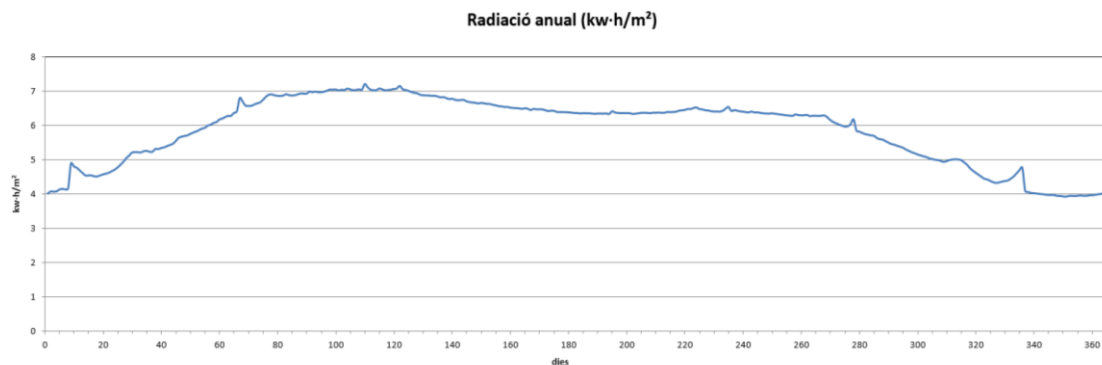


fig.22 Exemple de gràfic

Les dades que s'han d'introduir a la pàgina inicial són:

- Alçada sobre el nivell del mar
- Latitud
- Azimut (orientació de la superfície en graus)
- Inclinació en graus.

6.2. Radiació per dia

Aquesta macro repeteix el càlcul de la macro anterior però només per un dia especificat, es a dir, per la superfície especificada es calcula la radiació que es rebrà per cada hora al llarg d'un dia.

Els resultats apareixen directament al full **CalculDia** en w/m^2 . A partir d'aquests valors es crea una gràfica de l'evolució de la radiació al llarg del dia i es calcula la potència mitjana diària. Els resultats es mantenen w/m^2 , perquè la funció d'aquestes dades es poder conèixer la potència disponible en qualsevol moment del dia. També és necessari conèixer la potència màxima que es pot assolir per tal saber quina potència pic necessiten les plaques solar.

En un exemple del gràfic que apareix a la fulla de **CalculDia** (fig.23), es veu com els moments del dia amb màxima captació són les hores properes al migdia i com la gràfica té molta simetria.

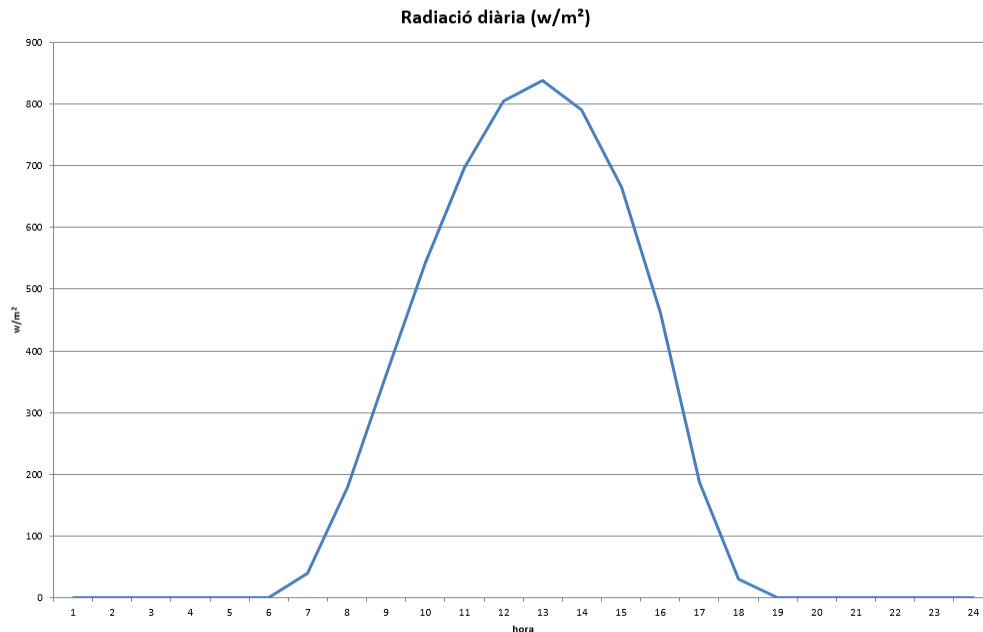


fig.23 Exemple de gràfic

Les dades que s'han d'introduir a la pàgina inicial són:

- Alçada sobre el nivell del mar
- Latitud
- Azimut (orientació de la superfície en graus)
- Inclinació en graus.
- Data

6.3. Comparació de l'angle d'inclinació

En aquesta macro, es repeteixen els càlculs de la radiació anual, però en aquest cas se'n fan tres a partir d'angles diferents. Els angles es poden triar a la pàgina inicial. A la fulla **CalculAngle**, apareix una taula amb els valor de radiació mitjana per cada dia en kWh/m². Amb aquestes dades es calcula una mitjana mensual per cadascun dels angles. Es creen automàticament dos gràfics, un de les mitjanes mensuals i un de tot l'any amb els valors diaris.

La inclinació de les plaques solars provoca diferències en el rendiment. L'angle òptim varia al llarg de l'any, ja que s'ha d'adaptar a l'angle d'incidència dels rajos solars. La funció de les dades obtingudes és poder comparar el rendiment amb diferents inclinacions i trobar l'angle més òptim.

En el gràfic (fig.24), hi ha la comparació del rendiment de tres inclinacions diferents. Es pot veure com no hi ha una inclinació que sigui clarament la millor per tot l'any, sinó que depèn de l'època de l'any.

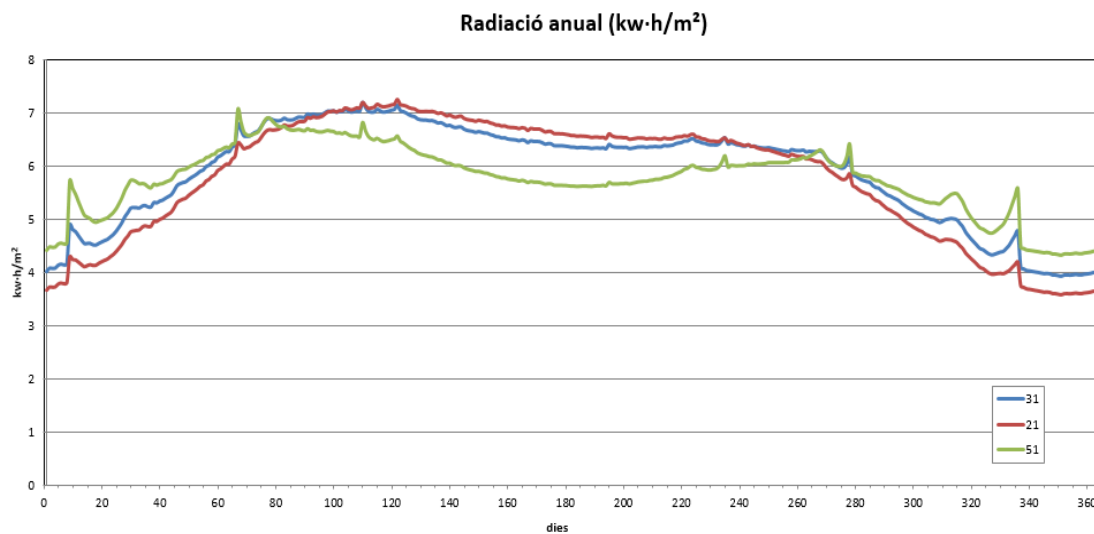


fig.24 Exemple de gràfic

Les dades que s'han d'introduir a la pàgina inicial són:

- Alçada sobre el nivell del mar
- Latitud
- Azimut (orientació de la superfície en graus)
- Els tres angles que es vulguin comparar.

És important saber que els resultats no són la quantitat d'energia neta obtinguda per a l'habitatge. És la quantitat d'energia que incideix sobre la superfície especificada. Per tal de calcular el valor d'energia que arriba a la xarxa elèctrica de l'habitatge cal conèixer les característiques de les plaques solars i el seu rendiment

Annex II: Codi del programa

6.4. Validació dels resultats

Per tal de assegurar que els resultats obtinguts amb el programa són fiables i realistes s'han de comparar amb dades reals. A la figura 25 hi ha la comparació de valors reals (obtinguts de l'estació de mesura de radiació de Constantí, l'any 2016) amb els valors calculats amb el programa sota les mateixes condicions.

Els punts blaus són les dades reals, es pot veure que estan molt disperses. Aquests punts que s'allunyen de la mitjana són dies en que estava molt núvol. Les equacions no poden preveure la nuvolositat, per això els valors calculats són molt més estables.

Encara que els valors calculats no acaben d'encaixar amb els valors observats, són molt semblants i per tant es poden utilitzar perfectament per fer el dimensionat de la instal·lació fotovoltaica.

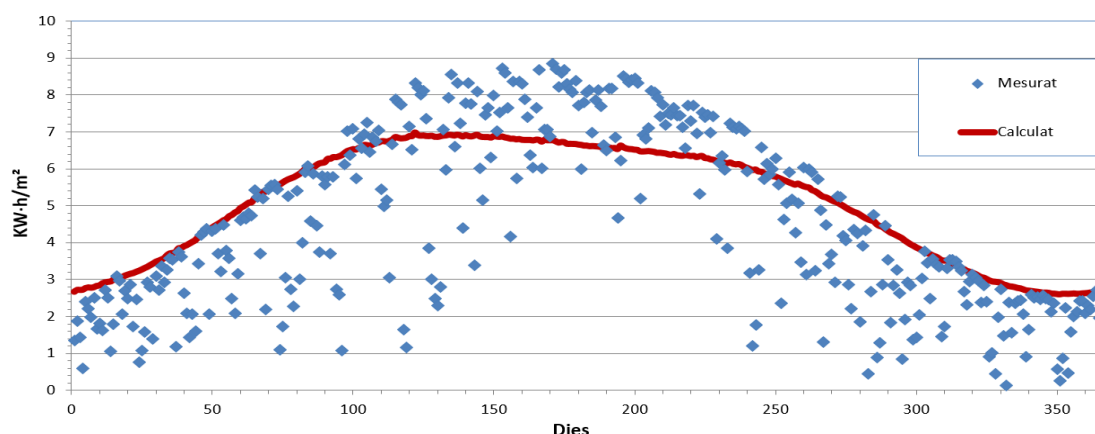


fig.25 Validació dels resultats

7. RADIACIÓ PER L'HABITATGE

En aquest apartat es calcularà la radiació disponible per l'habitatge mitjançant el programa de Visual Basic descrit en l'apartat anterior.

Les dades de l'habitatge que s'utilitzen en el càlcul són:

- Alçada: 315m
- Latitud(ϕ): 41°
- Azimut: 45°
- Angles(α)

L'orientació que acostumen a tenir totes les instal·lacions solars es 45° ¹⁴(orientació sud), perquè amb aquest és l'azimut òptim pel migdia, que es quan la radiació és més alta. Alguns experts recomanen orientar les plaques a l'oest per tenir una captació màxima durant la tarda perquè es el moment en que hi ha una demanda energètica més elevada, però com que en la instal·lació del treball es disposarà de bateries que emmagatzemaran l'energia sobrant no hi haurà problemes de subministrament.

Mitjançant dels fórmules de la taula es pot conèixer la inclinació òptima per cada època de l'any, una per l'estiu, una per l'hivern i una que optimitza la captació per tot l'any.

¹⁴ https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/orientacion-e-inclinacion-de-las-placas-solares_1 21/12/2017

Taula 7 Angles òptims

Període de màxima captació	Fórmula ¹⁵	Angle
Anual	$\alpha = \phi - 10$	31°
Estiu	$\alpha = \phi - 20$	21°
Hivern	$\alpha = \phi + 10$	51°

La forma d'obtenir la màxima radiació durant tot l'any es instal·lar plaques solars amb una estructura que permeti canviar al llarg de l'any la inclinació. Tot i això, la variació entre diferents inclinacions comparada amb el total d'energia captada es bastant reduïda, tal i com es pot observar al gràfic (fig. 26). Per tant es pot utilitzar la mateixa inclinació durant tot l'any, la qual cosa evitarà haver de canviar la inclinació segons l'època de l'any.

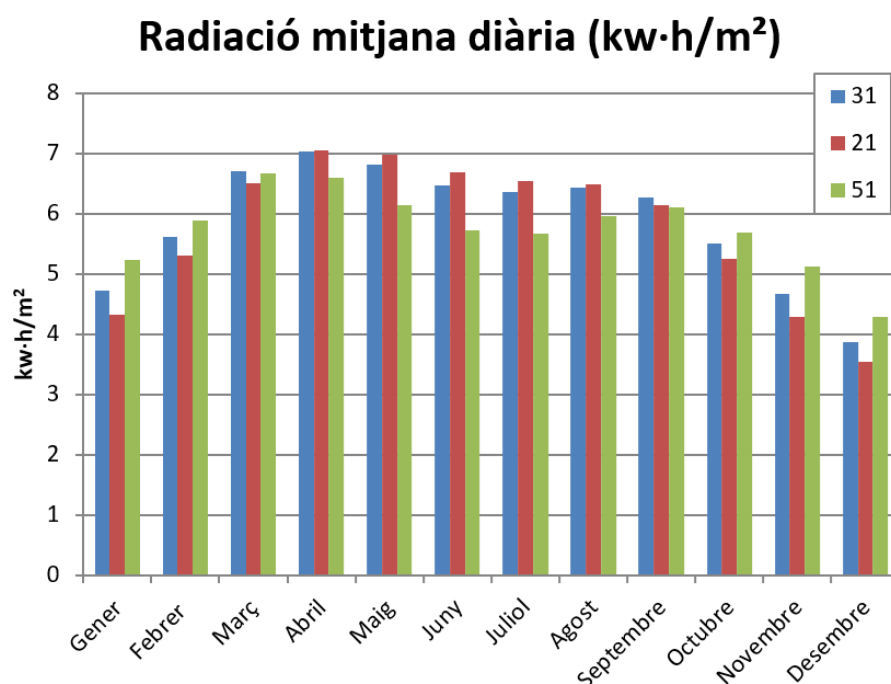


fig.26 Comparació del rendiment dels angles

¹⁵ <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/01/09/inclinacion-optima-de-placas-fotovoltaicas/>
21/12/2017

L'angle que s'utilitzarà es el de 31°, l'òptim anual. L'ús d'aquest angle també té l'avantatge de que és molt semblant a l'angle de la teulada i per tant s'adaptarà més fàcilment i no serà necessària una estructura tant complexa. Al adaptar-se a la forma de la teulada també permetrà evitar possibles acumulacions de neu. Les dades de la figura 26 i de la taula 8 han estat obtingudes utilitzant el full Excel desenvolupat en aquest treball.

Taula 8 Radiació segons la inclinació

	21°	31°	51°
Gener	4,32	4,73	5,24
Febrer	5,30	5,62	5,89
Març	6,52	6,71	6,67
Abril	7,06	7,04	6,60
Maig	6,98	6,82	6,13
Juny	6,69	6,47	5,72
Juliol	6,53	6,36	5,68
Agost	6,49	6,43	5,96
Setembre	6,15	6,27	6,12
Octubre	5,24	5,51	5,69
Novembre	4,29	4,67	5,13
Desembre	3,54	3,87	4,29

VIABILITAT

8. DIMENSIONAT DE LA INSTAL·LACIÓ

Un cop conegut el consum energètic de l'habitatge i la quantitat d'energia disponible, s'ha de comparar per saber quines han de ser les mides de la instal·lació. L'energia que cal obtindre per tal que l'habitatge sigui autosuficient es el consum demandat més un 20% (*Taula 10*). Aquest 20% serà energia d'excedent que s'emmagatzemarà en bateries per ocasions en que no es disposi de llum solar (dies de pluja, hores de nit...) o per moments en que la demanda energètica sigui superior a la produïda.

Per conèixer la quantitat d'energia que proporcionaran les plaques solars s'ha de restar les pèrdues energètiques mitjançant el rendiment (15'46% en aquest cas)(*Taula 9*).

Per decidir quin model de placa solar utilitzar, cal calcular quina potència pic es necessita. La potència pic és la potència útil màxima que pot proporcionar la placa solar. Segons la gràfica (*fig.26*) de l'evolució de la radiació al llarg de l'any l'Abril és el mes amb més incidència de radiació, per tant és on hi hauran potències puntuals més elevades. En la comparació de potència per metre quadrat en alguns dies d'Abril (*fig.27*), es veu que els límits de potència són del voltant dels 900 w/m². Per saber si la potència pic de la placa solar és suficient caldrà calcular a partir del rendiment si la potència consumida pot igualar els 900 w/m² que proporciona la radiació. En cas de que la potència pic fos inferior, hi hauria una part de la radiació que no podria ser absorbida i aprofitada per la placa solar.

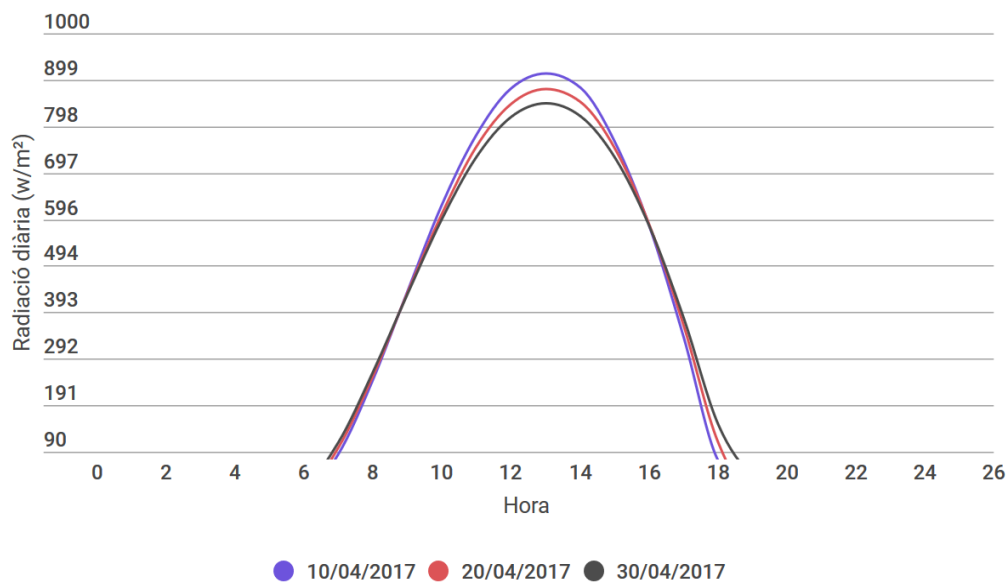


fig.27 Variació de potència al llarg del dia

Les plaques solars escollides tenen un rendiment son **Amerisolar AS-6P 300W**¹⁶. El model escollit té cèl·lules de silici policristal·lí, perquè tot i tenir un rendiment lleugerament inferior a les de tipus monocristal·lí són més econòmiques i resisteixen millor els sobreescalfaments.

- Rendiment: 15'46%
- Potència pic: 300w.
- Dimensions: 1956x992mm
- Superfície: 1'94 m²
- VMP (voltatge en màxima potència): 36'7 V
- IMP (intensitat en màxima potència): 8'18 A
- ISC (intensitat de curtcircuit, corrent màxima que produirà el panell solar en una anomalia): 8'68 A

A partir del rendiment podem obtenir la potència consumida, que després de dividir-la per la superfície de la placa està en w/m² i es pot comparar amb la potència disponible màxima.

¹⁶ <https://autosolar.es/pdf/Amerisolar-320W-Policristalino.pdf> 2/1/2018

$$Rendiment = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{consumida}}}$$

$$0'1546 = \frac{300}{P_{\text{consumida}}}$$

$$P_{\text{consumida}} = 1940'5w$$

$$P_{\text{consumidaMAX}} = \frac{1940'5w}{1'94m^2} = \mathbf{1000'25w/m^2}$$

La potència màxima que pot consumir la placa solar és de 1000 w/m² i el màxim de radiació rebrà és de 900 w/m², per tant pot satisfer les necessitats de la instal·lació i absorbir tota la radiació disponible.

Taula 9 Energia captada considerant el rendiment

	Energia captada diària (kWh/m²)	Energia útil diària (kWh/m²)
Gener	4,73	0'731
Febrer	5,62	0'853
Març	6,71	1'037
Abril	7,04	1'088
Maig	6,82	1'054
Juny	6,47	1
Juliol	6,36	0'983
Agost	6,43	0'994
Setembre	6,27	0'969
Octubre	5,51	0'852
Novembre	4,67	0'722
Desembre	3,87	0'598

Taula 10 Energia requerida

	Consum diari (kWh)	Consum diari +20% (kWh)
Gener	7'14	8'57
Febrer	5'94	7'13
Març	4'81	5'77
Abril	3'89	4'67
Maig	3'77	4'52
Juny	4'31	5'17
Juliol	6'09	7'31
Agost	5	6
Setembre	4'02	4'82
Octubre	4'22	5'06
Novembre	5'9	7'08
Desembre	7'34	8'01

Per tal de que la instal·lació pugui abastir l'habitatge durant tot l'any cal fixar-se en quin és el mes en que hi ha una diferència més gran entre l'energia requerida i la captada. Aquest mes és el Gener, s'ha de dimensionar la instal·lació per satisfer les necessitats d'aquest mes per tal de que en cap moment de l'any la demanda sigui superior a l'energia disponible.

Per calcular la superfície de plaques solars s'ha de dividir el consum en kWh per l'energia disponible en Kw·h/m². Tot seguit només cal dividir la superfície necessària per la superfície del panell solar per saber la quantitat que se'n necessiten.

$$\frac{\text{Consum}}{\text{Energia obtinguda}} = \frac{8'57 \text{ kWh}}{0'731 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = 11'72 \text{ m}^2$$

$$\frac{11'72 \text{ m}^2}{1'94 \text{ m}^2} = 6'04 \rightarrow 7 \text{ panells solars}$$

Es necessiten 7 panells solars, que ocuparan una superfície de $13'58 \text{ m}^2$. Tenint en compte que la superfície del vessant de la teulada orientat al sud té una superfície aproximada de 40 m^2 , es pot considerar que els 7 panells solars hi caben i per tant que es possible generar tota l'energia de l'habitatge a partir de la instal·lació fotovoltaica. La potència total de la instal·lació serà de **2100w**.

Els panells solars estaran connectats en sèrie, d'aquesta manera la intensitat no variarà i el voltatge serà la suma del voltatge de cada panell. Es millor tenir una tensió alta per reduir al màxim les pèrdues. El voltatge serà 257V i la intensitat 8'18A.

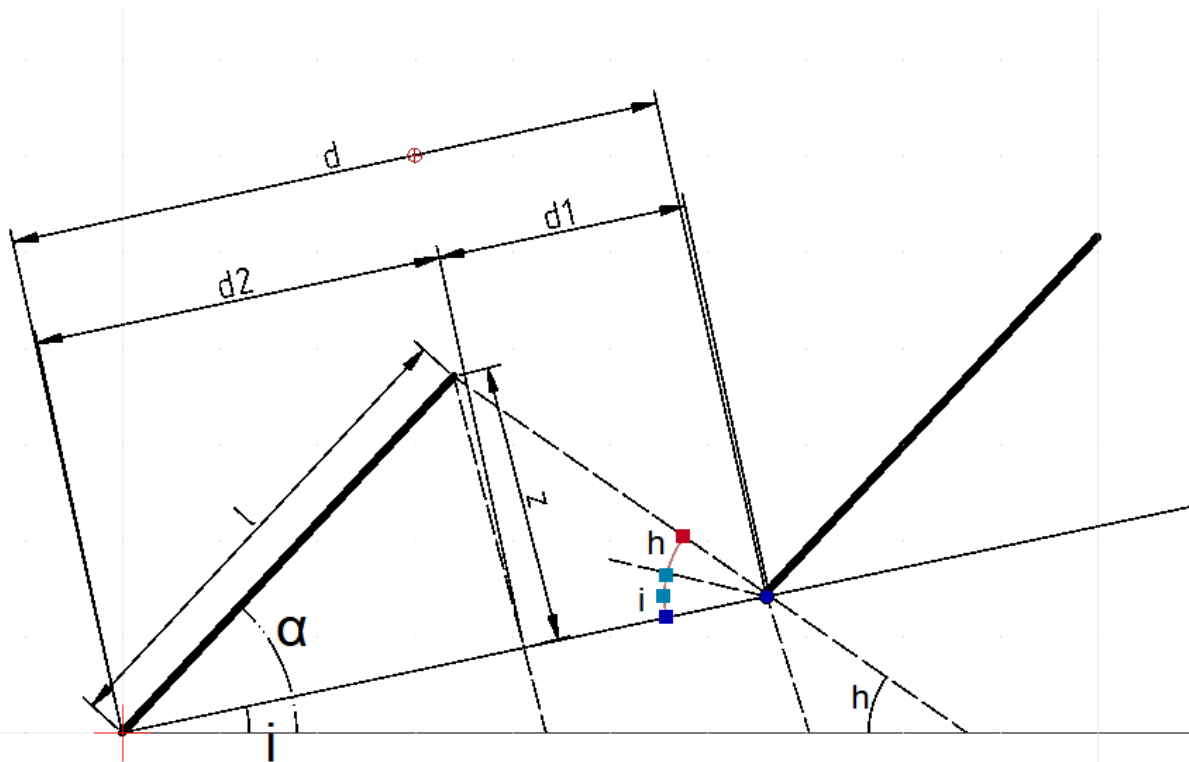


fig.28 Representació geomètrica de la separació entre panells solars

La separació mínima que necessita cada fila de panells solars per tal de no fer-se ombra entre elles és de **0'23m**. Aquest valor s'obté a partir de les següents equacions i les variables que es representen en la figura 28.

$$D_1 = 1'25 \cdot l \cdot \left[\frac{\sin(\alpha + i)}{\operatorname{tg}(h + i)} \right]$$

$$h = 90 + \phi + \gamma$$

$$l = 0'992\text{m}$$

$$\alpha = 31^\circ$$

$$i = 20^\circ$$

$$\phi(\text{latitud}) = 41^\circ$$

$$\gamma(\text{declinació solar}) = 23'45^\circ$$

$$h = 90 - 41 - 23'45 = 25'55$$

$$D_1 = 1'25 \cdot 0'992 \cdot \left[\frac{\sin(31 - 20)}{\operatorname{tg}(25'55 + 20)} \right] = \mathbf{0'23m}$$

El tipus de bateria serà OPZS. Aquest tipus de bateria són les més recomanades per instal·lacions grans, per la seva gran capacitat i la seva llarga vida útil (15-20 anys), tot i que necessiten un manteniment cada 6 mesos. Estan formades per mòduls de 2V que es poden combinar per formar sistemes de 12, 24 o 48V. A més a més, tenen un percentatge de descàrrega gairebé nul i un coeficient de descàrrega molt baix (0'8). El coeficient de descàrrega és la quantitat d'energia de la bateria que no s'utilitza, ja que per allargar la vida útil de la bateria no es pot buidar del tot.

El sistema de bateries estarà format per **12 bateries** OPZS de 2v que en ser connectades en sèrie tindran un voltatge total de 24V. La capacitat de les bateries està pensat perquè l'habitatge tingui 3 dies d'autonomia.

Per calcular la capacitat de les bateries s'ha de dividir l'energia desitjada en w·h pel voltatge.

$$\frac{\text{ConsumDiari} \cdot \text{DiesAutonomia}}{\text{Tensió} \cdot \text{ProfunditatDescàrrega}} = \frac{\frac{8570\text{w} \cdot h}{\text{dia}} \cdot 3\text{dies}}{24\text{V} \cdot 0'8} = \mathbf{1339 Ah}$$

Es necessita un model de bateria amb una capacitat superior a 1339 Ah, el que compleix aquesta característica es la bateria **OPZS Exide 2V 1410Ah**¹⁷.

El regulador de càrrega és l'element encarregat de distribuir l'energia de les plaques solars a les bateries. Té la funció de regular la intensitat que arriba a les bateries per tal d'optimitzar el seu funcionament i allargar la seva vida útil. En aquesta instal·lació es obligatori que el regulador sigui de tipus MPPT, ja que també adapta la tensió, que és diferent entre les bateries i les plaques solars. Les dades necessàries per saber quin model de regulador es necessita són la intensitat d'entrada màxima i la intensitat de sortida o càrrega.

La intensitat d'entrada màxima és la ISC dels panells solars mes un 25% per seguretat.

$$I_{entrada} = ISC \cdot 1'25 = 8'68 \cdot 1'25 = 10'85A$$

La intensitat de sortida consisteix en la potència instal·lada dividida pel voltatge del sistema de bateries.

$$I_{sortida} = \frac{P_{instal·lada}}{V_{bateries}} = \frac{2100W}{24V} = 87'5A$$

El regulador que compleix aquestes especificacions és el **Victron BlueSolar MPPT 150/100**¹⁸, que té una intensitat d'entrada de 70A i una intensitat de sortida de 100A.

L'inversor fotovoltaic és l'instrument que transforma l'energia que es genera a les plaques en corrent continu en corrent altern que utilitza la instal·lació elèctrica domèstica. L'inversor ha de ser d'ona pura, que genera un corrent pràcticament igual al que circula per la xarxa elèctrica convencional i que per

¹⁷ No(14103410): <http://www.ecosinergies.com/wp-content/uploads/2017/07/tarifa-fotovoltaica-PVP-JULIOL-2017-1.pdf> 4/1/2018

¹⁸ <https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-BlueSolar-charge-controller-MPPT-150-45-up-to-150-100-ES.pdf> 4/1/2018

tant es pot fer servir en qualsevol electrodomèstic. Per saber quin model d'inversor es necessita cal calcular la potència d'ús i la potència pic.

La potència pic és el màxim de potència que es consumirà. Per saber la potència pic cal sumar de forma aproximada la potència de tota la instal·lació (5505W) i multiplicar-la pel coeficient de simultaneïtat, que acostuma a ser al voltant de 0'8. El coeficient de simultaneïtat representa el percentatge d'electrodomèstics que es fan servir a la vegada en un habitatge.

$$5505 \cdot 0'8 = \mathbf{4404 \text{ w}}$$

La potència d'ús és la potència que es consumeix habitualment. Per la potència d'ús utilitzarem la potència mitjana diària de Gener, que és quan hi ha més demanda i l'hi sumarem un 25% per casos en que es necessiti més energia.

$$\frac{8'57Kw \cdot h \cdot \frac{3600000J}{Kw \cdot h}}{(24 \cdot 60 \cdot 60)s} \cdot 1'25 = \mathbf{446'35 \text{ w}}$$

El model que compleix les necessitats especificades és l'inversor d'ona pura **TBB Solar Max Sèrie CPI 3000M**¹⁹.

També s'instal·larà una caixa de fusibles de corrent continu **NH100 160A**²⁰ per protegir les bateries i el regulador de sobredescàrregues.

Per al cablejat s'utilitzen 6 connectors MC-T4 mascle i 6 connectors MC-T4 femella per les connexions entre els panells solars. Es necessitaran al voltant de 25 metres de cable per connectar els panells solars en sèrie i les bateries.

¹⁹ No(15008411): <http://www.ecosinergies.com/wp-content/uploads/2017/07/tarifa-fotovoltaica-PVP-JULIOL-2017-1.pdf> 4/1/2018

²⁰No(15106760): <http://www.ecosinergies.com/wp-content/uploads/2017/07/tarifa-fotovoltaica-PVP-JULIOL-2017-1.pdf> 4/1/2018

9. COST I AMORTITZACIÓ

En aquest apartat es resumeix el cost total de la instal·lació fotovoltaica en l'habitatge estudiat i es compara amb el cost de l'energia en cas de que l'habitatge estigues connectat a la xarxa elèctrica convencional. En la taula 11 s'indiquen el cost de cada un dels elements del projecte.

Taula 11 Cost de la instal·lació

	Preu (€)	Unitats	Preu final (€)
Plaques solars: Amerisolar AS-6P 300W	229'9 ²¹	7	1609'3
Regulador de càrrega: Victron BlueSolar MPPT 150/100	905'43	1	905'43
Inversor: TBB Solar Max CPI 3000M	1147'19	1	1147'19
Bateries: OPZS Exide 2V 1410Ah	522'17	12	6266'04
Bancada per les bateries ²²	329'98	1	329'98
Suport: CH915 ²³	62'11	7	434'77
Cablejat	11'61	25(m)	290'25
Connectors pel cablejat: MC-T4	2'17	12	26'04
Caixa de fusibles: NH100 160A	185'83	1	185'83
			11194'83

²¹ <https://www.merkasol.com/Panel-Solar-Policristalino-300w-Amerisolar> 4/1/2018

²² <http://www.ecosinergies.com/wp-content/uploads/2017/07/tarifa-fotovoltaica-PVP-JULIOL-2017-1.pdf> N°(14802012): 4/1/2018

²³ <https://energeticafutura.com/tienda/general/estructuras/estructura-1-panel-solar-horizontal-suelo-plano-ch915/> 4/1/2018

Per tal de poder comparar el cost de la instal·lació fotovoltaica amb el cost de seguir consumint electricitat de la xarxa, s'ha calculat el cost anual a partir d'una factura energètica real del mes de novembre del 2017 de la companyia Endesa.. La potència contractada està calculada a partir de la potència pic de la instal·lació elèctrica (4'404kW).

Potencia contractada.....5 kW

Consum anual.....1928'4 kWh

Import per peatge d'accés

5kw · 38'043426.....190'22

Import del terme fix dels costos de comercialització

5kw · 3'113.....15'56

Import del peatge d'accés.

1928'4kWh · 0'044027.....84'9

Import pel cost de l'energia

1928'4kWh · 0'090829.....175'15

Subtotal.....465'83

Impost d'electricitat

465'83 · 0'0511269632.....23'82

Lloguer d'equips de mesura i control

365 · 0'026666.....9'73

Subtotal altres conceptes.....33'55

Import total.....499'38

IVA (21%).....104'87

TOTAL.....604'25€

El cost complet del projecte de instal·lació fotovoltaica és de 11194'83€, però s'ha de tenir en compte que aquest no és el preu definitiu, ja que en un cas real s'hauria de sumar el cost de la mà d'obra professional, d'altres afegits com una reforma de la xarxa elèctrica domèstica i de diferents tràmits legals. El cost real estaria al voltant dels 13000 o 14000€.

Amb la instal·lació fotovoltaica s'estalvien anualment 604'25€, encara que aquest valor pot canviar ja que el preu del kWh no és constant. Dividint el cost de la instal·lació per l'estalvi anual es pot saber quants anys fan falta per amortitzar la inversió.

$$Amortització = \frac{Inversió}{EstalviAnual} = \frac{11194'83}{604'25} = \mathbf{18'52 \text{ anys}}$$

10. CONCLUSIÓ

Després de tots els càlculs, es pot afirmar que la instal·lació fotovoltaica és viable. La radiació solar incident és perfectament capaç de satisfer les necessitats de l'habitatge. A més a més, la instal·lació dels panells solars no suposa cap problema ja que es disposa de suficient superfície a la teulada. De fet queda suficient espai lliure com per augmentar la potència instal·lada en cas de que se'n requerís més, com per exemple si es volgués tenir un punt de càrrega per un cotxe elèctric o un sistema de climatització per una piscina.

Les característiques de l'habitatge del treball han estat pensades perquè es pogués considerar una casa amb un consum estàndard. El consum de l'habitatge queda àmpliament cobert, això demostra que realment la superfície de panells solars necessaris per tenir un sistema independent a la xarxa elèctrica és bastant petita i que es podrien implementar en molts llocs. Tot i això, també cal comentar que l'habitatge del treball era ideal per la instal·lació dels panells, ja que no tenia edificis ni arbres que li fessin ombra i tenia una teulada amb una superfície molt gran.

El principal inconvenient és el cost del projecte, que necessitaria al voltant de 18 anys per ser amortitzat. Tenint en compte el manteniment de la instal·lació, avui en dia no és viable econòmicament tenir una instal·lació d'aquest tipus i ser independent a la xarxa elèctrica. Una de les causes és que la tecnologia necessària encara no està prou desenvolupada, sobretot les bateries que són l'element més car i en el hi ha més interès en la indústria per obtenir-ne de millors. Un altre qüestió és la falta d'incentius del govern que provoca que mentre en altres països la inversió en tecnologies fotovoltaïques augmenta ràpidament aquí ens estem quedant endarrerits per falta d'interès.

L'energia solar és el tipus d'energia renovable que permet produir més energia per metre quadrat. Si continua la recerca i se n'abarateix el preu es convertirà en una alternativa molt bona a l'electricitat tradicional. L'aparició de grans instal·lacions de generació d'energia solar, permetria una descentralització de la producció energètica, es a dir que cada poble o ciutat podria generar la seva pròpia electricitat. Això permetria eliminar la infraestructura de transport d'energia, arribar a zones més aïllades i abandonar formes de producció d'energia més contaminants.

AGRAÏMENTS

Voldria agrair la ajuda de la professora Laura Justamante per haver-me tutoritzat i guiat durant el desenvolupament del treball i a tots els professors que s'hi van interessar.

També vull agrair el recolzament que he rebut de la meva família i en particular la ajuda i suport del meu pare que em va donar les idees principals per fer el treball i sempre ha estat disponible per resoldre dubtes i donar la seva opinió.

Finalment, dono gràcies al Departament d'Enginyeria Mecànica de la URV per haver-me cedit els llibres i les dades meteorològiques que he utilitzat per fer el treball.

WEBGRAFIA

- <https://animagraffs.com/solar-cell-module/>
- <http://www.lavanguardia.com/natural/20161205/412343713969/energia-solar-baja-costes-un-80.html>
- <http://www.lavanguardia.com/natural/20161020/411135928411/solar-fotovoltaica.html>
- <http://solartradex.com/blog/10-claves-para-entender-el-real-decreto-de-autoconsumo/>
- <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-nacionales>
- <http://astronomia.ign.es/hora-salidas-y-puestas-de-sol>
- <http://www.electrocalculator.com/>
- <https://www.bricodepot.es/consejos/consumo-eficiente/como-calcular-el-consumo-de-tu-aire-acondicionado>
- <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/calculo-rendimiento-eer-cop-split-placa-caracteristicas-tecnicas/>
- <https://www.todoexpertos.com/categorias/casa-y-jardin/calefaccion-y-aire-acondicionado/respuestas/2523234/consumo-bomba-de-calor>
- <http://www.comparatarifasenergia.es/comparar-precios-de-energia/consumo-medio>
- <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v13n2/v13n2a07.pdf>
- <http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/pdfs/tr-642-761.pdf>
- http://www.gersol.unlu.edu.ar/trabajos/3_AVERMA_salazar%20cr.pdf
- https://ca.wikipedia.org/wiki/Difusi%C3%B3_de_Rayleigh
- <http://www.ecosinergies.com/wp-content/uploads/2017/07/tarifa-fotovoltaica-PVP-JULIOL-2017-1.pdf>

- https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-320w-24v-amerisolar-policristalino?gclid=Cj0KCQiAg4jSBRCsARIsAB9ooave_DqIVqJdYtu8tn8g_sufTCdikOi3IlsUj3Y5NljyvfHiQcJfwF4aAoTMEALw_wcB
- <https://autosolar.es/pdf/Amerisolar-320W-Policristalino.pdf>

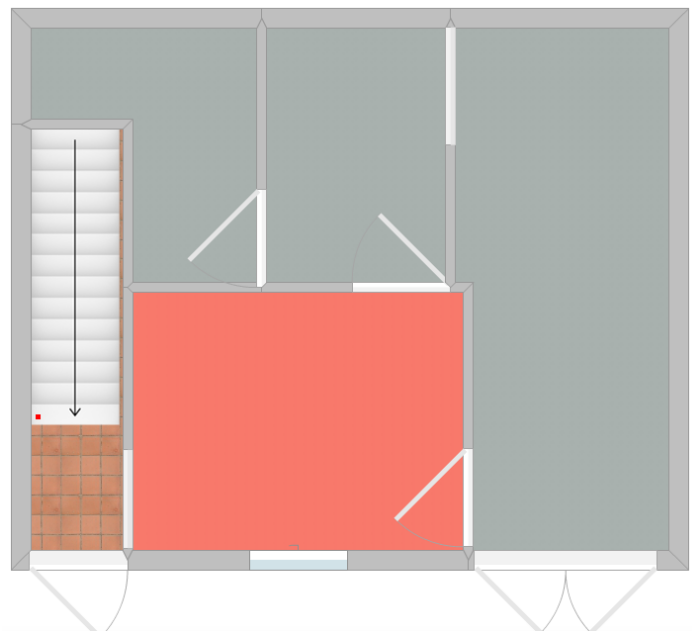
BIBLIOGRAFIA

PINAJO, José Manuel; *Manual de climatización Tomo II: Cargas térmicas*; Universidad Politécnica de Valencia, 1995

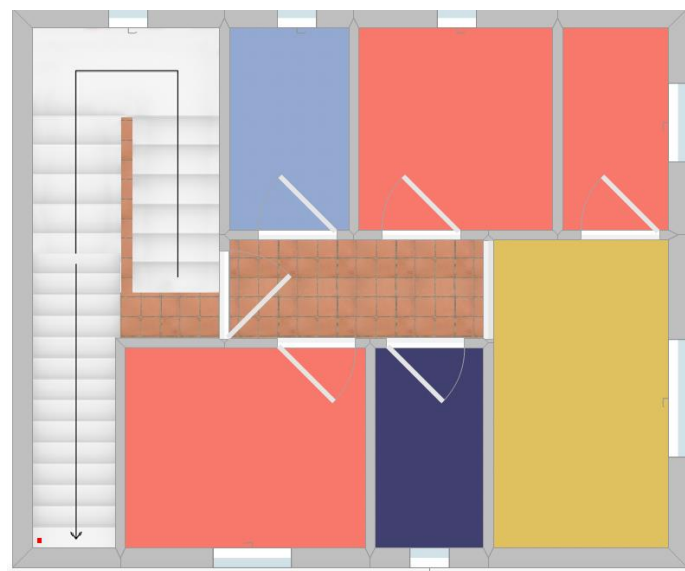
STULL, Roland; *Meteorology for Scientists and Engineers*; Brooks/Cole, 2000

ANNEX

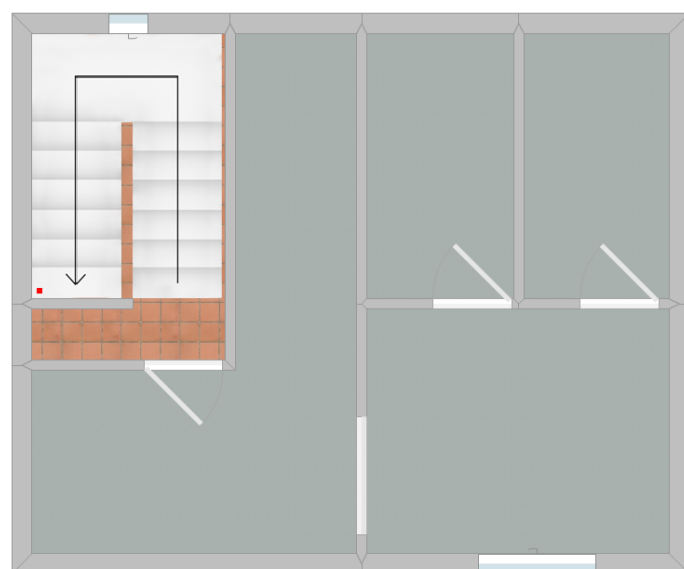
ANNEX I: Plànols de l'habitatge



Planta baixa



Primer pis



Segon pis



ANNEX II: Codi del programa de Visual Basic

Codi CalculAnual

```

Sub calcul()

    filr = 5
    filt = 5

    For dia = 1 To 365
        colr = 4
        colt = 4

        For hora = 1 To 24
            temp = Sheets("Temperatura").Cells(filt, colt).Value
            Sheets("Calculs").Cells(12, 3).Value = temp

            hum = Sheets("Humitat").Cells(filt, colt).Value
            Sheets("Calculs").Cells(13, 3).Value = hum

            colt = colt + 1

            Sheets("Calculs").Cells(10, 3).Value = dia
            Sheets("Calculs").Cells(11, 3).Value = hora
            resultat = Sheets("Calculs").Range("G34").Value

            If IsNumeric(resultat) = False Then
                resultat = 0
            End If

            If resultat < 0 Then
                resultat = 0
            End If

            Sheets("Resultats").Cells(filr, colr).Value = resultat

            colr = colr + 1
            colt = colt + 1
        Next
        filt = filt + 1
        filr = filr + 1
    Next

    Sheets("Resultats").Range("D5:AA369").NumberFormat = "0.0"
    Sheets("CalculAnual").Select

End Sub

```

Codi CalculDia

```

Sub Calcul_dia()

Sheets("Dades").Range("D6").Value = Sheets("Dades").Range("J6").Value
Sheets("Dades").Range("D7").Value = Sheets("Dades").Range("J7").Value
Sheets("Dades").Range("D10").Value = Sheets("Dades").Range("J10").Value
Sheets("Dades").Range("D11").Value = Sheets("Dades").Range("J11").Value

dia = Sheets("CalculDia").Range("C34").Value

filr = 7
colr = 3

filt = (dia + 4)
colt = 4

For hora = 1 To 24
    temp = Sheets("Temperatura").Cells(filt, colt).Value
    Sheets("Calculs").Cells(12, 3).Value = temp

    hum = Sheets("Humitat").Cells(filt, colt).Value
    Sheets("Calculs").Cells(13, 3).Value = hum

    Sheets("Calculs").Cells(10, 3).Value = dia
    Sheets("Calculs").Cells(11, 3).Value = hora
    resultat = Sheets("Calculs").Range("G34").Value

    If IsNumeric(resultat) = False Then
        resultat = 0
    End If

    If resultat < 0 Then
        resultat = 0
    End If

    Sheets("CalculDia").Cells(filr, colr).Value = resultat

    colt = colt + 1
    filr = filr + 1
Next
Sheets("CalculDia").Range("C7:C30").NumberFormat = "0.0"
Sheets("CalculDia").Select

End Sub

```

Codi CalculAngle

```

Sub calculangle()

Sheets("Dades").Range("D6").Value = Sheets("Dades").Range("P6").Value
Sheets("Dades").Range("D7").Value = Sheets("Dades").Range("P7").Value
Sheets("Dades").Range("D10").Value = Sheets("Dades").Range("P8").Value

fila = 13
nangle = Sheets("Dades").Range("O11").Value
colra = 4

For Angle = 1 To nangle
    filr = 5
    filt = 5
    film = 5
    filra = 5

    Sheets("Dades").Range("D11").Value = Sheets("Dades").Cells(fila, 16).Value

    For dia = 1 To 365

        colr = 4
        colt = 4

        For hora = 1 To 24

            temp = Sheets("Temperatura").Cells(filt, colt).Value
            Sheets("Calculs").Cells(12, 3).Value = temp

            hum = Sheets("Humitat").Cells(filt, colt).Value
            Sheets("Calculs").Cells(13, 3).Value = hum

            colt = colt + 1

            Sheets("Calculs").Cells(10, 3).Value = dia
            Sheets("Calculs").Cells(11, 3).Value = hora
            resultat = Sheets("Calculs").Range("G34").Value

            If IsNumeric(resultat) = False Then
                resultat = 0
            End If

            If resultat < 0 Then
                resultat = 0
            End If

            Sheets("Resultats").Cells(filr, colr).Value = resultat

            colr = colr + 1
            colt = colt + 1
        End For
    End For
End For

```

```
Next

cal = Sheets("Resultats").Cells(film, 29).Value
Sheets("CalculAngle").Cells(filra, colra) = cal

filt = filt + 1
filr = filr + 1
film = film + 1
filra = filra + 1


Next
colra = colra + 1
fila = fila + 1


Next

Sheets("Resultats").Range("D5:AA369").NumberFormat = "0.0"
Sheets("CalculAngle").Select

End Sub
```


ANNEX III: Fulls d'especificacions

Equip	Panell solar
Model	Amerisolar AS-6P 300W
Fabricant	Amerisolar
Preu	229'9€
Web	https://autosolar.es/pdf/Amerisolar-320W-Policristalino.pdf https://www.merkasol.com/Panel-Solar-Policristalino-300w-Amerisolar
	
<ul style="list-style-type: none"> • Rendiment: 15'46% • Potencia pic: 300w. • Dimensions: 1956x992mm • Superfície: 1'94 m² • VMP (voltatge en màxima potència): 36'7 V • IMP (intensitat en màxima potència): 8'18 A • ISC (intensitat de curtcircuit, corrent màxima que produirà el panell solar en una anomalia): 8'68 A 	

Equip	Bateria
Model	OPZS Exide 2V 1410Ah
Fabricant	Exide
Preu	522'17€
Web	Nº(14103410): http://www.ecosinergies.com/wp-content/uploads/2017/07/tarifa-fotovoltaica-PVP-JULIOL-2017-1.pdf
	
<ul style="list-style-type: none"> • Voltatge: 2V • Capacitat: 1410Ah • Dimensions: 215x193x695mm 	

Equip	Regulador de càrrega
Model	Victron BlueSolar MPPT 150/100
Fabricant	Victron
Preu	905'43€
Web	https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-BlueSolar-charge-controller-MPPT-150-45-up-to-150-100-ES.pdf
	
<ul style="list-style-type: none"> • Intensitat d'entrada: 70A • Intensitat de sortida: 100A 	

Equip	Inversor
Model	TBB Solar Max CPI 3000M
Fabricant	TBB Solar Max
Preu	1147'19€
Web	Nº(15008411): http://www.ecosinergies.com/wp-content/uploads/2017/07/tarifa-fotovoltaica-PVP-JULIOL-2017-1.pdf
	
<ul style="list-style-type: none"> • Potencia nominal: 3000W • Potència pic: 3300W(1min), 4500W(20seg) 	