

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Elèctrica

Títol: Millora de l'eficiència energètica en un habitatge unifamiliar
contemplant l'ús d'energia solar fotovoltaica

Document: 1. Memòria

Alumne: Pau Ensenyat Montada

Tutor: Toni Pujol Sagaró
Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció
Àrea: Mecànica de Fluids

Convocatòria (mes/any): juny / 2018

ÍNDEX

1 INTRODUCCIÓ	3
1.1 Antecedents.....	3
1.2 Objecte	3
1.3 Especificacions i abast.....	3
2 HABITATGE BÀSIC.....	6
2.1 Factors constructius.....	6
2.2 Instal·lacions.....	9
2.3 Resultats.....	9
3 HABITATGE CAS 1	12
3.1 Factors constructius.....	12
3.2 Instal·lacions.....	15
3.3 Resultats habitatge 1	16
4 HABITATGE CAS 2	19
4.1 Factors constructius.....	19
4.2 Instal·lacions.....	19
4.3 Resultats habitatge 2	20
5 HABITATGE CAS 3	23
5.1 Factors constructius.....	23
5.2 Instal·lacions.....	23
5.3 Resultats habitatge 3	24
6 HABITATGE CAS 4	27
6.1 Factors constructius.....	27
6.2 Instal·lacions.....	27
6.3 Resultats habitatge 4	28
7 DISCUSSIÓ DE RESULTATS	31
7.1 Cas base vs. cas 1	31
7.1.1 Posidònia.....	32
7.1.2 Suro.....	32
7.1.3 Finestres.....	33
7.2 Cas base vs. cas 2	35
7.2.1 Màquina aerotèrmica	35
7.2.2 Comparació econòmica aerotèrmia - gas	37
7.3 Cas 2 vs. cas 3	38
7.3.1 Justificació compliment normativa	38
7.3.2 Rendibilitat.....	39
8 INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA.....	40
8.1 Elements generadors.....	42

8.1.1 Generador fotovoltaic	42
8.1.2 Inversor	44
8.2 Proteccions elèctriques.....	45
8.2.1 Protecció contra sobreintensitats	45
8.2.2 Protecció contra contactes directes	46
8.2.3 Protecció a terra	46
8.2.4 Protecció contra contactes indirectes	47
8.2.5 Protecció de tensió i freqüència	47
8.3 Cablejat	48
9 CONCLUSIONS	50
10 RELACIÓ DE DOCUMENTS	51
11 BIBLIOGRAFIA.....	52
12 GLOSSARI	54
A VIABILITAT CANVI AÏLLAMENTS.....	55
B VIABILITAT SISTEMA AEROTÈRMIC	57
B.1 Despeses	57
B.2 Amortització	57
C VIABILITAT SISTEMA FOTOVOLTAIC.....	59
C.1 Estudi de consum.....	59
C.2 Producció i consum en hores de sol.....	60
C.3 Cost i benefici de generació	61
C.4 Despeses	63
C.5 Amortització	63
D CÀLCULS	65
D.1 Aigua Calenta Sanitària.....	65
D.2 Ventilació	65
D.3 Climatització.....	66
D.4 Justificació SPF.....	67
D.5 Producció instal·lació FV	67
D.6 Caiguda de tensió de la instal·lació fotovoltaica	68
E PROGRAMA HULC.....	69
E.1 Definir edificació	69
E.2 Definir materials de la construcció.....	69
E.3 Instal·lacions i consum d'ACS	71

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

En el sector de l'edificació, la majoria d'habitatges han estat construïts i dissenyats de forma estàndard per tal de complir amb els mínims requerits per la normativa indicada en el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) sense contemplar la possibilitat de nous materials i noves tecnologies que incrementin l'eficiència energètica de les instal·lacions. A l'any 2020, s'espera l'aparició d'un canvi de normativa per part de la Unió Europea, on s'implantarà l'obligació de fer una edificació més ecològica. Aquesta normativa exigirà que les noves construccions tinguin una demanda neta energètica molt baixa o quasi nul·la sense afectar al confort i salut dels habitants. Les mesures de la UE per aconseguir aquest objectiu són promoure les energies renovables, estalviar el 20% del consum d'energies mitjançant una major eficiència energètica i reduir les emissions de CO₂ en un 20%. Per determinar la viabilitat d'aquest objectiu és necessari estudiar en casos pràctics l'aplicació dels nous avanços tecnològics, de les noves formes de disseny i dels nous tipus de materials en l'àmbit de l'eficiència energètica en l'edificació.

1.2 Objecte

L'objecte del present projecte és obtenir uns criteris per millorar l'eficiència energètica d'habitatges unifamiliars basats en l'estudi de diferents alternatives energètiques i constructives. S'inclou dintre de les opcions de millora, una instal·lació solar fotovoltaica calculada i dimensionada segons les necessitats i els consums estudiats d'un cas real.

1.3 Especificacions i abast

Per satisfer l'objecte citat, es presenten diverses solucions energètiques d'un habitatge en particular. Aquest servirà com habitatge tipus. Per a la part arquitectònica i estructural de la casa s'estudien els efectes dels tancaments, de les cobertes i dels aïllaments d'un habitatge d'aquestes característiques. Per una altra part, també té una gran importància estudiar les instal·lacions i consums energètics del sistema tant de calefacció com de refrigeració, a més de la ventilació requerida. Tots els elements esmentats tenen una gran importància per aconseguir un augment de l'eficiència i de l'estalvi.

Amb l'ajuda de varis programes informàtics, entre ells la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) del Ministeri d'Economia i Competitivitat, es comparen les diverses

solucions estudiades d'un cas en concret. Aquest cas és una casa unifamiliar ubicada al carrer Mèrlera, 12, Palma, Mallorca. Per tant, ens trobem dintre de la zona climàtica B3 a 100 m d'altura respecte el nivell del mar i a una latitud de 39°60'. A la figura següent trobem una il·lustració representativa de la casa de l'estudi.

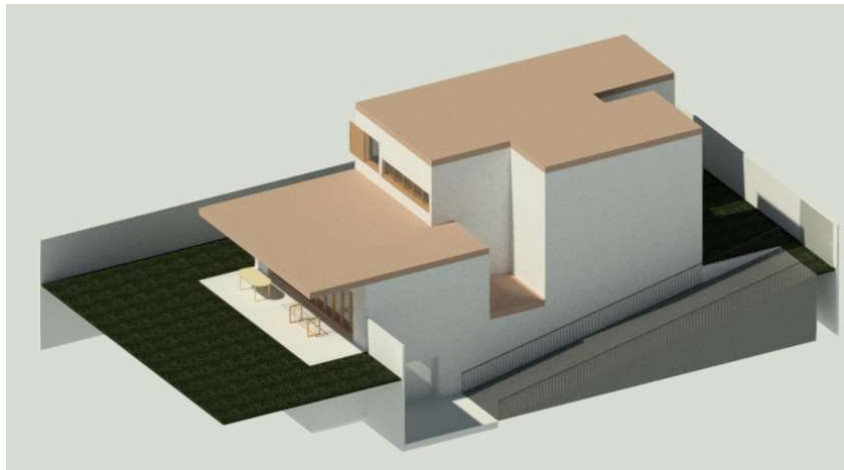


Figura 1. Habitatge estudiat

Es tracta d'un habitatge amb veïns al nord i l'oest de la parcel·la però per les seves altures no causen ombres significatives. En concret, la casa consta de soterrani, planta baixa i primera planta, en total suma 335 m² construïts en un terreny de 438 m². L'edifici té una altura total de 10 metres, 3 metres davall rasant i 7 metres per damunt rasant. Les tres plantes tenen una altura de 3 metres i el fals sostre superior té una altura d'un metre.

Per aquest estudi es considera que dintre de la casa hi viu una família de 4 components. Aquesta informació és necessària per calcular la demanda diària d'aigua calenta sanitària (ACS). Realitzant els càlculs pertinents del codi tècnic de l'edificació, amb aquest tipus d'habitatge i nombre d'habitants, obtenir que el consum total diari d'ACS és de 112 litres per dia a una temperatura de 60 °C.

Per a un correcte estudi, s'ha calculat el cabal de ventilació de l'edifici segons el CTE DB HS 3 "Qualitat de l'aire interior". Per aquest edifici en concret ha donat com a resultat 117 litres per segon.

Els resultats obtinguts en aquest projecte són aplicables a altres habitatges del mateix estil. Amb aquest resultats s'estima tant el cost econòmic com l'eficiència energètica que s'obté al posar un tipus d'aïllants i d'instal·lacions.

De la mateixa manera, en l'ús de l'energia solar fotovoltaica s'estudia també els anys d'amortització en front a la inversió inicial. Cal saber que la normativa vigent marca com a màxim de potència instal·lada la mateixa que la potència contractada i que es cobreixi com a mínim, segons el CTE DB HE 4 que defineix la contribució solar mínima d'ACS, per a la nostra zona climàtica 4 segons el CTE DB HE 4, el 50% d'ACS per via energies renovables.

La taula mostra un resum dels diferents casos que s'estudien. Cal afegir que en el cas 1 i 4 s'han afegit finestres dobles de baixa emissivitat.

Cas	Aïllament	Calefacció / Refrigeració	Fotovoltaica
Base	Poliestirè	Gas / Elèctrica	No
1	Posidònia, suro i formigó cel·lular	Gas / Eléctrica	No
2	Poliestirè	Aerotèrmica	No
3	Poliestirè	Aerotèrmica	Si
4	Posidònia, suro i formigó cel·lular	Aerotèrmica	Si

Taula 1. Característiques casos

El CTE cita uns valors màxims de transmitància tèrmica segons la ubicació de l'habitatge. Com ens trobem en la zona climàtica d'hivern B, els següents valors són els que per normativa no podem sobre passar.

Paràmetre	Transmitància ($W/m^2 \cdot K$)
Murs i elements en contacte amb el terreny	1,00
Cobertes i terres en contacte amb l'aire	0,65
Buits	4,20
Particions horitzontals interiors	1,55
Particions verticals interiors	1,20

Taula 2. Transmitàncies tèrmiques màximes

En el capítol 7 es veuran reflectides una sèrie de comparacions, a més una discussió, amb una mica de profunditat, de les tecnologies estudiades.

2 HABITATGE BÀSIC

En el primer cas, per poder fer una comparativa acurada, s'estudia una casa construïda amb els requeriments mínims establerts pel codi tècnic de la edificació de 2013. Aquest cas base conté els materials més utilitzats en l'edificació, com el poliestirè o la llana de roca com a aïllants. Per a les instal·lacions, s'adjudiquen les més bàsiques segons els requeriments de l'edifici.

2.1 Factors constructius

Com s'ha citat anteriorment, en l'habitatge ens trobem amb cinc tipus de tancaments: cobertes, terres en contacte amb el terreny, façanes, terres interiors (separacions horitzontals) i parets interiors (separacions verticals). Tots ells tenen assignat, per normativa, un valor màxim de transmissió.

En aquest cas, tots els tancaments i particions tenen assignada aproximadament aquest màxim en el programa HULC, de manera que representa la construcció més comú. Seguidament veurem el material utilitzat per aconseguir l'aïllament desitjat. L'ordre de col·locació és de dalt cap a baix per als tancaments horitzontals i d'exterior cap a interior per als tancaments verticals.

Primerament comencem a descriure la configuració dels tancaments horitzontals.

Materials utilitzats per les cobertes són:

Material	Espessor (m)	Conductivitat (W/m·K)	Densitat (kg/m ³)	Cp (J/kg·K)
Plaqueta o rajola de ceràmica	0,007	1,000	2.000	800
Morter de ciment	0,030	0,550	1.125	1.000
Poliestirè expandit	0,020	0,038	30	1.000
Formigó amb argila	0,100	0,610	1.500	1.000
Betum feltre o làmina	0,005	0,230	1.100	1.000
Entrebogat de formigó alleugerit	0,350	1,211	1.035	1.000
Llana mineral	0,010	0,041	40	1.000
Lliscat de guix aïllant	0,020	0,180	550	1.000

Taula 3. Configuració cobertes

En total obtenim una transmitància tèrmica de la coberta de $0,63 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Complim amb la normativa ja que $0,63 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} < 0,65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Materials utilitzats per als terres en contacte amb el terreny:

Material	Espessor (m)	Conductivitat ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	Densitat (kg/m^3)	Cp ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)
Plaqueta o rajola de gres	0,007	2,300	2.500	1.000
Morter de ciment	0,030	0,550	1.125	1.000
Formigó en massa	0,040	1,650	2.150	1.000
Formigó armat	0,200	2,300	2.400	1.000
Poliestirè expandit	0,020	0,038	30	1.000
Arena i grava	0,150	2,000	1.450	1.050
Terra piconada tova, bloc de terra	0,200	1,100	1.885	1.000

Taula 4. Configuració terres contacte amb el terreny

Amb aquesta configuració obtenim una transmitància tèrmica del terra que es troba en contacte amb el terreny de $0,89 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Compleix amb la normativa degut a que $0,89 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} < 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Materials utilitzats per els terres interiors:

Material	Espessor (m)	Conductivitat ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	Densitat (kg/m^3)	Cp ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)
Plaqueta o rajola de ceràmica	0,007	1,000	2.000	800
Morter de ciment	0,030	0,550	1.125	1.000
Formigó amb argila	0,020	0,350	1.000	1.000
Formigó armat	0,200	2,300	2.400	1.000
Entrebogat de formigó alleugerit	0,350	1,211	1.035	1.000
Lliscat de guix aïllant	0,015	0,180	550	1.000

Taula 5. Configuració terres interiors

Amb aquesta configuració obtenim una transmitància tèrmica del terra interior de $1,51 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Es compleix amb la normativa per que no arriba a la transmitància màxima: $1,51 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} < 1,55 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Tant la coberta com els terres en contacte amb el terreny tenen una gran importància ja que són tancaments amb molta superfície. Aquests es situen als dos extrems d'altura de

l'habitatge i són focus de pèrdues d'energia, tant per l'aire calent (hivern) com per l'aire fred (estiu).

Seguidament, de la mateixa manera, es descriuen les configuracions utilitzades per a les particions verticals de l'habitatge.

Materials utilitzats per a la façana:

Material	Espessor (m)	Conductivitat (W/m·K)	Densitat (kg/m ³)	Cp (J/kg·K)
Morter de ciment	0,030	1,300	1.900	1.000
½ Peu LP mètric o català	0,120	0,667	1.140	1.000
Poliestirè expandit	0,020	0,038	30	1.000
Paredó de LH doble	0,070	0,432	930	1.000
Lliscat de guix aïllant	0,020	0,570	1.150	1.000

Taula 6. Configuració façanes

Amb aquests materials s'aconsegueix una transmitància tèrmica de les façanes de 0,92 W/m²·K. Aquest valor compleix amb la normativa per que no arriba a la transmitància màxima: 0,92 W/m²·K < 1,00 W/m²·K.

Materials utilitzats per les parets interiors:

Material	Espessor (m)	Conductivitat (W/m·K)	Densitat (kg/m ³)	Cp (J/kg·K)
Placa de guix laminat	0,020	0,250	825	1.000
Poliestirè expandit	0,020	0,038	30	1.000
Placa de guix laminat	0,020	0,250	825	1.000

Taula 7. Configuració parets interiors

D'aquesta forma s'aconsegueix una transmitància tèrmica per separacions verticals interiors de 1,1 W/m²·K. Es compleix amb la normativa per que no arriba a la transmitància màxima: 1,17 W/m²·K < 1,20 W/m²·K.

Per una banda, a les finestres es considera que es posa un vidre doble bàsic de 4-6-4 (mil·límetres de vidre – càmera – vidre) amb una transmitància tèrmica de 3,3 W/m²·K i un marc metàl·lic que cobreix el 10% del buit. Tot plegat ens garanteix un permeabilitat al aire

de $50 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ a 100 Pa . Segons el CTE, en la zona en què ens trobem podem tenir un màxim de $50 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ a 100 Pa de permeabilitat pel que el tancament proposat compleix.

Per altra banda, ens trobem amb dues portes de fusta de densitat mitjana-alta. El programa HULC predetermina, per la raó que es tracten de portes, d'una permeabilitat de $60 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ a 100 Pa . Es considera com un buit on el marc ocupa el 100%.

2.2 Instal·lacions

En l'habitatge estudiem tant els requeriments per a calefacció com per a refrigeració. Com a base es considera una caldera convencional de gas amb una capacitat total de 30 kW amb un rendiment nominal de 0,85. Es tracta d'una caldera mixta, és a dir, proporciona el servei de calefacció i d'ACS.

Per a la transmissió de calor s'utilitzen radiadors d'alta temperatura dimensionats per cada estància. Per la climatització, s'utilitza A/C amb una unitat exterior que té una capacitat total de refrigeració nominal de $15,50 \text{ kW}$ i un consum de refrigeració nominal de $4,60 \text{ kW}$ amb aparells autònoms en cada estància.

Per el compliment de normativa, el 50% del consum total diari queda cobert per plaques solars tèrmiques com a font d'energia renovable. Les plaques es troben en paral·lel amb l'acumulador d'aigua calenta sanitària de 150 litres. L'acumulador té com temperatura de consigna alta del depòsit 80°C i com a consigna baixa 60°C , predeterminat pel propi programa.

2.3 Resultats

De l'habitatge amb les característiques arquitectòniques descrites anteriorment, obtenim en la certificació que té una demanda energètica de calefacció de $11,42 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{any}$ i de refrigeració de $7,02 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{any}$. La màxima demanda permesa, tant de calefacció com de refrigeració, segons el CTE actual és de $15,00 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{any}$ i, per tant, la casa compleix la normativa.

Per altra banda, el consum d'energia primària no renovable d'aquesta casa és de $28,59 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{any}$. Com que el límit està establert a $55,55 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{any}$, també compleix.

En total, la qualificació energètica de l'edifici en emissions és de 7,50 B i la qualificació energètica de l'edifici en consum d'energia primària no renovable és de 28,59 B, com s'ha citat anteriorment. També obtenim la qualificació parcial de la demanda energètica de calefacció i refrigeració, 11,42 B en calefacció i 7,02 A en refrigeració.

Seguidament podrem veure el desglossament els consums en calefacció, ACS i refrigeració. L'indicador d'il·luminació només es té en compte en el sector terciari per lo que no ens afecta.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
<div><div><6.90A</div><div>6.90-13.00B</div><div>13.00-22.00C</div><div>22.00-35.20D</div><div>35.20-66.80E</div><div>66.80-78.20F</div><div>=>78.20G</div></div>	7.50B	CALEFACCIÓN		ACS		
		Emisiones calefacción (kgCO ₂ /m ² año)	B	Emisiones ACS (kgCO ₂ /m ² año)	A	
		4.85		0.68		
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
		Emisiones globales (kgCO ₂ /m ² año) [†]	Emisiones refrigeración (kgCO ₂ /m ² año)	A	Emisiones iluminación (kgCO ₂ /m ² año)	-
			1.98		-	

Figura 2. Qualificació energètica de l'edifici en emissions de CO₂ (HULC)


INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES				
	28.59 B	CALEFACCIÓN		ACS		
		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m²año)	B	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m²año)	A	
		19.09		3.19		
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN		
		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m²año)		A	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m²año)	-
		6.30			-	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m²año) [†]						

Figura 3. Qualificació energètica de l'edifici en consum d'energia primària no renovable (HULC)

Les emissions totals de l'habitatge són:

Paràmetres	Emissions per m ² i any	Emissions per any
Emissions CO ₂ per consum elèctric	4,46	1.494,10
Emissions CO ₂ per combustibles fòssils	3,05	1.021,75

Taula 8. Emissions per any

Com podem observar, els resultats per a una casa de nova construcció que es dissenya per complir amb els requisits mínim del codi tècnic acaben sent prou bons en termes d'eficiència, encara que cap la possibilitat de millora.

És important per aquest estudi, com veiem a continuació, conèixer els factors de pas d'energia final que considera el programa utilitzat, HULC. Es veu com l'electricitat té un factor de pas d'energia final a energia primària quasi tres vegades més alt que el gas natural i més de dues vegades més alt a energia primària no renovable.

Energético	a Energía Primaria Total (kWhEP/kWhEF)	a Energía Primaria No Renovable (kWhEPNR/kWhEF)	a Emisiones de CO2 (kgCO2/kWhEF)
Electricidad	3.049	2.968	0.932
Gasoleo calefaccion / Fuel-oil	1.182	1.179	0.311
GLP	1.204	1.201	0.254
Gas Natural	1.195	1.190	0.252
Carbon	1.084	1.082	0.472
Biomasa no densificada	1.037	0.034	0.018
Biomasa densificada (pelets)	1.113	0.085	0.018

Figura 4. Factors de pas d'energia final (HULC)

3 HABITATGE CAS 1

En conseqüència de la previsió de la nova normativa europea que s'espera que s'aprovi d'aquí a l'any 2020, s'estudia com a cas una casa construïda amb materials ecològics, biodegradables i respectuosa amb el medi ambient. Per això, s'han incorporats com a materials aïllants tèrmicament la posidònia, el suro i el formigó cel·lular. La resta de components constructius i dispositius de la instal·lació es mantenen com els del cas base anterior.

3.1 Factors constructius

Per a la incorporació d'aquests nous materials s'ha hagut de reconfigurar els tancaments de tipus cobertes, terres en contacte amb el terreny i les façanes. La posidònia només es pot utilitzar en el sostre, ja que en la façana causaria una densitat en posició vertical irregular, a causa de la quantitat que s'ha de posar, i les parets haurien de tenir una resistència superior a l'estàndard per contrarestar la força de la pressió. Com veurem més endavant, el suro substituirà a la posidònia en els llocs on no es pugui instal·lar.

El formigó cel·lular incorpora una acció addicional important, a part de la del propi formigó convencional, és a dir, també té la funció d'aïllant. Aquesta funció addicional es dona gràcies a la seva estructura, la qual reté una gran quantitat d'aire. El formigó cel·lular està compost per arena, ciment, cal, guix i òxid d'alumini. A continuació es descriurà la configuració dels tancaments horitzontals.

Materials utilitzats per a les cobertes:

Material	Espessor (m)	Conductivitat (W/m·K)	Densitat (kg/m ³)	Cp (J/kg·K)
Esquist de pissarra	0,020	2,200	2.400	1.000
Etilè propilè dieno monòmer	0,020	0,250	1.125	1.000
Tauler de encenalls orientades	0,020	0,130	600	1.700
Posidònia	0,200	0,440	185	2.502
Formigó cel·lular	0,050	0,080	300	1.008
Tauler de encenalls orientades	0,020	0,130	600	1.700
Llana mineral	0,020	0,041	40	1.000
Lliscat de guix aïllant	0,020	0,180	550	1.000

Taula 9. Configuració cobertes

A continuació trobem un detall de la configuració preestablerta d'aquest tipus de coberta amb la incorporació de la posidònia i suro.

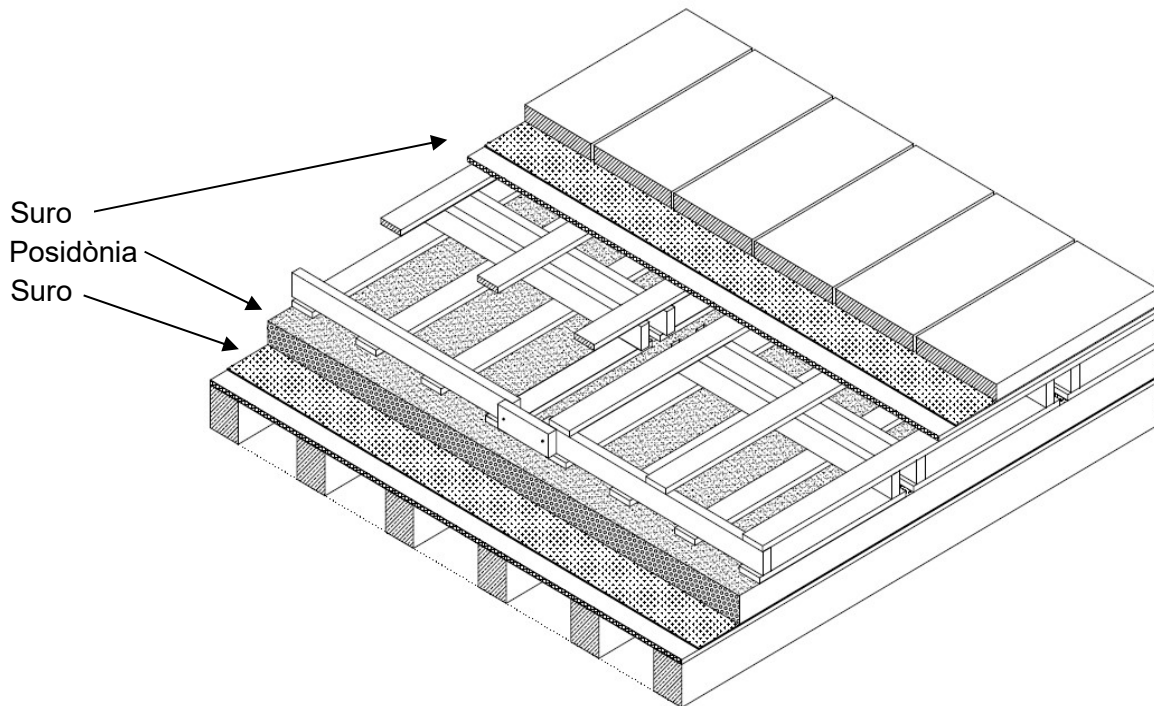


Figura 5. Detall coberta en posidònia

En total obtenim una transmissància tèrmica per a la coberta de $0,45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Complim amb la normativa ja que $0,45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} < 0,65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i obtenim una millora respecte a la casa base que tenia $0,63 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Materials utilitzats per als terres en contacte amb el terreny:

Material	Espressor (m)	Conductivitat (W/m·K)	Densitat (kg/m³)	Cp (J/kg·K)
Plaqueta o rajola de gres	0,007	2,300	2.500	1.000
Morter de ciment	0,030	0,550	1.125	1.000
Formigó en massa	0,040	1,650	2.150	1.000
Formigó armat	0,200	2,300	2.400	1.000
Suro	0,030	0,047	168	1.050
Arena i grava	0,150	2,000	1.450	1.050
Terra piconada tova, bloc de terra	0,200	1,100	1.885	1.000

Taula 10. Configuració terres contacte amb el terreny

Amb aquesta configuració obtenim una transmitància tèrmica per al terra que es troba en contacte amb el terreny de $0,78 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Compleix amb la normativa ja que $0,78 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} < 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Amb el nou cas, on hem inclòs el suro, també trobem una millor enfront als $0,89 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ que teníem amb la casa base.

Materials utilitzats per als terres interiors:

Material	Espessor (m)	Conductivitat ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	Densitat (kg/m^3)	Cp ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)
Plaqueta o rajola de ceràmica	0,007	1,000	2.000	800
Morter de ciment	0,030	0,550	1.125	1.000
Formigó amb argila	0,020	0,350	1.000	1.000
Formigó armat	0,200	2,300	2.400	1.000
Entrebogat de formigó alleugerit	0,350	1,211	1.035	1.000
Lliscat de guix aïllant	0,015	0,180	550	1.000

Taula 11. Configuració terres interiors

L'estructura arquitectònica dels terres interiors és exactament la mateixa que a la casa base. Recordem que té una transmitància tèrmica per al terra interior de $1,51 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Es compleix amb la normativa per que no arriba a la transmitància màxima: $1,51 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} < 1,55 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. No es modifica l'estructura arquitectònica ja que aconseguim l'objectiu de no haver d'aplicar cap aïllant derivat directament del petroli.

Continuant de la mateixa forma, es descriu l'estructura utilitzada per a les diferents particions verticals de l'habitatge.

Materials utilitzats per a la façana:

Material	Espessor (m)	Conductivitat ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	Densitat (kg/m^3)	Cp ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)
Morter de ciment	0,020	1,300	1.900	1.000
½ Peu LP mètric o català	0,115	0,512	900	1.000
Suro	0,010	0,047	168	1.880
Formigó cel·lular	0,050	0,080	300	1.008
Lliscat de guix aïllant	0,020	0,570	1.150	1.000

Taula 12. Configuració façanes

Com s'observa, s'ha incorporat el formigó cel·lular, a l'igual que en la coberta i el suro com a substitució de la posidònia.

Amb aquests nous materials s'aconsegueix una transmitància tèrmica per a les façanes de $0,78 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Es compleix amb la normativa per que no arriba a la transmitància màxima: $0,78 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} < 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. També tenim una millora notable en comparació a $0,92 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ que teníem anteriorment.

Materials utilitzats per a les parets interiors:

Material	Espessor (m)	Conductivitat ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	Densitat (kg/m^3)	Cp ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)
Placa de guix laminat	0,020	0,250	825	1.000
Càmera d'aire sense ventilar 5 cm				
Suro	0,010	0,047	168	1.880
Càmera d'aire sense ventilar 5 cm				
Placa de guix laminat	0,020	0,250	825	1.000

Taula 13. Configuració parets interiors

D'aquesta forma s'aconsegueix una transmitància tèrmica per separacions verticals interiors de $1,11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Es compleix amb la normativa per que no arriba a la transmitància màxima: $1,11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} < 1,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. També millorem respecte a l'anterior configuració.

Per a les finestres es planteja la instal·lació d'un vidre doble baix en emissions de 4-12-4 (mil·límetres de vidre – càmera – vidre). Es tracta de vidres monolítics damunt els quals s'ha dipositat una capa d'òxids metàl·lics extremadament fina. Gràcies a dita capa i l'espessor triat, la transmitància tèrmica, amb un marc de PVC que cobreix el 10% del buit, és de $1,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Tot plegat seguim considerant una permeabilitat a l'aire de $50 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ a 100 Pa.

Les dues portes de fusta de densitat mitjana-alta les hem seguit conservant sense canvis per estètica i funcionalitat. El programa HULC predetermina, per la raó que es tracten de portes, una permeabilitat de $60 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ a 100Pa. Com s'ha comentat anteriorment, es considera com un buit on el marc ocupa el 100%.

3.2 Instal·lacions

En aquesta cas, en l'habitatge no trobem cap canvi en les instal·lacions respecte a la casa base. Seguim amb una caldera mixta convencional de gas amb la capacitat de 30 kW inicials i un rendiment de 0,85. Com a unitats terminals s'utilitzen radiadors d'alta

temperatura amb les mateixes dimensions. La climatització mantén el seu disseny amb la mateixa potència de 15,50 kW.

Sense canvis, i per compliment de normativa, ens trobem que el 50% del consum total diari queda cobert per plaques solars tèrmiques, connectades amb paral·lel a un acumulador d'aigua calenta sanitària de 150 litres.

3.3 Resultats habitatge 1

Per una banda, canviant els materials i modificant les característiques arquitectòniques respecte la casa base, en la certificació obtenim una millora dintre de la demanda energètica de la calefacció a 8,45 kWh/m²·any amb una disminució de 2,97 kWh/m²·any. En canvi, el la demanda energètica de refrigeració ens augmenta a un 7,35 kWh/m²·any tenint una diferència de 0,33 kWh/m²·any respecte el cas base.

Per altra banda, el consum d'energia primària no renovable disminueix significativament fins 25,08 kWh/m²·any, disminuint 3,51 kWh/m²·any. Tot el conjunt fa que la qualificació energètica de l'edifici en emissions pugi de categoria, així aconseguint una puntuació de 6,72 A (casa base 7,50 B).

Concepte	Valor cas 1 (kWh/m ² ·any)	Variació respecte el cas base (kWh/m ² ·any)	Variació respecte el cas base (%)
Demanda energètica de calefacció	8,45	-2,97	-26,00
Demanda energètica de refrigeració	7,35	0,33	4,70
Consum d'energia primària no renovable	25,08	-3,51	-12,27

Taula 14. Comparació cas 1 amb cas base

Com hem citat, a la qualificació parcial de la demanda energètica de la calefacció millorem i canviem de categoria amb un 8,45A (cas base 11,42B), però en refrigeració empitjora, mantenint la categoria fins un 7,35A (cas base 7,03A).

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
<div><div><6.90 A</div><div>6.90-13.00 B</div><div>13.00-22.00 C</div><div>22.00-35.20 D</div><div>35.20-66.80 E</div><div>66.80-78.20 F</div><div>=>78.20 G</div></div>	6.72 A	CALEFACCIÓN		ACS	
		Emisiones calefacción (kgCO ₂ /m ² año)	B	Emisiones ACS (kgCO ₂ /m ² año)	A
		4.01		0.68	
				REFRIGERACIÓN	
Emisiones globales (kgCO ₂ /m ² año) ¹		Emisiones refrigeración (kgCO ₂ /m ² año)	A	Emisiones iluminación (kgCO ₂ /m ² año)	-
		2.03		-	

Figura 6. Qualificació energètica de l'edifici en emissions (HULC)

Com hem comentat, la demanda de calefacció ha baixat i, per tant, també ho faran les seves emissions, que són de 0,84 kgCO₂/m²·any menys respecte la casa base, però a canvi la refrigeració ha experimentat un petit augment 0,05 kgCO₂/m²·any mantenint la seva categoria. L'aigua calenta sanitària no s'ha vist afectada ja que les instal·lacions d'aquesta són les mateixes que la casa base. Seguidament amb el consum d'energia primària no renovable ens trobem amb el mateix cas.

La calefacció disminueix 3,68 kgCO₂/m²·any conservant la seva categoria, B i la refrigeració augmenta només 0,17 kgCO₂/m²·any sense canviar la seva categoria tampoc, A.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES					
	25.08 A	CALEFACCIÓN		ACS			
		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m²·año)	B	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m²·año)	A		
		15.41		3.19			
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN			
		Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m²·año) ¹		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m²·año)	A	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m²·año)	-
				6.47		-	

Figura 7. Qualificació energètica de l'edifici en consum d'energia primària no renovable (HULC)

Les emissions totals de l'habitatge del cas 1 en comparació al cas base són:

Paràmetres	Emissions per m ² i any	Emissions per any	Emissions per any cas base
Emissions CO ₂ per consum elèctric	4,32	1.447,20	1.494,10
Emissions CO ₂ per combustibles fòssils	2,40	804,00	1.021,75

Taula 15. Emissions per any

En les emissions veiem una baixada significativa. Les emissions a l'any de consum elèctric disminueixen 46,90 kgCO₂ en comparació a la casa convencional (això equival a una

reducció de -3,14% en el valor anual). De la mateixa manera, les emissions per consum de combustibles fòssils minoren 217,75 kgCO₂ (que equival a un -21,31%) sense cap canvi d'instal·lacions. Aquesta decreixement significa una gran disminució d'emissions respecte a les que tindríem amb el cas base. Cal destacar que amb el simple canvi de materials en la construcció s'ha millorat l'eficiència de l'habitatge, es contribueix al cuidat del medi ambient i es converteix amb una casa on alguns dels seus materials de construcció seran molt més biodegradables, l'aspecte econòmic es reflecteix a l'apartat 7.1.

L'augment de la refrigeració es donat per la instal·lació de vidres dobles amb baixa emissivitat. En els mesos de més calor (estiu) les finestres amb baixa emissivitat orientades al sud poden arribar a transmetre molta quantitat de calor a l'interior de l'habitatge.

4 HABITATGE CAS 2

Com en el cas 1 hem fet un canvi en els aspectes arquitectònics, per el compliment de la propera normativa europea i saber quines millores proporcionaria el canvi de materials, el cas 2 es mantenen els mateixos materials que el cas base però es modifiquen totes les instal·lacions de la casa. Ara incorporem un sistema a priori més net i eficient anomenat aerotèrmia.

4.1 Factors constructius

A l'igual que el cas base, els cinc tipus de tancaments tenen assignat el valor màxim, per normativa, de transmitància. A continuació, es recordarà la transmitància aconseguida per cada tancament de la casa base.

Paràmetre	Transmitància (W/m ² ·K)
Cobertes	0,63
Terres en contacte amb el terreny	0,89
Terres interiors	1,51
Façana	0,92
Parets interiors	1,17

Taula 16. Transmitàncies tèrmiques

Les finestres es quedaran amb la mateixa configuració de la casa base, és a dir, en marcs metàl·lics amb un vidre 4-6-4.

4.2 Instal·lacions

En aquest cas trobem el canvi en les instal·lacions. Hem substituït la caldera de gas convencional per una màquina aerotèrmica monobloc. Aquesta bomba d'aire-aigua té una capacitat nominal de 16,00 kW i un consum nominal de 3,79 kW de màxim. La bomba també és capaç d'escalfar el dipòsit d'aigua calenta sanitària de 150 litres a 70 °C. Com a unitat terminal es té terra radiant en tots els espais, de manera que la temperatura de sortida de la màquina és a 35°C i aconseguim una major inèrcia en el circuit de la calefacció. Cal destacar que el terra radiant te la capacitat de proporcionar fred a l'habitatge. La mateixa màquina proporciona refrigeració amb una capacitat total nominal de 16,73 kW i un consum nominal de 6,28 kW.

L'aerotèrmia utilitzada té un 80% de l'energia aportada procedent de l'aire (com a font renovable), l'altre 20% l'obté del consum elèctric. Les plaques solars tèrmiques podrien ser substituïdes per l'aerotèrmia, però depèn del valor de COP de la màquina principal de l'aerotèrmia, el factor de ponderació segons la zona climàtica en què ens trobem i de la temperatura de condensació (factor de correcció). Amb tot els darrers valors multiplicats s'aconsegueix trobar el SPF. El CTE estableix que es podrien substituir les plaques solars tèrmiques en el cas que en que el SPF de la bomba de calor sigui igual o superior a 2,5. Per aconseguir aquest valor de SPF (factor de rendiment mig estacional estimatiu), el COP hauria de ser mínim de 5,66, un valor molt alt. Per això, es considera que seguirà havent plaques solars tèrmiques per aportar el 50% d'ACS.

4.3 Resultats habitatge 2

Per un costat, canviant les instal·lacions respecte la casa base, en la certificació obtenim una millora poc significativa de la demanda energètica de calefacció que ara és de 11,36 kWh/m²·any. En canvi, el la demanda energètica de refrigeració es manté a 7,03 kWh/m²·any.

Per l'altra banda, el consum d'energia primària no renovable disminueix fins 24,43 kWh/m²·any, 4,16 kWh/m²·any menys que el cas base. Tot el conjunt fa que la qualificació energètica de l'edifici en emissions es quedi a la mateixa categoria, amb una puntuació de 7,22 B. En aquest cas, ha disminuït 0,38 punts en comparació al cas base (7,60 B). En la taula següent podem observar la comparació amb el cas base.

Concepte	Valor cas 2 (kWh/m ² ·any)	Variació respecte el cas base (kWh/m ² ·any)	Variació respecte el cas base (%)
Demanda energètica de calefacció	11,36	-0,06	-0,52
Demanda energètica de refrigeració	7,03	0,01	0,14
Consum d'energia primària no renovable	24,43	-4,16	-14,55

Taula 17. Comparació cas 2 amb cas base

L'aerotèrmia ens millora el coeficient d'emissions de calefacció a un 3,39 kgCO₂/m²·any, però augmenta a 3,18 kgCO₂/m²·any la refrigeració, respecte al cas base. Aquest canvi és donat per la unitat terminal. En el cas base es configuren splits com a unitat terminals de la

refrigeració i en aquest cas, el propi terra radiant té la característica de poder proporcionar fred a l'habitatge.

Seguidament es mostra el desglossament, anteriorment comentat, dels indicadors dels consum de calefacció, ACS i refrigeració.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
<div><div><6.90 A</div><div>6.90-13.00 B</div><div>13.00-22.00 C</div><div>22.00-35.20 D</div><div>35.20-66.80 E</div><div>66.80-78.20 F</div><div>=>78.20 G</div></div> <div>7.22 B</div>		CALEFACCIÓN		ACS	
		Emisiones calefacción (kgCO ₂ /m ² año)	A	Emisiones ACS (kgCO ₂ /m ² año)	A
		3.39		0.66	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		Emisiones refrigeración (kgCO ₂ /m ² año)	A	Emisiones iluminación (kgCO ₂ /m ² año)	-
		3.18		-	
Emisiones globales (kgCO ₂ /m ² año) [†]					

Figura 8. Qualificació energètica de l'edifici en emissions (HULC)

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
<div><div><26.10A</div><div>26.10-49.6B</div><div>49.60-83.80C</div><div>83.80-134.30D</div><div>134.30-242.70E</div><div>242.70-284.00F</div><div>=>284.00G</div></div> <div>24.43A</div>		CALEFACCIÓN		ACS	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m²año) [†]		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m²año)	A	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m²año)	A
		12.22		2.10	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m²año)	A	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m²año)	-
		10.11		-	

Figura 9. Qualificació energètica de l'edifici en consum d'energia primària no renovable (HULC)

Les emissions globals d'ACS tenen una petita disminució a 0,02 kgCO₂/m²·any, però en consum global d'energia no renovable obtenim una diferència més important, reduïm fins a 1,09 kWh/m²·any, respecte el cas base. Això significa que hem augmentat les renovables com a font d'ACS.

Paràmetres	Emissions per m ² i any	Emissions per any	Emissions per any cas base
Emissions CO ₂ per consum elèctric	6,29	2.107,15	1.494,10
Emissions CO ₂ per combustibles fòssils	0,93	311,55	1.021,75

Taula 18. Emissions per any

Com és lògic, augmenten les emissions de CO₂ per al consum elèctric (passant de 1.494,10 kgCO₂/any a 2.107,15 kgCO₂/any) ja que l'aerotèrmia és una màquina elèctrica. Com igual passa amb les emissions de CO₂ per combustibles fòssils, ja no tenim una caldera a gas, el

qual es considera combustible fòssil, pel que aquestes es redueixen molt, passant de 1.021,75 kgCO₂/any a 311,55 kgCO₂/any.

5 HABITATGE CAS 3

Per aquest cas, afegim una planta fotovoltaica a l'habitatge ja que totes les instal·lacions, ACS, calefacció i refrigeració, van amb l'equip elèctric d'aerotèrmia. Es tracta d'aconseguir un autoconsum el més acurat possible per no injectar energia a la xarxa. Per aquesta raó, la instal·lació té una potència pic de 5 kW, és a dir, 20 plaques de 250 W. Les característiques arquitectòniques són les mateixes que la casa base i la instal·lació igual que el cas anterior, el cas 2.

5.1 Factors constructius

Com tenim la mateixa construcció que en el cas anterior, recordem les propietats tèrmiques d'aquests.

Paràmetre	Transmitància ($W/m^2 \cdot K$)
Cobertes	0,63
Terres en contacte amb el terreny	0,89
Terres interiors	1,51
Façana	0,92
Parets interiors	1,17

Taula 19. Transmitàncies tèrmiques

Les finestres es quedaran amb la mateixa configuració de la casa base, és a dir, en marcs metàl·lics amb un vidre 4-6-4.

5.2 Instal·lacions

Com l'anterior cas, s'ha substituït la caldera convencional de gas per una màquina aerotèrmica amb les mateixes propietats que el cas 2. La diferència és que es canvien les plaques solars tèrmiques per plaques solars fotovoltaïques.

En l'apartat de resultats es veu la justificació del canvi de plaques tèrmiques per plaques fotovoltaïques més la màquina aerotèrmica mitjançant el valor de les emissions globals de l'edifici. Tal com diu el CTE DB HE 4, la contribució solar per ACS pot ser substituïda per una instal·lació alternativa d'altres fonts renovables. L'acumulador d'ACS segueix sent el mateix de 150 litres a 70°C. L'acumulador està connectat a la màquina aerotèrmica que és capaç d'escalfar-lo.

5.3 Resultats habitatge 3

El canvi de plaques tèrmiques a plaques fotovoltaïques ha suposat un petit empitjorament de la demanda energètica de la calefacció de 11,42 kWh/m²·any respecte al cas 2 i igualar el valor del cas base. Per el costat de refrigeració millorem tant en el cas base com el cas 2 necessitant 7,02 kWh/m²·any.

La diferència més gran la trobem amb el consum d'energia primària no renovable que ens decreix fins el valor de -10,25 kWh/m²·any. Aquest resultat, el signe negatiu, és donat a la producció d'energia fotovoltaica sobrant que injectem a la xarxa.

Tot plegat s'aconsegueix una qualificació energètica de l'habitatge en emissions de -3,67 kWh/m²·any arribant a la categoria més alta, A.

Concepte	Valor cas 3 (kWh/m ² ·any)	Variació respecte el cas base (kWh/m ² ·any)	Variació respecte el cas base (%)
Demanda energètica de calefacció	11,42	0,00	0,00
Demanda energètica de refrigeració	7,02	0,00	0,00
Consum d'energia primària no renovable	-10,25	-38,84	-135,85

Taula 20. Comparació cas 3 amb cas base

A continuació, podem veure les emissions de CO₂.

Paràmetres	Emissions per m ² i any	Emissions per any	Emissions per any cas 2
Emissions CO ₂ per consum elèctric	6,77	2.267,95	2.107,15
Emissions CO ₂ per combustibles fòssils	0,94	314,90	311,55

Taula 21. Emissions per any

Veiem que el consum elèctric ens ha augmentat respecte al cas 2 (de 2.107,15 kgCO₂/any a 2.267,95 kgCO₂/any) a causa de la eliminació de les plaques tèrmiques, però hem de tenir en compte la connexió, i per lo tant producció de les plaques solar elèctriques. En la taula no contempla aquesta producció que tenim. Les emissions per combustibles fòssils pràcticament es mantenen des de el cas 2 i disminueixen significativament respecte al cas base (passant de 1.021,75 kgCO₂/any a 314,90 kgCO₂/any).

En els següents desglossaments trobem que els indicadors parcials no tenen en compte tampoc la producció de les plaques fotovoltaïques però sí que això es veu reflectit en els indicadors globals.

Els coeficients d'emissions de calefacció i refrigeració pràcticament es mantenen als del cas anterior ja que es tracta de la mateixa màquina aerotèrmica. A diferència de la calefacció i la refrigeració, el coeficient de l'ACS ens augmenta a 1,15 kWh/m²·any ja que hem llevat l'aportació del 50% de les plaques solars tèrmiques que teníem en els anteriors casos.

Mitjançant la realització d'un estudi de consum d'una casa d'aquestes característiques amb 4 ocupants, hem calculat que la producció de les plaques solars en el nostre emplaçament és de 9.475 kWh/any. D'aquesta producció, tenim un autoconsum de 7.870,13 kWh/any. Això significa que tenim un sobrant de 1.605,83 kWh/any.

Aquests valor han estat introduïts dintre del programa HULC per a que aquest els tingui en compte a l'hora de calcular els resultats, tal i com es veu reflectit en els càlculs a l'annex C.

De la mateixa manera trobem el desglossament, com els anteriors casos, que extraïem del certificat del programa HULC.


INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES					
	-3.67 A	CALEFACCIÓN		ACS			
		Emisiones calefacción (kgCO ₂ /m ² año)	A	Emisiones ACS (kgCO ₂ /m ² año)	A		
		3.39		1.15			
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN			
		Emisiones globales (kgCO ₂ /m ² año) ¹		Emisiones refrigeración (kgCO ₂ /m ² año)	A	Emisiones iluminación (kgCO ₂ /m ² año)	-
				3.17		-	

Figura 10. Qualificació energètica de l'edifici en emissions (HULC)

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
<div><div><div><26.10</div><div>26.10-49.6</div><div>49.60-83.80</div><div>83.80-134.30</div><div>134.30-242.70</div><div>242.70-284.00</div><div>>=284.00</div></div><div><div>A</div><div>B</div><div>C</div><div>D</div><div>E</div><div>F</div><div>G</div></div></div> <div><div>-10.25</div><div>A</div></div>		CALEFACCIÓN		ACS	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m².año) ¹		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m².año)	A	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m².año)	A
		12.25		3.67	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m².año)	A	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m².año)	-
		10.10		-	

Figura 11. Qualificació energètica de l'edifici en consum d'energia primària no renovable (HULC)

Per l'indicador d'emissió global veiem justificada la instal·lació de les plaques fotovoltaiques en substitució de les plaques tèrmiques per que emetem menys $\text{kgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{any}$. A més, amb les plaques solar elèctriques complim uns dels objectiu de les futures mesures de la UE que és reduir un 20% les emissions de CO_2 .

6 HABITATGE CAS 4

Per al darrer cas, apliquem totes les millores que hem anat trobant a llarg de l'estudi. Així modifiquem la part arquitectònica per tenir un major aïllament i considerem la instal·lació d'una màquina aerotèrmica incloent la producció d'energia elèctrica mitjançant plaques solars elèctriques fotovoltaïques. Recordem que d'aquesta manera també compliríem uns dels objectius de la futura nova normativa europea de 2020.

6.1 Factors constructius

Les característiques constructives ja han estat especificades en el cas 1, ja que s'han adjudicat els mateixos materials per a cada tancament. Tot i això recordem els valors de les transmitàncies del cas 1 per tenir més clar i valorar els resultats que ens dona aquesta configuració d'habitatge.

Paràmetre	Transmitància ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)
Cobertes	0,45
Terres en contacte amb el terreny	0,78
Terres interiors	1,51
Façana	0,78
Parets interiors	1,11

Taula 22. Transmitàncies tèrmiques

A l'igual que en el cas 1, les finestres es posen amb un marc de PVC amb vidre doble de baixa emissivitat amb la composició 4-12-4.

6.2 Instal·lacions

Aquest cas no presenta cap modificació en les instal·lacions respecte al cas anterior (cas 3). L'habitatge només presenta una millora i una modificació constructiva. La màquina d'aerotèrmia és la mateixa, tenim la mateixa potència de plaques, es a dir, 5 kW i com a unitat terminal és el terra radiant capaç d'aportar fred. Com hem citat amb anterioritat, la planta fotovoltaica produeix aproximadament 9.475 kWh/any.

Com s'ha explicat anteriorment, ja no tenim la contribució del 50% d'ACS de les plaques tèrmiques, si no que aquestes han estat substituïdes per la instal·lació de les plaques fotovoltaïques.

6.3 Resultats habitatge 4

El canvi proposat en el cas 1 i implantat en aquest cas, el 4, ha suposat una millora de la demanda energètica de la calefacció, essent ara de 8,53 kWh/m²·any. Aquest canvi, no només ens ha permès millorar respecte el cas base, si no que també del cas 3. Per la banda de refrigeració obtenim un valor de 7,34 kWh/m²·any, el que suposa un empitjorament de 0,32 kWh/m²·any en comparació al cas base i també del cas 3 causat per la instal·lació de finestres amb baixa emissivitat.

Com l'anterior cas, la diferència més significativa la trobem en el consum d'energia primària no renovable que baixa fins a -12,58 kWh/m²·any. El resultat del signe negatiu es dona pel sobrant de producció energètica que s'ha generat per la planta fotovoltaica. Tot junt suposa una qualificació energètica de l'habitatge en emissions de -4,26 kWh/m²·any.

Concepte	Valor cas 4 (kWh/m ² ·any)	Variació respecte el cas base (kWh/m ² ·any)	Variació respecte el cas base (%)
Demanda energètica de calefacció	8,53	-2,89	-25,30
Demanda energètica de refrigeració	7,34	0,31	-4,40
Consum d'energia primària no renovable	-12,58	-41,17	-144,00

Taula 23. Comparació cas 4 amb cas base

Per això, com podem observar, la categoria aconseguida és la més alta, A.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
<div><div><6.90 A</div><div>6.90-13.00 B</div><div>13.00-22.00 C</div><div>22.00-35.20 D</div><div>35.20-66.80 E</div><div>66.80-78.20 F</div><div>=>78.20 G</div></div>	<div>-4.26 A</div>	CALEFACCIÓN		ACS	
		Emisiones calefacción (kgCO ₂ /m ² año)	A	Emisiones ACS (kgCO ₂ /m ² año)	A
		2.72		1.15	
Emisiones globales (kgCO ₂ /m ² año) ¹		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		Emisiones refrigeración (kgCO ₂ /m ² año)	A	Emisiones iluminación (kgCO ₂ /m ² año)	-
		3.25		-	

Figura 12. Qualificació energètica de l'edifici en emissions (HULC)

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
<div><div><div><26.10</div><div>26.10-49.6</div><div>49.60-83.80</div><div>83.80-134.30</div><div>134.30-242.70</div><div>242.70-284.00</div><div>=>284.00</div></div><div><div>A</div><div>B</div><div>C</div><div>D</div><div>E</div><div>F</div><div>G</div></div></div> <div><div>-12.58</div><div>A</div></div>		CALEFACCIÓN		ACS	
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m²año) ¹		Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m²año)	A	Energía primaria no renovable ACS (kWh/m²año)	A
		9.66		3.67	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m²año)	A	Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m²año)	-
		10.36		-	

Figura 13. Qualificació energètica de l'edifici en consum d'energia primària no renovable (HULC)

Com podem veure, els indicadors parcials d'ACS no han variat en absolut en comparació amb el cas anterior. Com en el programa s'ha adjudicat un 0% de la fracció coberta per el sistema solar tèrmic per què no tenim plaques tèrmiques, es considera que les plaques fotovoltaïques no aporten res a l'ACS i ens dona un valor més gran que el cas base.

Per una banda, tant el valor de les emissions globals com el consum global d'energia primària no renovable ha disminuït molt significativament si ho contrastem amb el cas base. Igualment si comprovem amb els resultats del cas 3, els valors del cas 4 són una mica més baixos.

Per altra banda, els indicadors de la refrigeració han pujat en comparació del cas base i del cas 3. Des de el punt de vista del cas base, els valors han tingut un creixement a causa del canvi de mètode de refrigeració. Si es veu conjuntament amb el cas 3, augmenta molt poc. Aquest augment es dona degut a la nova estructura arquitectònica (l'ús d'aïllament alternatiu) de la casa.

Paràmetres	Emissions per m² i any	Emissions per any	Emissions per any cas base
Emissions CO ₂ per consum elèctric	6,48	2.179,80	1.494,10
Emissions CO ₂ per combustibles fòssils	0,65	217,75	1.021,75

Taula 24. Emissions per any

A la taula 24 observem que les emissions han patit una disminució respecte al cas 3. L'aïllament que ara tenim a l'envolent de l'habitatge ens permet reduir la demanda energètica i, per tant, consumir menys. Dit d'una altra forma, la màquina elèctrica d'aerotèrmia arranca menys vegades ja que és més fàcil mantenir la temperatura de confort interior. Aquesta temperatura seria de 21 °C per a l'hivern i de 25 °C a l'estiu. Tampoc tenim

la caldera convencional la qual cremava gas pel que les emissions de CO₂ per combustibles fòssils són mínimes així presentant una baixada de 804 kgCO₂/any.

7 DISCUSSIÓ DE RESULTATS

En aquest apartat es comparen i s'analitzen amb més detall els resultats dels casos anteriors. Per tenir més clar, es resumeixen els resultats de la certificació obtinguts al llarg de l'estudi per poder fer aquesta comparativa global i les demandes de cada cas.

Cas	Aïllament	Calefacció / Refrigeració	Fotovoltaica	Certificació
Base	Poliestirè	Gas / Elèctrica	No	7,6 B
1	Posidònia, suro i formigó cel·lular	Gas / Elèctrica	No	6,8 A
2	Poliestirè	Aerotèrmica	No	7,3 B
3	Poliestirè	Aerotèrmica	Si	-3,7 A
4	Posidònia, suro i formigó cel·lular	Aerotèrmica	Si	-4,3 A

Taula 25. Resum de les certificacions per a cada cas

Cas	Demanda energètica de calefacció (kWh/m ² ·any)	Demanda energètica de refrigeració (kWh/m ² ·any)	Consum d'energia primària no renovable (kWh/m ² ·any)
Base	11,45	7,02	28,59
1	8,45	7,35	25,08
2	11,36	7,03	24,43
3	11,42	7,02	-10,25
4	8,53	7,34	-12,58

Taula 26. Resum demandes per a cada cas

Si analitzem segons el tipus de canvis realitzats veurem l'aïllament, instal·lació o tipus de plaques que més ens convenen. Recordem que en els casos on s'han posat plaques solars fotovoltaïques s'han eliminat les plaques solars tèrmiques. En el cas base, el cas 2 i el cas 3 les finestres són de doble vidre 4-6-4 amb marc metàl·lic i en els casos 1 i 4 les finestres tenen un marc de PVC i un doble vidre baix emissiu de 4-12-4.

7.1 Cas base vs. cas 1

Entre el cas base i el cas 1, la diferència la trobem amb l'aïllant tèrmic. El canvi d'aïllant per un de més ecològic ens ha millorat la certificació de l'habitatge i ens ha pujat de categoria de B a A. L'eficiència de la casa amb un material més respectuós amb el medi ambient i unes finestres més bones ens ha proporcionat una millor estanqueïtat. Amb els nous materials utilitzats aconseguim l'objectiu de la futura normativa europea, reduir les emissions de gas d'efecte hivernacle CO₂ un 20%.

7.1.1 Posidònia

Per aconseguir un bon aïllament de posidònia al sostre, aquesta s'ha de compactar fins arribar a tenir una densitat de 185 kg/m^3 . D'aquesta manera arribem a tenir una conductivitat tèrmica de $0,44 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ i un espessor de 20 cm. Com a complementació, com hem vist a les taules del cas 1, es posa formigó cel·lular i llana mineral. La posidònia només és un substitutiu del poliestirè en el sostre.

L'avantatge de la posidònia és que no té la necessitat de tractament químic, la sal del mar actua com a biocida natural, pel que és un producte totalment ecològic. L'únic tractament que s'ha de fer a la posidònia és estendre-la al sol per a que s'assequi. A més, a canvi d'invertir en una indústria química estrangera i contaminant, s'inverteix amb mà d'obra local i zero emissions. Igualment, l'aïllament de posidònia té menor petjada ecològica que el poliestirè ja que la contaminació per transport és menor, el tractament necessari per a la seva posada a punt és mínima i no deixa residus quan finalitza la seva vida útil ja que es biodegradable.

La desavantatge de la posidònia és el seu cost. El cost de la posidònia és de $3,40 \text{ €/m}^2$, més del doble que el poliestirè (que és de $1,50 \text{ €/m}^2$). És complicat comparar la valoració dels costos ja que els dos productes no es treballen al mateix país, per lo que inclús les condicions de treball en cada lloc són distintes. La diferència de preu total d'aquest habitatge entre la posidònia i el poliestirè és $181,00\text{€}$ més cara la posidònia. Per altra banda, s'ha pogut estudiar la recuperació de la inversió, juntament amb el canvi de finestres i el suro, i es pot veure reflectit en l'annex A.

7.1.2 Suro

El suro és un bon material aïllant tèrmic i acústic. S'utilitza en parets i amb terres que estan en contacte amb el terra. El suro és un material ràpidament renovable, per exemple, la surera és un arbre el qual és capaç de renovar la seva escorça cada 9 o 12 anys i això dona la possibilitat d'aconseguir suro sense perjudicar l'arbre. És un material que contamina molt poc durant el seu cicle de vida, ja que es pot reciclar i reutilitzar, però necessita tractament. També és un material que surt de l'emmagatzemat de retirar el CO_2 de l'atmosfera.

A l'igual que la posidònia, el seu cost és més elevat que el poliestirè i la seva inversió no s'arriba amortitzar. El cost és del rang de deu vegades més car aproximadament. Per un

espessor de 10 mm té un cost de 15,00 €/m² i 12,81 €/m² per un espessor de 30 mm. El canvi de poliestirè a suro té una diferència de cost aproximadament de 10.595,00 €.

El suro aconsegueix una conductivitat tèrmica de 0,047 W/m·K amb una densitat de 168 kg/m³.

7.1.3 Finestres

El tipus de marc utilitzat en les finestres té una gran importància en les pèrdues energètiques. Aquest estudi contempla la instal·lació de marcs metàl·lics i marcs de PVC. Els marcs metàl·lics tenen una ruptura de pont tèrmic (RPT) d'entre 4 i 12 mil·límetres i els marcs de PVC tenen dues càmeres i cobreixen un 10% del buit. La ruptura de pont tèrmic es basa amb la incorporació d'elements separadors de baixa conductivitat tèrmica per separar els components interiors i exteriors del marc, així aconseguint reduir el pas d'energia. La diferència entre aquests dos materials és bastant significativa, ja que com hem dit anteriorment, el marc metàl·lic pot arribar a tenir una transmitància tèrmica de 4 W/m²·K i els perfils de PVC de dues càmeres de tant sols 2,2 W/m²·K. A més del material del marc, és de suma importància tenir en compte el tipus d'obertura de les finestres. Els dos més utilitzats són les practicables i les corredisses.

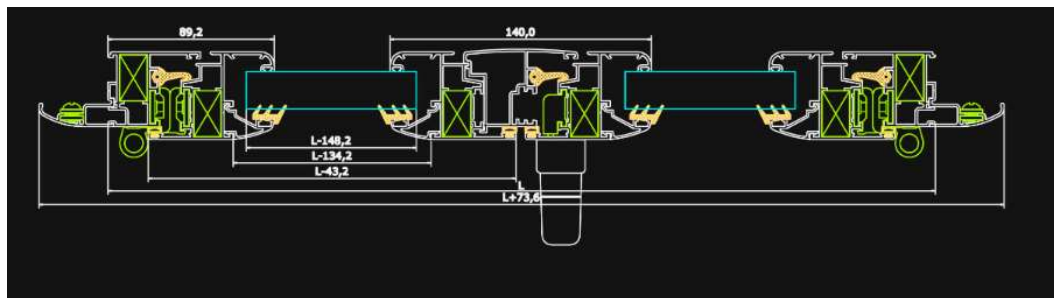


Figura 14. Esquema finestra practicable (innaltech pràctic 40, 2018)

En aquest tipus d'obertura podem veure com és molt sofisticat i es deixen càmeres d'aire estanques per tenir un millor aïllament en les terminacions dels vidres. El vidre està agafat amb unes gomes per evitar la penetració de l'aire. Veiem que les dues fulles de les finestres tenen el seu propi marc i són independents, és a dir, estan separades mecànicament i són independents una de l'altre. A la següent figura 15 veiem una finestra corredissa.

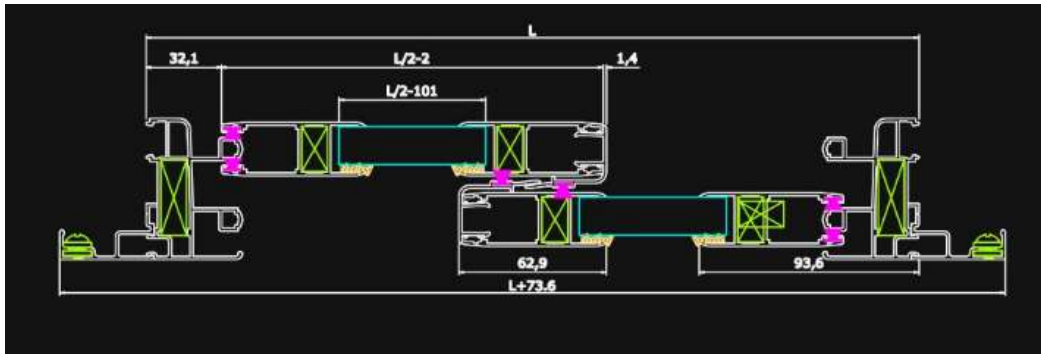


Figura 15. Esquema finestra corredissa (innaltech nexus 60, 2018)

En les finestres corredisses, també tenim una goma aïllant i una càmera d'aire en les terminacions dels vidres. En aquest tipus de finestres, les dues fulles de la finestra són dependents una de l'altra, és a dir, no estan separades per marcs sinó que es complementen per la seva obertura. En la banda on s'ajunten els marcs de les dues fulles són més simples que les finestres practicants, el que fa que tinguin una pitjor estanqueïtat en front als canvis de temperatures exteriors. De la mateixa manera, als extrems dels marcs trobem una petita goma que ens facilita l'obertura lliscant de la finestra i evita l'entrada d'aire. Si comparem amb les finestres practicants, com que aquestes no han d'encarregar-se de l'obertura, ja que no són lliscants, les practicants asseguren un major aïllament en front als canvis de temperatures exteriors.

Una altra part molt important dels buits és el tipus de vidre. En l'estudi es contemplen dos tipus de vidres: els vidres dobles 4-6-4 i els vidres dobles de baixa emissivitat 4-12-4. La configuració de 4-6-4 ha estat incorporada als marcs metàl·lics aconseguint la transmitància tèrmica de $4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i la 4-12-4 de baixa emissivitat amb els marcs de PVC arribant a un valor de transmitància de $1,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Comparem la diferència de pèrdues energètiques i estalvi (de la reducció de pèrdues energètiques) que tenen les dues configuracions si es fes una rehabilitació de finestres, segons IDAE. Es considera el tant per cent de la pèrdua considerant el 100% i estalvi 0% en referència a una finestra amb marc de fusta i vidre monolític.

Vidre	Espessor càmera aire	Marc	Pèrdues (%)	Estalvi (%)
Doble	6	Metàl·lic RPT	74	26
Doble baix emissions	12	PVC	36	64

Taula 27. Tipus de configuracions de finestres

7.2 Cas base vs. cas 2

L'única i principal diferència que trobem entre el cas base i el cas 2 és la modificació de les instal·lacions. La caldera convencional de gas amb radiadors i A/C del cas base passa a ser una màquina aerotèrmica amb terra radiant capaç de proporcionar calor i fred. L'aerotèrmia significa la implantació d'una energia renovable al 80% aproximadament, l'altra 20% de l'energia utilitzada prové de la xarxa elèctrica.

7.2.1 Màquina aerotèrmica

L'aerotèrmia es basa en extreure energia de l'aire exterior mitjançant un inverter. A diferència dels A/C, l'inverter és capaç d'implementar l'energia extreta de l'aire a un circuit tancat d'aigua. Aquesta aplicació ens proporciona múltiples oportunitats de connexions: radiadors, terra radiant o fan coils, a més de poder donar el servei d'aigua calenta sanitària i aprofitar les instal·lacions existents en cas de canvi de caldera. També és possible la connexió de plaques solars tèrmiques per donar suport tant a la calefacció com a l'ACS.

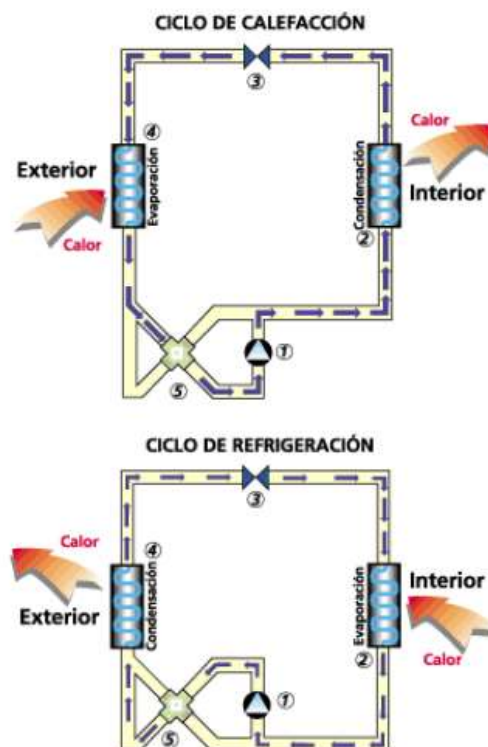


Figura 16. Representació cicles aerotèrmia (i-ambient, 2018)

On els diferents elements que es mostren són:

1: Compressor

2: Evaporador / Condensador

3: Vàlvula d'expansió

4: Condensador / Evaporador

5: Vàlvula de 4 vies

Tal i com es mostra a la figura 16, el funcionament per calefacció es faria mitjançant 4 passos. Primer, el calor es transfereix a través del refrigerant que és més fred que el focus de calor (l'aire exterior). L'aire exterior passa pel primer intercanviador de calor (evaporador) i el líquid refrigerant absorbeix el calor passant a l'estat de vapor. Segon, el vapor passa cap el compressor per aconseguir una major pressió de vapor i així augmentar consideradament la temperatura del refrigerant. Tercer, el vapor a alta pressió passa per el segon intercanviador (condensador) on el calor és absorbit per l'aigua del secundari, el vapor a alta pressió canvia a fase líquida. Quart, el líquid refrigerant passa a través de la vàlvula d'expansió, redueix la pressió del líquid pel que també redueix la temperatura d'aquest.

Com podem observar, el cicle es repeteix contínuament i la màquina exterior té la capacitat d'invertir el sentit del circuit (invertint, així, el funcionament de l'evaporador que faria les funcions de condensador i viceversa) per poder aconseguir fred o calor depenent de l'època de l'any. El líquid refrigerant té la capacitat d'aconseguir una elevada temperatura al comprimir-se i d'evaporar-se a baixa temperatura.

A més de l'eficàcia de la màquina, és important conèixer la unitat terminal de la calefacció i la refrigeració. Per l'aerotèrmia, l'òptim és la instal·lació de terra radiant i refrescant. Per la calefacció, el terra radiant funciona a baixa temperatura, entre 30 °C i 45 °C. Els avantatges que presenta el terra radiant en front als radiadors és el perfil vertical de la temperatura que assolix. La calefacció ideal seria aquella on la temperatura més alta arribaria a una altura de mig metre i es refredaria de forma moderada fins arribar a la part superior de la cambra on s'acabaria de refreda. Aquest perfil és més semblant al que s'aconsegueix amb el perfil del terra radiant que no en el dels radiadors convencionals. Els radiadors inverteixen l'ideal de perfil. La temperatura més calenta es queda a la part superior i la més freda a la part inferior.

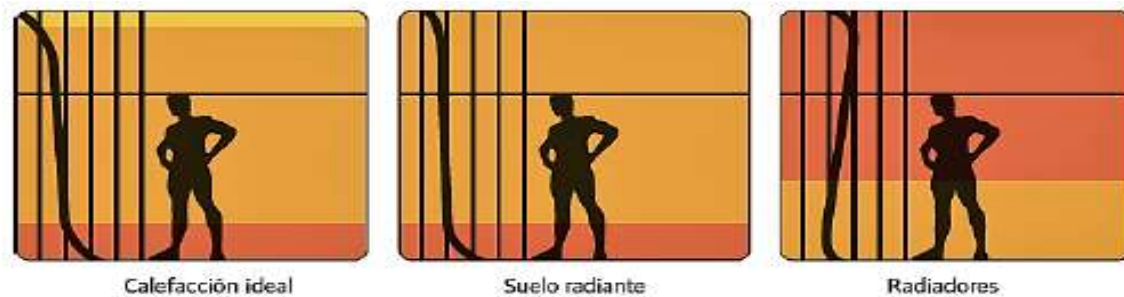


Figura 17. Perfils de temperatura segons unitat terminal (Guia emissors de calefacció, 2018)

Existeixen dos tipus de configuracions més habituals a l'hora de dissenyar el terra radiant: en espiral i en doble serpentí. La configuració espiral presenta una millora de la homogeneïtzació de la temperatura ja que alterna el tub d'anada amb el de retorn.

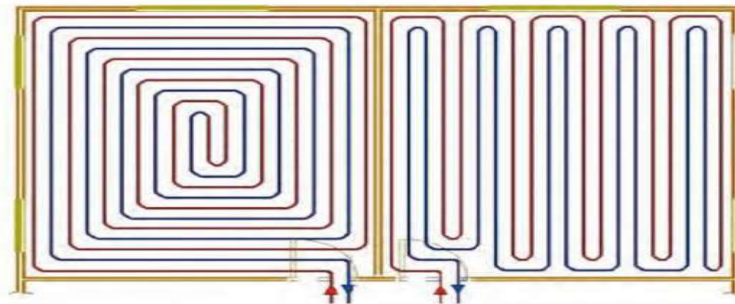


Figura 18. Configuracions espiral i doble serpentí (Guia emissors de calefacció, 2018)

7.2.2 Comparació econòmica aerotèrmia - gas

El sistema aerotèrmic del cas 2 també presenta un clar avantatge econòmic respecte el sistema de caldera convencional de gas del cas base. L'habitatge amb caldera de gas necessitaria consumir uns 32.004,00 kWh/any per escalfar, considerant un rendiment de 0.85. En canvi, la màquina d'aerotèrmia consumiria 6.723,50 kWh/any per escalfar la casa, ja que el COP és de 4. Si apliquem els COP de cada consum trobem que l'aerotèrmia ens aporta un total de 26.894,00 kWh/any i la caldera convencional de gas 27.203,40 kWh/any, pel que podem dir que el càlcul és acurat. En la taula 23 podem veure la diferència del consum i cost de les dues instal·lacions considerant que d'1 kWh de gas costa 0,046841 € més 0,00234 € per impost especial d'hidrocarburs i el preu del consum elèctric d'1 kWh costa 0,119019 €.

Instal·lació	Consum (kWh/any)	Preu (€/any)
Caldera convencional a gas	32.004,00	1.573,99
Màquina aerotèrmia elèctrica	6.723,50	800,22

Taula 27. Consums instal·lacions

Com indiquen els resultats finals de la taula 27, ens trobem amb un estalvi de 733,77 €/any. Encara que el preu de la electricitat és més car, amb l'aerotèrmia s'estalvia quasi la meitat del que costaria escalfar l'habitatge amb una caldera convencional a gas. Per altre banda, cal tenir en compte que la màquina aerotèrmica és aproximadament 2.000,00 € més cara que la caldera a gas, però és una màquina que, com hem dit, es capaç de aportar-nos refrigeració per a l'habitatge, per lo que també té doble funció. En l'annex B es veu un estudi de l'amortització d'una màquina aerotèrmica en front a una caldera a gas. Per saber aquesta diferència de cost, s'ha fet un promig de varies instal·lacions de distinta extranet un cost per kW.

7.3 Cas 2 vs. cas 3

En el cas 3 s'ha estudiat la instal·lació de plaques solars fotovoltaïques com a substitució de les plaques tèrmiques amb aerotèrmia. Amb aquesta comparació podrem veure si es compleix la normativa CTE de 2013 i determinar la rendibilitat de les dues fonts.

7.3.1 Justificació compliment normativa

El CTE contempla la possibilitat de substituir el sistema de contribució solar per plaques tèrmiques per una altra font d'energies renovables. Per poder justificar la substitució, les emissions de diòxid de carboni i el consum d'energia primària no renovable, han de ser iguals o inferiors a les que s'obtenen amb les plaques tèrmiques.

Com es contempla la següent taula, les emissions i el consum d'energia primària no renovable han disminuït de forma notable, per lo que quedaria justificada la seva substitució per temes de normativa mediambiental. En el cas 3, el signe negatiu, com hem dit anteriorment, és causa de la sobreproducció d'energia que obtenim de les plaques fotovoltaïques. Això significa que estem davant un cas en què es produeix més energia de la que consumeix l'habitatge. Hem de tenir en compte que l'habitatge no consumeix cap tipus de combustible fòssil (gas) amb la incorporació de l'aerotèrmia i de les plaques fotovoltaïques, on produïm més del que consumim.

Cas	Emissions (kgCO ₂ /any)	Consum energia primaria no renovable (kWh/any)
2	2.452,20	8.287,90
3	-1.229,45	-3.433,75

Taula 28. Comparació emissions i consum

7.3.2 Rendibilitat

En tot l'estudi, menys en els casos 3 i 4, s'ha aplicat la utilització de les plaques solars tèrmiques per l'aportació de la contribució mínima de l'aigua calenta sanitària. Per a l'aportació per calefacció seria necessari més plaques solars tèrmiques. Aquesta aplicació implicaria la producció d'energia que caldria acumular-la en un altre acumulador, del qual circularia aigua en pocs moments del dia. En canvi, les plaques solars elèctriques suposen la producció d'energia sense acumulació i aporten tan energia per a ACS com per a calefacció (per l'acció de l'aerotèrmica) també a d'altres consums.

L'avantatge de la instal·lació de plaques fotovoltaïques enfront de les tèrmiques és que la potència es reparteix segons les necessitats, és a dir, en el moment en què no es necessiti energia per a l'ACS, l'energia elèctrica és destinada a la calefacció o a qualsevol consum que s'aprecii en aquell moment.

En resum, les plaques fotovoltaïques poden abastar més consums que les plaques tèrmiques ja que estan limitades a calefacció i ACS. En l'annex C podem veure un estudi d'amortització per a la instal·lació de 5 kW de plaques fotovoltaïques.

8 INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA

Ens trobem amb un edifici amb el terrat horitzontal, sense angle pel que no s'hauran de fer càlculs addicionals per trobar la distància necessària entre plaques per a que no es facin ombres. Els edificis als voltants són de la mateixa altura pel que no tenim ombres i no existeixen arbres al seu voltant amb altura major a la construïda.

Estudiant el consum de la instal·lació i de la màquina aerotèrmica, reflectit a l'annex C, observem que es requereix d'una instal·lació fotovoltaica destinada a la màxima producció possible d'energia per tot l'any. Gràcies a la ubicació i espai que disposem per a la col·locació de les plaques observem que podem orientar-les a sud (0° d'azimut. Per poder aprofitar la màxima irradiació durant tot l'any decidim la inclinació òptima de 29° , ja que la latitud de l'habitatge és de 39° i li hem resta 10° per la seva inclinació.

Per la configuració, rendiment i bon funcionament de la planta fotovoltaica, hi haurà una distancia calculada amb les equacions 1 i 2 per evitar possibles ombres entres les files de plaques. Per aquest càlcul, cal dir, que les plaques es posicionaran de forma apaïxada (horitzontal).

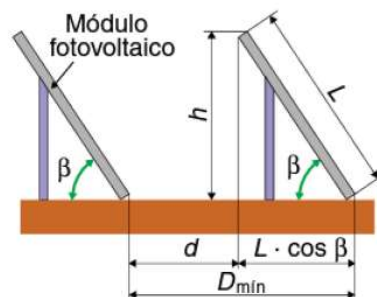


Figura 19. Inclinació plaques (Apunts Albert Figueras, 2016)

Distància entre part superior e inferior de plaques:

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg}(61 - \text{latitud})} \quad (\text{Eq. 1})$$

Distància mínima entre files:

$$D_{\min} = d + L \cdot \cos(\beta) \quad (\text{Eq. 2})$$

Amb l'anterior càlcul podem trobar que la distància mínima entre plaques és de $D_{\min}=2,21\text{m}$, considerant la instal·lació de les plaques model WAAREE SL220-20P250 amb una longitud de 1.640 mm i una amplada de 990 mm. Aquesta distància és important per a que les plaques no es facin ombres entre elles ja que tenim cinc files en la nostra planta.

Per la inclinació de les plaques és possible que creïn un efecte de vela amb el vent. Encara que aquest esforç és molt petit per la pròpia inclinació, la estructura del suport de les plaques fotovoltaïques estarà fixada al sostre. Els enclavaments seran capaços de resistir les preceptives càrregues de vent i neu previstes.

Com hem dit anteriorment, tenint en compte que es tracta d'una casa, la inclinació de les plaques serà l'òptica per a captar la major radiació solar durant tots els mesos. Per aconseguir aquesta inclinació, sabem que la latitud d'on s'ubica la casa és de 39° pel que la inclinació òptima dels captadors fotovoltaïcs solars és de 29° orientades totalment a sud. Com observem gràcies al diagrama de pèrdues per inclinació i azimuth veiem que les pèrdues són pràcticament nul·les ja que l'absorció de la irradiació per la nostra instal·lació està entre un 95% i un 100%.

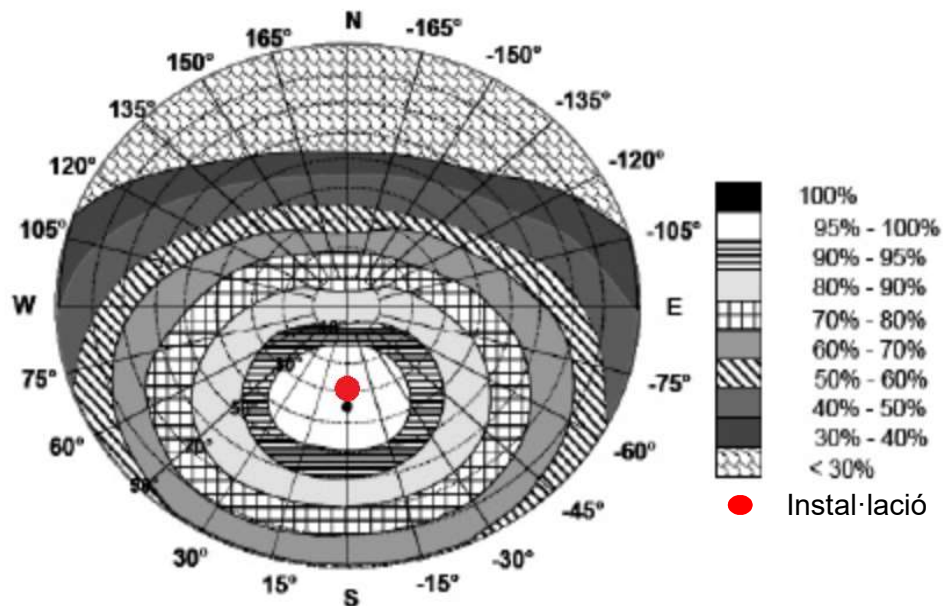


Figura 20. Pèrdues inclinació i azimuth (Ingelibreblog, 2018)

Gràcies a la base de dades de PVGIS-CMSAF, es mostra la irradiació rebuda depenent del mes en que ens trobem per la inclinació triada. Cal pensar que com es veurà més endavant, el mòdul té un rendiment específic per lo que ens indicarà quin tan per cent d'aquesta energia es capaç de captar:

Mes	Irradiació (kW/m ² /dia)	Irradiació (kW/m ² /mes)
Gener	3,79	117,49
Febrer	4,62	129,36
Març	6,17	191,27
Abril	6,48	194,40
Maig	7,05	218,55
Juny	7,42	222,60
Juliol	7,55	234,05
Agost	7,17	222,27
Setembre	6,23	186,90
Octubre	5,24	162,44
Novembre	3,89	116,70
Desembre	3,54	109,74
Anual		2.105,77

Taula 29. Irradiació a 29°

Aquesta irradiació és la que es rep a la instal·lació amb 29° d'inclinació. Amb aquesta energia la instal·lació serà capaç de captar i generar energia elèctrica per l'autoconsum connectat a xarxa.

8.1 Elements generadors

La planta fotovoltaica consta de dos equips principals dels quals depèn tota la instal·lació. Per una banda, com a element generador tenim les plaques fotovoltaïques, les quals generen corrent continu com a fonts d'intensitat. Per altra banda, l'element encarregat de la transformació del corrent continu a corrent altern, per poder fer possible la connexió a la xarxa, és l'inversor.

8.1.1 Generador fotovoltaic

Els mòduls estan constituïts per 60 cèl·lules de silici policristal·lí. El circuit solar està intercalat entre el davant de vidre ultra transparent temperat dotat amb tractament superficial

antireflexiu i una làmina dorsal de EVA (Encapsulat termoestable de Acetat de Etilèvinil), tot això emmarcat amb alumini anoditzat i segellat amb una cinta d'unió d'alta resistència.

El connexionat elèctric dels strings (plaques connectades en sèrie) es realitza mitjançant una caixa de connexions amb connectors ràpids anti-error al igual que entre plaques. En la caixa de connexions es troben també els díodes de by-pass per evitar tensions inverses.

Les característiques tècniques dels panells fotovoltaics elegits són:

Marca	Waaree
Model	SL220-20P250
Potència Nominal (W_p) (W)	250,00
Tolerància potència nominal	3,00
Tensió Nominal (U_{mpp}) (V)	30,50
Corrent Nominal (I_{mpp}) (A)	8,20
Tensió en circuit obert (U_{oc}) (V)	37,30
Corrent en curt-circuit (I_{sc}) (A)	8,79
Coeficient temperatura del voltatge en buit (V_{oc}) (%K)	-0,35
Coeficient de temperatura de corrent de curt-circuit (I_{cc}) (%K)	+0,05
Eficiència del mòdul (%)	15,40
Temperatura normal operativa de cèl·lula (NOCT) (°C)	45±2
Tensió del sistema màxima admissible (V)	1.000,00

Taula 30. Característiques plaques

Segons la tensió i intensitat de la placa, i amb el coneixement dels paràmetres màxims de tensió i intensitat de l'inversor es podrà calcular el nombre de plaques per string.

Les dimensions dels mòduls fotovoltaics són:

Longitud (mm)	1.640
Amplada (mm)	990
Espessor (mm)	42
Pes aproximat (kg)	19

Taula 31. Dimensions plaques

La instal·lació fotovoltaica estarà composta per 20 mòduls fotovoltaics de model i característiques mencionades anteriorment, en l'apartat de l'estudi econòmic es veurà

reflectit la justificació del nombre de plaques. Els mòduls es connectaran elèctricament entre sí en sèrie de 10 unitats, amb un total de 2 strings que posteriorment es connectaran a 1 inversor de 5kW de potència nominal.

8.1.2 Inversor

La instal·lació fotovoltaica consta d'un inversor monofàsic d'una potència nominal de 5kW. La seva ubicació serà a l'interior de l'habitatge, amb la finalitat de que la temperatura ambient no sobrepassi els 40°C, pel que es facilitarà la refrigeració d'aquest, i que estigui el més a prop possible del camp generador, per reduir tot el possible les pèrdues d'energia en el cablejat de CC i minimitzar el risc de sobretensions induïdes per descàrregues indirectes per raig.

L'inversor elegit és un SMA Sunny Boy 5.0 que incorpora dos seguidors del punt de màxima potència, el que permet optimitzar el rendiment del camp fotovoltaic solar i de la mateixa manera treballar amb dos camps fotovoltaics amb distinta orientació i/o inclinació.

Aquest inversor també incorpora les funcions de protecció de màxima i mínima tensió, igual que màxima i mínima freqüència. De la mateixa manera, també incorpora les maniobres de desconexió-connexió mitjançant un contactor que realitza el rearmament automàtic de l'equip, no abans de tres minuts després de que se restableixin les condicions normals del subministra de la xarxa.

Amb les següents dades podrem verificar si el nombre de plaques elegides per strings i potència total de la instal·lació compleix amb els paràmetres màxims de l'inversor.

Valors d'entrada CC de l'inversor:

Potència màxima del camp FV (W)	7.500
Màxim voltatge d'entrada (V)	600
Rang de tensió MPPT (V)	175 - 500
Màxima corrent d'entrada per seguidor (A)	15

Taula 32. Valors d'entrada CC

Valors de sortida AC de l'inversor:

Potència nominal AC (W)	5.000
Màxima potència aparent AC (VA)	5.000
Rang de operació de la xarxa (V)	180-280
Màxima corrent de sortida (A)	22
Factor de potència ($\cos \phi$)	1
Freqüència d'operació (Hz)	44 - 55

Taula 33. Valors sortida AC

Valors de característics de l'inversor:

Rendiment (%)	97
Dimensions (l x a x h) (mm)	435 x 470 x 176
Pes (kg)	16
Rang de temperatura ambient (°C)	-25....+60

Taula 34. Dades tècniques

8.2 Proteccions elèctriques

El sistema fotovoltaica comptarà amb totes les proteccions de línia e interconnexió obligatòries segons el reglament de baixa tensió, el RD 1699/2011 i d'acord amb les normes de la companyia distribuïdora Endesa. Per això es disposarà d'un interruptor automàtic manual accessible per a la companyia distribuïdora, que actuarà com un interruptor general. Aquest interruptor general permetrà desacoblar la instal·lació en cas de necessitat.

8.2.1 Protecció contra sobreintensitats

El circuit de corrent contínua del sistema fotovoltaic treballa normalment amb intensitats properes a les de curt-circuit, ja que les plaques són equips que funcionen com a fonts de corrent. El cablejat que duen les plaques està pensat per tenir pèrdues inferiors al 1,5% i estan pensades per aguantar la intensitat de curt-circuit ja que es tracta de no més del 10% més elevat que el corrent nominal.

El cablejat de contínua es farà de manera segura, mantenint els cables de diferent polaritat separats mitjançant doble aïllament dels conductors o amb separació física quan sigui possible.

S'instal·laran fusibles en els pols positius, al final de cada string per assegurar una major seguretat al cablejat de contínua enfront a possibles sobreintensitats.

Amb la finalitat de protegir la instal·lació de possibles curt-circuits a la part de corrent alterna, es col·locarà un interruptor magnetotèrmic bipolar de 32 A i amb un poder de tall de 6 kA. Aquest dispositiu permetrà la desconexió manual de la instal·lació, així com la protecció de la mateixa contra curt-circuits. Aquest interruptor estarà situat al costat de l'inversor per tal de assegurar la protecció de l'inversor i el cablejat.

8.2.2 Protecció contra contactes directes

La protecció contra contactes directes amb parts actives de la instal·lació queda garantida mitjançant la utilització de totes les línies de conductors aïllats amb una tensió de aïllament de 1 kV, l'allunyament de les parts actives, amb l'entubat dels cables i les connexions multi contactes. De la mateixa manera, els connectors ja inclouen l'aïllament necessari per evitar contactes directes.

En tots els punts de la instal·lació, els conductors disposen de una protecció mecànica adequada a les accions que potencialment poden sofrir, especialment en el cas de cop o impactes fortuïts. Tots els angles i canvis bruscs de direcció es protegiran per evitar el deteriorament de aïllament en el traçat de les línies o en el seu propi funcionament. Aquesta protecció serà dipositada gràcies a una canal protectora de PVC. De la mateixa manera, els materials situats a la intempèrie es protegiran contra els agents ambientals, en particular contra l'efecte de la radiació solar i la humitat. A més, tots els equips exposats a la intempèrie tindran un grau mínim de protecció IP54.

Els sistemes de connexió dels panells són tipus endolls rígids multicontacte per evitar possibles contactes directes.

8.2.3 Protecció a terra

La posada a terra dels convertidors i les parts metàl·liques de la instal·lació fotovoltaica estarà connectada a la posada a terra de la instal·lació. Es realitzarà una posada a terra del generador fotovoltaic, per contacte directe dels marcs dels panells a la estructura del suport, connectant aquest a terra.

El conductor de terra es realitzarà mitjançant un conductor de coure de 35 mm² de secció. Es disposarà el nombre d'elèctrodes necessaris per aconseguir una resistència a terra tal que qualsevol massa no pugui donar lloc a tensions de contacte superiors a 24 V.

8.2.4 Protecció contra contactes indirectes

La protecció contra contactes indirectes s'aconsegueix mitjançant la posada a terra de tots els elements metàl·lics de la instal·lació, i especialment l'estructura de suport de les plaques solars, la xapa metàl·lica de l'inversor i els quadres elèctrics.

Les línies en corrent alterna estan protegides per interruptors diferencials de alta sensibilitat. Les línies de corrent contínua són segures per la separació dels conductors i per la utilització d'aparells tipus II, és a dir, amb doble aïllament elèctric.

L'interruptor diferencial de la part alterna, es col·locarà a continuació del comptador bidireccional que es situa aigües avall de l'inversor. Aquest interruptor tindrà una intensitat nominal de 32 A amb una sensibilitat de 30 mA.

8.2.5 Protecció de tensió i freqüència

En el costat de la corrent contínua, la protecció de sobretensió es realitzarà a través de descarregadors de tensió a terra (varistors) que estan integrats en el mateix inversor, el que garanteix la protecció contra sobretensions a la banda de corrent contínua.

Els equips de protecció es troben integrats en l'inversor i s'encarrega de les maniobres de connexió-desconnexió automàtic de la xarxa.

Les funcions de protecció dels inversors es realitzaran a través d'un programa de "software", proporcionat pel fabricant, el qual en el certificat especifica el valor de tara de les proteccions i evita l'accessibilitat a l'usuari.

Els paràmetres de tara per el dispar de les proteccions són:

1 Relé de mínima tensió i 1 de màxima tensió. Dispar per a una tensió superior a 110% de tensió nominal i tensió inferior al 85% de U_n .

1 Relé de màxima i mínima freqüència. Dispar per una freqüència superior a 51 Hz i una freqüència inferior a 47,5 Hz.

8.3 Cablejat

El cablejat integrat de les plaques és de 4mm² i està pensat per aguantar les possibles corrents de curt-circuit que es poden generar. També, el cablejat de les plaques duen les proteccions pensades per les condicions adverses de la intempèrie i l'aïllament corresponent per evitar contactes directes.

Després de cada strings s'instal·larà per realitzar un canvi de secció cable de coure de 6mm² amb una protecció potencial de 1kV SS-F(AS).

D'igual manera, el cablejat de la part de corrent alterna serà de coure de 10mm² per assegurar que la caiguda de tensió no sigui superior a les establides per reglamentació.

Amb aquestes seccions s'assegura que la caiguda de tensió total de total la planta fotovoltaica no sigui superior a un 1,5%.

Tot el cablejat anirà protegit per safates de PVC rígid per protegir-se dels fenòmens meteorològics de la intempèrie. Aquestes safates tindran una amplada de 100mm de manera que es tingui un marge per possibles ampliacions de la instal·lació.

A continuació, es mostren tots els càlculs realitzats per cada línia, la part de contínua i la part d'alterna. Per fer el càlcul s'ha utilitzat l'equació Eq.3 i es considera la conductivitat del coure en les pitjor condicions, és a dir, 44 m/Ω·mm². Com a intensitat màxima seria la màxima que pot administrar una placa fotovoltaica en curt-circuit ja que la instal·lació esta composta de dos strings que estan connectats a dos seguidors distints.

Línia	Potència (kW)	Intensitat (A)	Longitud (m)	Secció (mm ²)	e(%)	e acum. (%)
CC	5,00	8,79	20,00	6,00	0,54	0,54
CA	5,00	22,00	50,00	10,00	0,81	1,35

Taula 35. Seccions i c.d.t.

Si ens fixem amb el REBT, el cablejat de 6 mm^2 , considerant que aniria dins un tub de PVC amb muntatge superficial i encastrat amb els conductors aïllats, aguantaria una intensitat admissible fins a 36 A i el cablejat de 10 mm^2 podria conduir fins a 44 A sabent que el seu muntatge és encastrat amb cables multiconductors.

9 CONCLUSIONS

Una vegada finalitzat l'estudi i havent obtingut els resultats es pot concloure que en aspectes arquitectònics, l'opció de canviar l'aïllament de poliestirè per materials més respectuosos amb el medi ambient com el suro, la posidònia o el formigó cel·lular, millora l'eficiència de l'habitatge però incrementa molt notablement el cost de la construcció d'aquesta.

El tipus de finestres segons el marc, tipus de tancament i gruixa del vidre també presenten una gran importància en la millora de l'eficiència de la casa. Canviant les finestres de doble vidre amb un espessor de càmera d'aire de 6 mm doble senzill per un espessor de 12 mm doble de baix emissions i el marc de metàl·lic amb RPT a PVC, aconseguim una millora d'eficiència en la demanda de calefacció però augmenta la demanda de refrigeració a l'habitatge. Aquest efecte és causat per la propietat de reflectir l'energia interior dels vidres de baixa emissivitat i aconseguir una màxima transmissió de l'energia exterior del sol.

L'estudi també contempla el canvi d'una caldera a gas convencional a una màquina d'aerotèrmia. Una màquina aerotèrmica es necessita una inversió inicial més elevada però tenim més serveis, fred, calor i ACS, i el cost del consum, amb la màquina aerotèrmica, és la meitat que el cost que presenta una caldera de gas convencional. Amb aquest canvi es necessari substituir els radiadors d'alta temperatura per terra radiant.

Ja que amb la màquina aerotèrmica el consum de la casa es bàsicament elèctric, es contempla a l'estudi la instal·lació de plaques fotovoltaïques elèctriques en substitució de les plaques solars tèrmiques. Es veu que les plaques FV tenen més capacitat que les tèrmiques per aportar potència a diferents càrregues, es redueixen les emissions de CO₂ i el consum de combustibles fòssils.

Per una gran millora d'eficiència energètica obtinguda i per tenir un temps de recuperació de la inversió inicial raonable, es considera que el millor cas és el 3, amb l'aïllant de poliestirè, la incorporació d'una màquina aerotèrmica i la instal·lació de les plaques solars.

Pau Ensenyat Montada

Graduat en Enginyeria Elèctrica

Girona, 11 juny de 2018

10 RELACIÓ DE DOCUMENTS

Aquest projecte consta de tres documents. El primer correspon a la memòria on s'explica l'estudi amb els resultats obtinguts d'aquest. El segon document engloba tots els plànols. El tercer document correspon al pressupost.

11 BIBLIOGRAFIA

ALBERT FIGUERAS. Apunts de l'assignatura Instal·lacions d'energies renovables, document d'instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa. Curs 2016/2017.

BLOC INGELIBRE. Gràfica pèrdues fotovoltaica. (<https://goo.gl/tJD6M3>, 14 de maig de 2018).

DAIKIN. Especificacions màquina aerotèrmica. (<https://www.daikin.es/content/dam/DACS/Imagenes/Site/Calefaccion/Monobloc/Especificaciones-Monobloc.pdf>, 16 de maig de 2018).

DAMIA SOLAR. Fabricant de suports per panells fotovoltaics. (<https://www.damiasolar.com/productos/estructuras-y-soportes-9>, 10 de gener de 2018).

GIERSOLAR. Càlcul de frigories. (<http://www.giersolar.es/calcular-frigorias-de-aire-acondicionado/>, 27 de maig de 2018).

Guia de emissors de calefacció. (<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-Emisores-de-Calefaccion-a-Baja-Temperatura-de-Agua-fenercom-2014.pdf>, 14 de maig de 2018).

I-AMBIENT. Informació funcionament màquina aerotèrmica. (<http://www.i-ambiente.es/?q=blogs/bomba-de-calor-pero-de-renovables>, 14 de maig de 2018).

IDAE, ple de condicions tècniques de instal·lacions connectades a la xarxa, instal·lacions d'energia solar fotovoltaica. Institut per la Diversificació i Estalvi de l'energia. Madrid. Juliol de 2016.

Innaltech nexus 60. Figura representativa finestres corredissa. (<http://www.innaltech.com/productos/correderas/nexus-60.html>, 14 de maig de 2018).

Innaltech pràctic 40. Figura representativa finestres practicants. (<http://www.innaltech.com/productos/practicables/practic-40.html>, 14 de maig de 2018).

JOSÉ A. GUIJARRO. Primeres mesures de irradiació solar a Palma de Mallorca. (<https://goo.gl/QcBo3m>, 1 de gener de 2018).

LIFE REUSING POSIDONIA. Documentació proves amb posidònia. (<http://reusingposidonia.com/prensa/>, 16 de maig de 2018).

PV-GIS. Web per obtenir taules de radiació solar per la mitjana diària. (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>, 8 de maig de 2018).

SCHNEIDER. Fabricant de components i material elèctric. (<https://www.schneider-electric.es/es/>, 8 de maig de 2018).

SMA. Fabricant de inversors fotovoltaics de 5.000W. (<https://www.sma.de/es/productos/inversor-fotovoltaico/sunny-boy-30-36-40-50.html>, 27 de maig de 2018).

WAAREE. Fabricant de panells fotovoltaic de 250Wp. (<http://www.waaree.com/aditya-series>, 14 de maig de 2018).

12 GLOSSARI

ACS. Aigua Calenta Sanitària.

AS. Alta Seguretat.

CTE. Codi Tècnic d'Edificació.

EVA. Encapsulat termoestable de Acetat de Etilèvinil.

PR. Marge de rendiment.

RPT. Trencament de Pont Tèrmic.

SPF. Factor de rendiment mig estacional estimatiu.

A VIABILITAT CANVI AÏLLAMENTS

En aquest annex trobem l'estudi de viabilitat del canvi arquitectònic proposat al cas 2. Considerem que canviem tot l'aïllant de poliestirè per posidònia, suro i finestres de doble vidre baix emissiu de 12 mm d'espessor.

La inversió inicial és aproximadament de 15.000,00€ que és la diferencia de cost en front la instal·lació del poliestirè i finestres dobles de 6 mm. Com s'ha citat anteriorment, per la incorporació de la posidònia es considera 181,00€ més car que el poliestirè, del suro 10.950,00€ més car que el poliestirè i les finestres 3.869,00€ més cares que les de 6 mm. Tots els preus han estat facilitats per una enginyeria sense tenir accés a un pressupost detallat.

Per realitzar l'estudi s'ha utilitzat les dades extretes del HULC. Sabent que la demanda de calefacció del cas base és de 11,42 kWh/m²·any i la del cas 1 és de 8,45 kWh/m²·any, s'ha calculat representa un decreixement de la demanda d'un 26,00 %. Es coneix, com s'ha citat anteriorment, que el cost en calefacció del cas base és de 1.573,99 €/any i per tant, aplicant el càlcul del decreixement ens dona que el cas 1 consumeix una suma de 1.164,64 €/any.

En el càlcul de la amortització es reflexa una pujada anual del gas d'un 6%. A més es presenta una reserva de 50,00€ inicialment augmentant la reserva un 2% respecte l'any anterior. Amb totes les consideracions anteriors, la recuperació de la inversió és fa possible a partir de 20 anys.

Any	Despeses acum. (€)	Estalvi acum. (€)	Balanç (€)
1	15.050,00	409,35	-14.640,65
2	15.101,00	843,26	-14.257,74
3	15.153,02	1.303,20	-13.849,82
4	15.206,08	1.790,74	-13.415,34
5	15.260,20	2.307,53	-12.952,67
6	15.315,41	2.855,33	-12.460,08
7	15.371,71	3.436,00	-11.935,72
8	15.429,15	4.051,50	-11.377,65
9	15.487,73	4.703,94	-10.783,79
10	15.547,49	5.395,52	-10.151,96

Taula 36. Amortització posidònia, suro i finestres 12 mm(l)

Any	Despeses acum. (€)	Estalvi acum. (€)	Balanç (€)
11	15.608,44	6.128,60	-9.479,83
12	15.670,60	6.905,67	-8.764,94
13	15.734,02	7.729,35	-8.004,66
14	15.798,70	8.602,46	-7.196,24
15	15.864,67	9.527,96	-6.336,71
16	15.931,96	10.508,98	-5.422,98
17	16.000,60	11.548,87	-4.451,74
18	16.070,62	12.651,15	-3.419,47
19	16.142,03	13.819,56	-2.322,47
20	16.214,87	15.058,08	-1.156,78
21	16.289,17	16.370,92	81,75
22	16.364,95	17.762,52	1.397,57

Taula 36. Amortització posidònia, suro i finestres 12 mm (II)

B VIABILITAT SISTEMA AEROTÈRMIC

Per realitzar l'estudi de viabilitat del sistema aerotèrmic hem tingut en compte la diferència de cost, com a inversió inicial que representa la compra de la màquina aerotèrmica respecte a la compra d'una caldera a gas. Aquesta diferència, com hem dit anteriorment és d'uns 2.000,00€.

B.1 Despeses

Per calcular l'amortització de la instal·lació hem de tenir en compte una sèrie despeses. En primer lloc la pèrdua de rendiment de les calderes per envelliment. Tant per la caldera de gas com per la màquina d'aerotèrmia considerem 0,05% menys de rendiment anual.

De la mateixa manera, s'estableix que el cost de la revisió anual o manteniment té un cost de 100,00€ per la màquina aerotèrmica i de 120,00€ per la caldera a gas. Aquest cost s'incrementarà cada any un 1,50% respecte a l'any anterior. Aquests valors són orientatius ja que depenen de l'empresa encarregada de realitzar el manteniment de cada caldera.

Per prevenció de possible averies, es crea una reserva de 100,00 € inicials en els dos tipus de calderes incrementant aquest valor un 5% respecte a l'any anterior.

Per finalitzar, es calcula una pujada del 3% de la tarifa elèctrica i un 6% de la tarifa de gas. Aquestes pujades són una aproximació ja que poden variar durant els anys i depenen d'un gran nombre de factors.

B.2 Amortització

Per calcular l'amortització, primerament tenim en compte la diferència de cost que suposa la caldera de gas enfront la màquina aerotèrmica aplicant la pujada de les tarifes. Seguidament sumant les despeses d'una màquina i l'altra es treu la diferència del costos de manteniment. Per acabar, sabent la inversió inicial i l'estalvi, es calcula el balanç on veiem que l'amortització es compleix en 3 anys.

Com veiem, les despeses acumulades de la màquina aerotèrmia incloent la inversió inicial estimada, l'estalvi acumulat i el balanç de 10 anys.

Any	Despeses acum. (€)	Estalvi acum. (€)	Balanç (€)
1	3.000,22	793,76	-2.206,46
2	3.231,13	1.678,65	-1.552,48
3	3.469,55	2.659,97	-809,58
4	3.715,80	3.743,39	27,59
5	3.970,20	4.934,90	964,70
6	4.233,08	6.240,88	2.007,81
7	4.504,80	7.668,11	3.163,31
8	4.785,72	9.223,76	4.438,05
9	5.076,23	10.915,49	5.839,26
10	5.376,74	12.75,39	7.374,65

Taula 37. Amortització aerotèrmia

C VIABILITAT SISTEMA FOTOVOLTAIC

Per tal de saber la eficàcia i rendibilitat del camp fotovoltaic s'estudien els costos que ens suposarà i els beneficis que ens aportarà per la seva generació. De la mateixa manera, es presenta un estudi d'amortització per reflectir el temps en que es tindran pèrdues i el començament de quin any comença el benefici.

C.1 Estudi de consum

Per tal de garantir un estudi complet i precís de la instal·lació, s'ha separat el consum mensual en 3 períodes. Aquest períodes corresponen a la diferència de tarifació que presenta el contracte de la companyia subministradora. Per l'estudi econòmic ha estat important contemplar els diferents preus dependent de les hores de consum.

Mes	P1 19h-22h (kWh)	P2 23h-24h/9h-18h (kWh)	P3 0h-8h (kWh)
Gener	1.007	1.132	377
Febrer	1.051	1.182	394
Març	1.087	1.223	407
Abril	413	465	155
Maig	392	441	147
Juny	713	803	267
Juliol	1.145	1.288	429
Agost	1.150	1.293	431
Setembre	748	842	280
Octubre	427	480	160
Novembre	893	1.005	335
Desembre	1.059	1.191	397

Taula 38. Consum per períodes

Com que les plaques fotovoltaïques no estaran generant durant totes les hores de consum, calculem la potencia en que la planta es capaç de generar. El període 1 queda obviat ja que es tracte d'unes hores de molt poca irradiació durant tot l'any. En la següent taula s'ha tingut en compte també la proporció de la diferencia de la irradiació segons les hores, es a dir, la proporció de irradiació que es rep en cada hora.

Tota aquesta suma de potencia consumida dona pas a un gran cost energètic. Amb l'objectiu de reduir aquesta despesa i tenint en compte una amortització adequada i raonable es calcula el nombre de plaques que disposarà la instal·lació.

Mes	P2 (kWh)	P3 (kWh)
Gener	793,04	47,20
Febrer	828,00	49,28
Març	978,60	50,96
Abril	372,03	58,12
Maig	397,12	55,15
Juny	722,75	100,38
Juliol	1.159,38	161,02
Agost	1.164,37	161,72
Setembre	673,95	70,20
Octubre	336,45	40,10
Novembre	703,67	41,90
Desembre	714,85	0,00

Taula 39. Proporció consums períodes

Aquests consums són els que les plaques podran suplir per reduir-los i evitar que es consumeixin de la xarxa. Amb aquests resultats es basarà l'estudi econòmic d'amortització de les plaques fotovoltaïques.

C.2 Producció i consum en hores de sol

Seguidament es reflexa la producció estimada per mes, de les 20 plaques, de la planta fotovoltaica segons la irradiació anteriorment citada i el rendiment de la placa. Aquesta generació serà comparada amb el consum estimat de la casa en les hores de sol per així poder veure si es pot donar el cas en que s'injecti el sobrant de potència cap a la xarxa. D'aquesta forma veurem i calcularem l'import que rebrem per la injecció d'energia elèctrica a la xarxa de distribució per part de la empresa subministradora.

Mes	Producció (kWh/mes)	Consum en hores de sol (kWh/mes)
Gener	528,71	840,25
Febrer	582,12	877,29
Març	860,72	1.029,57
Abril	874,80	430,16
Maig	983,48	452,27
Juny	1.001,70	823,13
Juliol	1.053,23	1.320,40

Taula 40. Producció i consum (I)

Mes	Producció (kWh/mes)	Consum en hores de sol (kWh/mes)
Agost	1.000,22	1.326,09
Setembre	841,05	744,14
Octubre	730,98	376,48
Novembre	525,15	745,56
Desembre	493,83	714,83
Total	9.475,97	9.680,17

Taula 40. Producció i consum (II)

En aquesta taula també es veu reflectida com a segons quins mesos tindrem una producció major al consum. Per aquesta raó, a continuació s'estudia el benefici d'injectar el sobrant de la energia elèctrica generada a la xarxa.

Com observem a continuació, de la producció total, hi ha unes hores del dia en que la producció consta d'un impost. Aquesta paràmetre es tindrà en compte com a despesa de la instal·lació.

C.3 Cost i benefici de generació

Existeix un càrrec transitori per la potència produïda durant el període 1, segons el real decret 1976/2016, que és del valor de 0,000423 €/kWh.

Fent la resta de la producció i el consum en les hores en que les plaques estaran produint podem trobar la quantitat de potència injectada a la xarxa. Com que per la potència contractada la modalitat de generació que més ens interessa és la de tipus 2, on rebem una compensació econòmica per la injecció d'energia a la xarxa. D'aquesta manera, es veu reflectit la producció i la quantitat a pagar per l'impost de producció durant el període.

Mes	Producció en període (kWh/mes)	Cost (€)
Gener	322,51	0,14
Febrer	337,63	0,14
Març	470,81	0,20
Abril	454,90	0,19
Maig	495,67	0,21

Taula 41. Producció de pago i cost (I)

Mes	Producció en període (kWh/mes)	Cost (€)
Juny	497,84	0,21
Juliol	526,61	0,22
Agost	510,11	0,22
Setembre	445,76	0,19
Octubre	416,66	0,18
Novembre	314,56	0,13
Desembre	305,68	0,13
Anual	5.098,75	2,16

Taula 41. Producció de pagó i cost (II)

Com podem observar a continuació, els costos per generació quedarien coberts amb el benefici aconseguit per la injecció d'energia a la xarxa. Per aquesta mateixa raó sabem que la modalitat triada és una bona opció per a la instal·lació. Cal remarcar que les Illes Balears i les Illes Canàries estan exemptes de l'impost per injecció d'energia a la xarxa. Si s'agafés la modalitat de tipus 1, només pagaríem l'impost de producció sense tenir benefici per lo que ens resultaria més costós.

A continuació, es descriu la potència sobrant i el benefici per aquesta energia. Es considera que el preu de compra és equivalent a la de mercat. Com que fluctua durant el pas del dia, es considera el pitjor cas, on el preu més baix serà de 0,012 €/kWh.

Mes	Energia sobrant (kWh/mes)	Benefici (€)
Gener	0,00	0,00
Febrer	0,00	0,00
Març	0,00	0,00
Abril	444,64	5,34
Maig	531,21	6,37
Juny	178,57	2,14
Juliol	0,00	0,00
Agost	0,00	0,00
Setembre	96,91	1,16
Octubre	354,50	4,25
Novembre	0,00	0,00
Desembre	0,00	0,00
Anual	1.605,83	19,27

Taula 42. Sobrant d'energia i benefici

C.4 Despeses

Per calcular l'amortització de la instal·lació hem de tenir en compte una sèrie despeses. Durant el primer any de funcionament de la instal·lació considerem un 1% del cost total de la planta fotovoltaica destinat al manteniment i durant els següents anys per seguretat i envelliment pujarà el cost a un 3% respecte a l'any anterior.

De la mateixa manera, tindrem en compte un envelliment de les plaques per lo que el valor de la producció disminuirà un 0,5% respecte a l'any anterior.

Com a punt preventiu, es pensarà que el client crearà una reserva inicialment un 0,4% de costs total de la instal·lació durant el primer any i del 6% respecte al l'any anterior.

A aquestes despeses es sumarà el cost de l'obtenció de la llicència que correspon al 3% del cost total de la inversió.

Com a punt clau, es veurà reflectida a l'estudi una pujada anual del 3% del preu de l'energia.

C.5 Amortització

Aplicant tots els paràmetres citats al capítol anterior, afegim el cost de la inversió, calculat mitjançant el promig de varis costs de instal·lacions de distinta potència cada una, facilitat per una enginyeria sense tenir accés a un pressupost detallat, sabem que el preu aproximat de l'estructura és de 400,00€, la instal·lació elèctrica amb plaques i inversor de 8.800,00€ i el quadre elèctric de 200,00€, la inversió inicial de tota la planta fotovoltaica és aproximadament de 9.400,00€ euros es calcula que aproximadament en 10 anys, la planta fotovoltaica quedarà totalment amortitzada. Tot seguit es pot veure la previsió a 23 anys de la despesa acumulativa, afegint el 3% de pujada anual de l'energia, l'estalvi acumulatiu que suposa l'autoconsum de la potència generada, restant un 0,5% de la producció anualment i el balanç anual.

Any	Despeses acum. (€)	Estalvi acum. (€)	Balanç (€)
1	9.780,13	953,72	-8.826,41
2	9.916,33	1.929,12	-7.987,21

Taula 43. Amortització fotovoltaica (I)

Any	Despeses acum. (€)	Estalvi acum. (€)	Balanç (€)
3	10.057,82	2.926,75	-7.131,07
4	10.204,82	3.947,17	-6.257,65
5	10.357,56	4.990,94	-5.366,62
6	10.516,31	6.058,65	-4.457,66
7	10.681,32	7.150,89	-3.530,43
8	10.852,88	8.268,29	-2.584,59
9	11.031,27	9.411,46	-1.619,82
10	11.216,81	10.581,05	-635,76
11	11.409,81	11.777,73	367,91
12	11.610,62	13.002,16	1.391,54
13	11.819,59	14.255,05	2.435,47
14	12.037,08	15.537,11	3.500,03
15	12.263,50	16.849,06	4.585,56
16	12.499,25	18.191,65	5.692,40
17	12.744,77	19.565,66	6.820,88
18	13.000,51	20.971,85	7.971,34
19	13.266,95	22.411,04	9.144,09
20	13.544,59	23.884,06	10.339,46
21	13.833,97	25.391,74	11.557,78
22	14.135,62	26.934,96	12.799,34
23	14.450,16	28.514,60	14.064,45

Taula 43. Amortització fotovoltaica (II)

D CÀLCULS

Dins d'aquest apartat es troben reflectits, per ordre, tots els necessaris càlculs realitzats per dur a cap aquest estudi.

D.1 Aigua Calenta Sanitària

Amb l'objectiu de saber la demanda diària que es tindrà a l'habitatge i adjuntar un correcte acumulador de ACS es sap que per a cada persona es dimensiona a 28 litres per dia ja que es tracta d'un habitatge. Per la arquitectura de la casa, tenim 3 dormitoris per lo que es suposa, segons el CTE, que haurà 4 persones dins l'habitatge. Amb l'equació 3 sabrem la demanda de litres per dia:

$$\text{Demanda ACS} = D_{\text{persones}} \cdot N_{\text{persones}} \quad (\text{Eq. 3})$$

D_{persones} : Demanda d'ACS d'una persona (l/dia·persona)

N_{persones} : Nombre de persones de l'habitatge

D.2 Ventilació

Per calcular el cabal constant d'aire, citat en el capítol d'introducció, que ha de tenir mínim l'habitatge es calcula mitjançant els següents paràmetres depenent de les estàncies de la casa. El valor de la ventilació afecta directament a la demanda de calefacció i refrigeració, i la casa no està climatitzada completament. El soterrani és la zona on no està climatitzada, pel que no el tindrem completament en compte al programa HULC. Pel nostre habitatge considerem que tenim 95 m² de trasters.

Estància	Cabal (l/s)
Dormitori principal	8,0
Reste de dormitoris	4,0
Sala d'estar i menjador	10,0
Bany	8,0
Cuina	8,0
Traster (x m ²)	0,7

Taula 44. Cabal segons estància segons CTE

D.3 Climatització

S'ha utilitzar l'equació 4 per insertar en el programa informàtic el valor de la potència calorífica necessària per a cada estància. S'ha considerat la climatització de les estàncies principals: habitacions, banys, passadís, despatx, menjar, cuina i bugaderia. Per aplicar la fórmula s'ha tingut en compte l'orientació que té l'estància, la zona climàtica de la casa i el nivell d'aïllament que tenim a l'habitatge. La zona climàtica de la casa és coneguda i és B pel que el coeficient assignat per dita zona es de 0,95. Considerem que per escalfar un m² d'una estància és necessari l'aportació de 85 W/m².

Els coeficient de l'orientació utilitzats són:

Orientació de l'estància	Coeficient
Nord	1,12
Sud	0,92
Est	1,00
Oest	1,00

Taula 45. Coeficients aplicació per orientació

Aquest càlcul ha estat:

$$P_{\text{calorífica}} = O_{\text{estància}} \cdot Z_{\text{climàtica}} \cdot T_{\text{aïllament}} \cdot A \cdot 85 \quad (\text{Eq. 4})$$

$P_{\text{calorífica}}$: Potència calorífica (W)

$O_{\text{estància}}$: Orientació de la estància

$Z_{\text{climàtica}}$: Zona climàtica habitatge

$T_{\text{aïllament}}$: Nivell d'aïllament

A : Àrea estància (m²)

Per la adjudicació de la potència refrigerant per cada estància s'ha fet ajustant la taula 46 a les necessitats de cada estància. En relació de l'àrea es considera una potència determinada, estreta de GIER SOLAR.

Superfície (m ²)	Potència refrigerant (kW)
9 - 15	1,5
15 - 20	1,8
20 - 25	2,1
25 - 30	2,4
30 - 35	2,7
35 - 40	3,0
40 - 50	3,6
50 - 60	4,2

Taula 46. Potència refrigerants segons m²

D.4 Justificació SPF

Com s'ha comentat anteriorment, el SPF ha estat utilitzat per estudiar la substitució de les plaques tèrmiques per una màquina aerotèrmica. L'equació 5 defineix la fórmula del SPF.

$$\text{SPF} = \text{COP}_{\text{nominal}} \cdot \text{FP} \cdot \text{FC} \quad (\text{Eq. 5})$$

SPF: Coeficient de rendiment estacional

$\text{COP}_{\text{nominal}}$: Coeficient d'operativitat nominal

FP: Factor de ponderació

FC: Factor de correcció o factor segons temperatura de condensació

D.5 Producció instal·lació FV

L'objectiu és aconseguir calcular la producció mensual i anual de la planta fotovoltaica amb la finalitat d'estudiar la injecció, cost de producció i amortització de dita instal·lació. Primer, s'ha utilitzat l'equació 6 per trobar la irradiació rebuda al sostre de la casa. A continuació, l'equació 7 defineix capacitat de captació de la placa, i per lo tant, la producció d'energia elèctrica que ens aportarà la instal·lació fotovoltaica. Per realitzar aquest càlcul s'ha considerat un PR per cada mes distint. El PR és el coeficient que engloba una sèrie de condicions com les pèrdues per temperatura, l'eficiència del cablejat, el rendiment de l'inversor, les pèrdues per brutícia i l'eficiència del seguiment del MPPT. El valor de PR s'ha considerat entre un 85% i un 75%, sent més alt en els mesos d'hivern i més baix en els mesos d'estiu.

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dd}(\alpha, \beta) \cdot N_{mes} \quad (\text{Eq. 6})$$

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: Irradiació mensual estimada (kWh/m²·mes)

$G_{dd}(\alpha, \beta)$: Irradiació diària estimada per la pàgina web PVGIS (kWh/m²·dia)

N_{mes} : Nombre de dies del mes

$$E_{generada} = G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot A_{placa} \cdot N_{plaques} \cdot \eta \cdot PR \quad (\text{Eq. 7})$$

$E_{generada}$: Energia generada mensual (kWh/mes)

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: Irradiació mensual estimada (kWh/m²·mes)

A_{placa} : Àrea d'una placa (m²)

η : rendiment de la placa fotovoltaica (p.u.)

$N_{plaques}$: Nombre de plaques de la instal·lació

PR : Eficiència de la instal·lació (p.u.)

D.6 Caiguda de tensió de la instal·lació fotovoltaica

Per calcular la caiguda de tensió línia Monofàsica AC i CC de la instal·lació fotovoltaica s'ha utilitzat l'equació 8:

$$e(\%) = \frac{2 \cdot P \cdot L}{V^2 \cdot S \cdot \sigma_{Cu}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

P : Potència (W)

L : Longitud de línia (m)

V : Tensió (V)

σ : Conductivitat del conductor (m/Ω·mm²)

S : Secció del cable (mm²)

E PROGRAMA HULC

En aquest annex s'expliquen els passos bàsics que s'han seguit per poder realitzar l'estudi. El programa HULC permet la verificació de les exigències de la secció DB-HE0 i DB-HE1 del codi tècnic de l'edificació. En conseqüència el programa s'utilitza per obtenir una certificació energètica de l'edifici.

E.1 Definir edificació

En primer lloc introduïm i definim l'estructura de l'habitatge al HULC dins de l'espai de treball i es defineixen els espais de l'habitatge. A continuació podem veure un exemple de la representació de l'estructura de l'edifici amb un arbre desplegat on es veu algunes estàncies que té la casa.

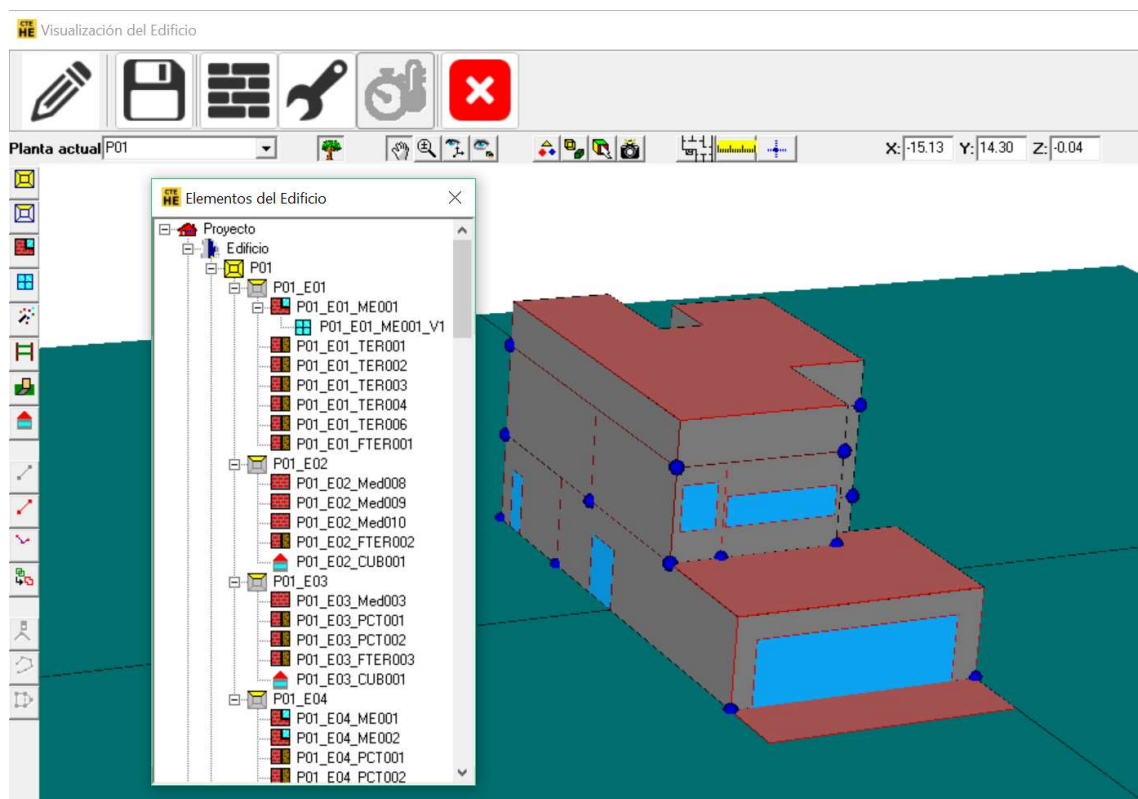


Figura 21. Representació de l'edifici (HULC)

E.2 Definir materials de la construcció

Una vegada aconseguida la representació a l'espai de treball definim el material de cada tancament, particions i definim els tipus de finestres que té l'habitatge. Tot seguit trobem un exemple de com s'introdueixen els materials dins el programa.

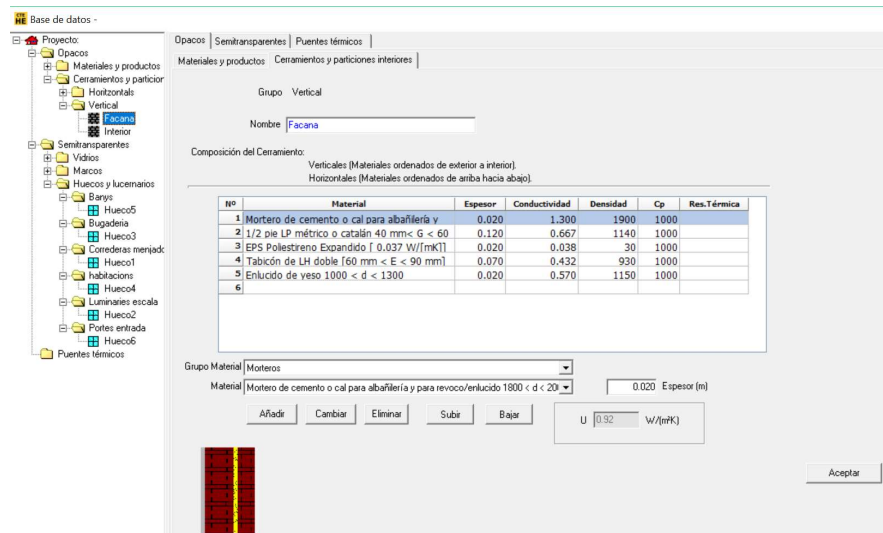


Figura 22. Introducció materials (HULC)

Seguidament, es defineix a l'espai de treball el tipus de tancament a cada mur representat. D'aquesta manera, s'estableixen i s'ubiquen els distints materials a l'edifici, al igual que les finestres i portes. Quan es finalitza la introducció i la definició dels materials, es pot treure el primer resultat, el càlcul de demandes de calefacció i refrigeració que correspon a la verificació de la compliment del secció DB-HE1 del CTE. Seguidament, es veu la finestra amb els gràfics de la demanda de calefacció i refrigeració.

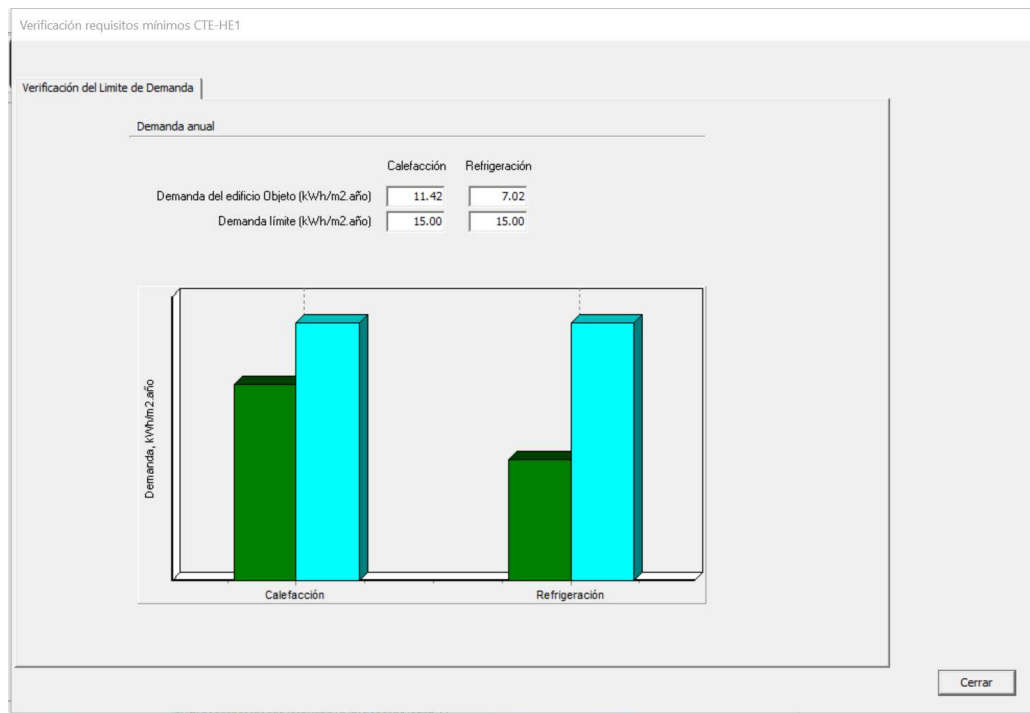


Figura 23. Resultats demandes (HULC)

E.3 Instal·lacions i consum d'ACS

Per poder extreure els resultats de l'edifici és necessari introduir els sistemes que es tenen de climatització i d'aigua calenta sanitària. En aquest espai s'ha de definir el tipus de sistema de climatització que té la casa, les unitats terminals dels sistemes de climatització i la demanda, prèviament calculada. A la figura 24 veiem un exemple de adjudicació de instal·lacions

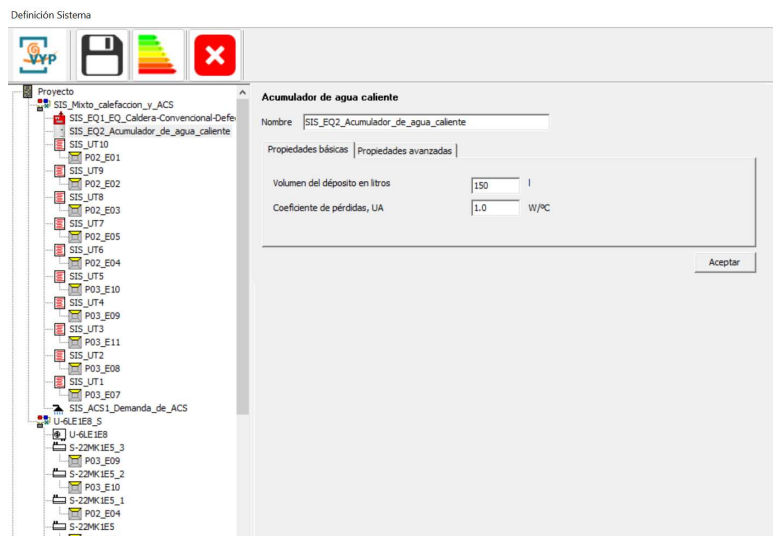


Figura 24. Introducció instal·lacions (HULC)

Una vegada s'han introduït tots els equips que es tenen de climatització i la demanda de ACS, es poden calcular els consums de l'edifici i la qualificació energètica d'aquest. En la figura 25 observem un exemple de qualificació energètica i a la figura 26 els resultats obtinguts.

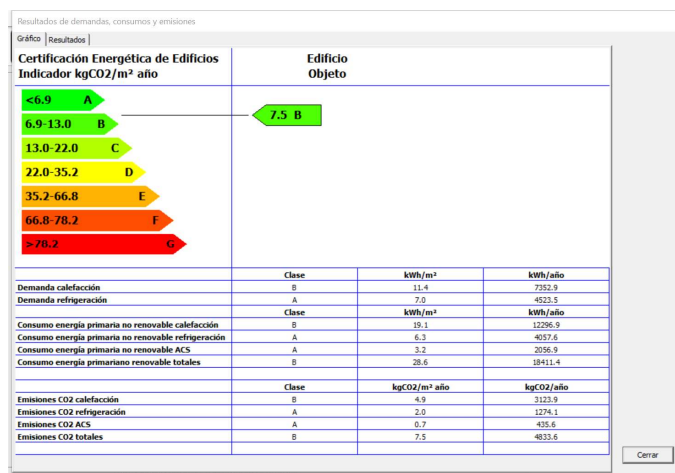


Figura 25. Qualificació energètica (HULC)

Resultados de demandas, consumos y emisiones

Gráfico Resultados

Demandas		Edificio Objeto	
		kWh/m ² año	kWh/año
Calefacción		11.4	7752.9
Refrigeración		7.0	4523.5

Consumos Energía Final		Edificio Objeto	
		kWh/m ² año	kWh/año
Calefacción		12.1	7774.3
Refrigeración		2.1	1367.1
ACS		2.7	1728.5
Global		16.9	10869.9

Consumos Energía Primaria No Renovable		Edificio Objeto	
		kWh/m ² año	kWh/año
Calefacción		19.1	12296.9
Refrigeración		6.3	4057.6
ACS		3.2	2056.9
Global		28.6	18411.4

Emisiones		Edificio Objeto	
		kgCO ₂ /m ² año	kgCO ₂ /año
Calefacción		4.9	3123.9
Refrigeración		2.0	1274.1
ACS		0.7	435.6
Global		7.5	4833.6

Cerrar

Figura 26. Introducció instal·lacions (HULC)

En acabar de calcular aquests resultats, figura 27, el programa ofereix la verificació del compliment de la secció DB-HE0 del CTE.



Figura 27. Verificació compliment DB-HE0 (HULC)

El programa HULC presenta l'opció de extreure dos arxius pdf on contempla les característiques i dades generals de l'edifici, tots els resultats obtinguts i la qualificació energètica de l'edifici.