

# PRÀCTIQUES ENERGIES RENOVABLES I EL SEU CONDICIONAMENT

---

**PRÀCTICA 1: RENDIMENT D'UN CAPTADOR SOLAR TÈRMIC DE BAIXA  
TEMPERATURA**

**PRÀCTICA 2: SIMULACIÓ DEL FUNCIONAMENT D'UNA INSTAL·LACIÓ  
SOLAR TÈRMICA EN EDIFICACIÓ MULTIFAMILIAR AMB L'EINA ACSOL**

**PRÀCTICA 3: SEMINARI-TALLER**

**PRÀCTIQUES 4 I 5: ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

**PRÀCTICA 6: DIMENSIONAMENT D'UNA INSTAL·LACIÓ SOLAR  
FOTOVOLTAICA MITJANÇANT L'EINA PVSYSY**

**PRÀCTICA 7. MINIPROJECTE**

# PRÀCTICA 1: Rendiment d'un captador solar tèrmic de baixa temperatura

## OBJECTIUS

Estudi de la potència útil i del rendiment d'un captador solar senzill tant amb la simulació amb Matlab/Simulink com experimentalment.

Per a la simulació amb Matlab+Simulink s'usaran les equacions d'estat que representen el comportament físic de cada un dels components que conformen aquest equip.

## 1. Introducció

La conversió tèrmica implica la transformació de la radiació solar que arriba a la superfície del sistema de captació (captador solar) en energia tèrmica emmagatzemada en un fluid (fluid caloportador). Els components que conformen el captador o col·lector solar es mostren en la Fig. 1.

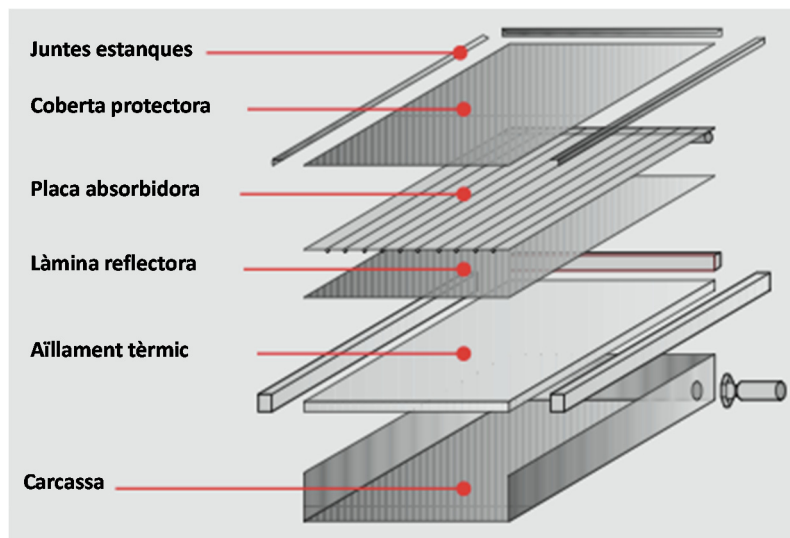


Fig. 1: Parts d'un col·lector solar pla.

El seu funcionament es basa en l'efecte d'hivernacle (Fig. 2). La radiació solar, de longitud d'ona curta, travessa la coberta transparent i incideix sobre l'absorbidor-ne augmentant la temperatura. L'absorbidor, en calfar-se, emet radiació d'ona llarga (IR), que queda retinguda per una coberta que és opaca a aquest tipus de radiació, de manera que es produeix una acumulació de calor que es transfereix al fluid caloportador.

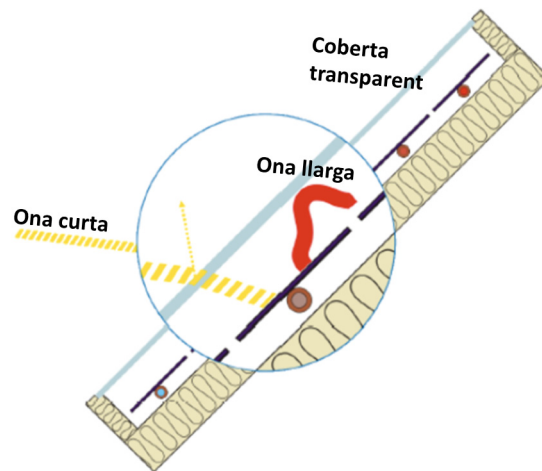


Fig. 2: Efecte d'hivernacle al col·lector solar.

A continuació, l'energia tèrmica generada en els captadors s'emmagatzema a l'acumulador. En la major part d'aplicacions es requereix d'un sistema d'intercanvi de calor (bescanviador) per a separar el fluid primari del secundari. Aquest bescanviador de calor pot ser extern a l'acumulador o intern, cas en què rep el nom d'interacumulador. Un esquema simplificat d'un equip de solar tèrmica amb interacumulador és el que es mostra en la Fig. 3, que s'usarà en aquesta pràctica per a realitzar un estudi de rendiment i potència útil, tant mitjançant la simulació amb Matlab/Simulink com experimentalment.

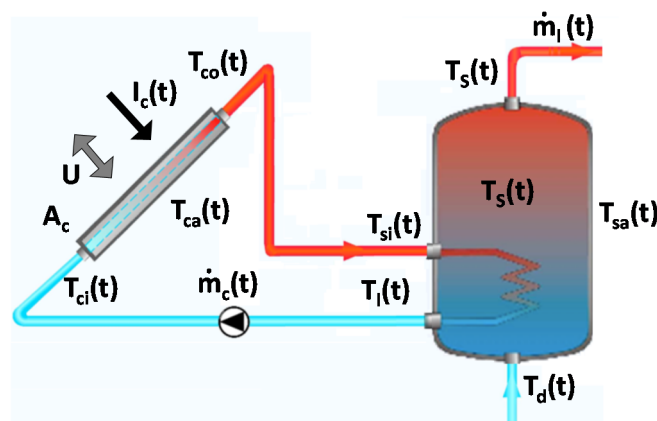


Fig. 3: Esquema simplificat.

En aquesta pràctica cal emprar el programari orientat a blocs de Matlab/Simulink per a la simulació de l'equip de la Fig. 3. Per a això, es requereix el modelatge físic de cada un dels elements de la instal·lació: col·lector solar i interacumulador. En aquesta anàlisi no es consideren les pèrdues tèrmiques en canonades.

### 1.1. Model físic i rendiment del captador solar

Considerem un col·lector solar pla com el que es mostra en la Fig. 4:

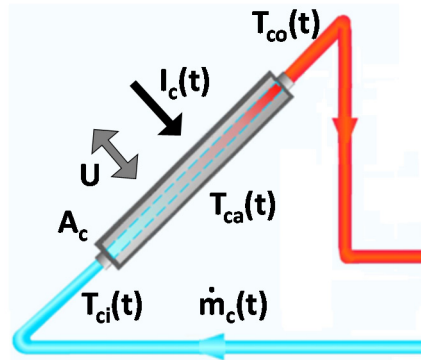


Fig. 4: Esquema d'un captador solar pla.

En aquest:

- $T_{ci}$ : Temperatura del fluid que entra en el col·lector [°C];
- $T_{co}$ : Temperatura del fluid que ix del col·lector [°C];
- $T_{ca}$ : Temperatura ambient de l'aire al voltant del col·lector [°C];
- $A_c$ : Superfície del col·lector [m<sup>2</sup>];
- $\dot{m}_c$ : Flux màssic al llarg de col·lector [kg/s].

Suposem en el nostre estudi que el col·lector no varia la seua posició, per la qual cosa la variació que experimenten l'energia cinètica i l'energia potencial d'aquest és nul·la, únicament hi ha una variació de l'energia tèrmica o calor.

La radiació solar incident es transforma en una quantitat de calor  $Q_s$  que és absorbida per la placa absorbidora del col·lector. La velocitat a què entra la calor  $Q_s$  al col·lector i és absorbida per la placa absorbidora del col·lector:

$$P_{entrada} \equiv \frac{dQ_s}{dt} = I_c \cdot A_c \cdot \tau \cdot \alpha \quad (1)$$

Sent:

- $\tau$ : Transmissivitat de la coberta.
- $\alpha$ : Absortivitat de la placa absorbidora.

$\tau$  i  $\alpha$  són adimensionals i depenen de l'angle d'incidència, de manera que s'incrementen els dos quan hi fa l'angle d'incidència.

La llei de refredament de Newton proporciona la velocitat en què la calor ( $dQ_l/dt$ ) es transfereix per conducció, convecció i radiació entre l'absorbidor i l'ambient que l'envolta. Aquesta és proporcional a l'àrea de l'absorbidor (que suposarem igual a la del col·lector) i a la diferència de temperatures entre l'absorbidor  $T_{abs}$  i l'ambient  $T_{ca}$ :

$$P_{pèrdues} \equiv \frac{dQ_l}{dt} = A_c \cdot U \cdot (T_{abs} - T_{ca}) \quad (2)$$

Sent  $U$  el coeficient d'intercanvi de calor entre l'absorbidor i l'ambient, o coeficient de pèrdues [W/m<sup>2</sup>·°C].

El fluid caloportador guanya una quantitat de calor,  $Q_f$  (calor útil), mentre passa a través de les canonades del col·lector, ja que la temperatura del fluid caloportador és més alta a l'eixida del col·lector,  $T_{co}$ , que a l'entrada,  $T_{ci}$ . La velocitat en què la calor és absorbida pel fluid caloportador pot calcular-se com:

$$P_{útil} \equiv \frac{dQ_f}{dt} = \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad (3)$$

Sent  $c_c$  la calor específica del fluid en col·lector [J/kg·°C] i  $\dot{m}_c$  el cabal màssic [kg/s].

Atenent al primer principi de la termodinàmica, la diferència entre la quantitat de calor que entra i la que ix dona lloc a una variació en l'energia interna que és la responsable de l'escalfament del fluid en el transcurs del temps:

$$P_{neta} = P_{entrada} - (P_{útil} + P_{pèrdues}) \quad (4)$$

$$P_{neta} = C_c \cdot \frac{dT_{co}}{dt} \quad (5)$$

Sent  $C_c = \rho_c \cdot c_c \cdot V_c$  la capacitat calorífica del fluid en el col·lector [J/°C] amb  $\rho_c$  la densitat [kg/m<sup>3</sup>],  $c_c$  la calor específica [J/kg·°C] i  $V_c$  el volum total de fluid en col·lector [m<sup>3</sup>].

Substituint (1), (2) i (3) en (5):

$$C_c \cdot \frac{dT_{co}}{dt} = I_c \cdot A_c \cdot \tau \cdot \alpha - A_c \cdot U \cdot (T_{abs} - T_{ca}) - \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad (6)$$

S'ha suposat que tant la densitat com la calor específica no canvien amb la temperatura en el rang d'interès i que el volum de fluid en col·lector  $V_c$  és constant.

A causa de la dificultat de mesurament de la temperatura de la placa absorbidora,  $T_{abs}$ , és usual expressar les pèrdues de calor en termes de la temperatura mitjana del fluid al col·lector, mesurada a partir de la temperatura a l'entrada ( $T_{ci}$ ) i a l'eixida ( $T_{co}$ ):

$$T_{av} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \quad (7)$$

La placa absorbidora, en funcionament, estarà a una temperatura superior a la temperatura del fluid (valor mitjà). Per a tenir aquesta influència en consideració s'introdueix un **factor corrector adimensional**  $F_R$  que indica l'eficiència de la transferència de calor entre la superfície de la placa absorbidora i el fluid caloportador. Si se substitueix aquest nou terme en l'equació (6) arribem al fet que:

$$C_c \cdot \frac{dT_{co}}{dt} = I_c \cdot A_c \cdot F_R \cdot \tau \cdot \alpha - A_c \cdot F_R \cdot U \cdot (T_{av} - T_{ca}) + \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (T_{ci} - T_{co}) \quad (8)$$

Al producte  $F_R \cdot \tau \cdot \alpha$  se li anomena "eficiència òptica",  $\eta_o$ , i al terme  $F_R \cdot U$  coeficient global de pèrdues de calor  $U_L$  [W/m<sup>2</sup>·°C]. Aquests paràmetres poden ser determinats bé mitjançant una anàlisi teòric o bé mitjançant un procediment experimental. A més podem tenir en compte que el flux màssic  $\dot{m}_c$  i el volumètric  $\dot{v}_c$  [m<sup>3</sup>/s] estan relacionats a través de la densitat del fluid al col·lector:

$$\dot{m}_c = \rho_c \cdot \dot{v}_c \quad (9)$$

L'equació (8) es pot escriure com:

$$\frac{dT_{co}}{dt} = \frac{A_c \cdot \eta_o}{C_c} \cdot I_c - \frac{A_c \cdot U_L}{C_c} \cdot (T_{av} - T_{ca}) + \frac{\dot{v}_c}{V_c} \cdot (T_{ci} - T_{co}) \quad (10)$$

Aquesta equació d'estat ens permet obtenir un model físic de comportament del col·lector solar pla i ens descriu la variació temporal de  $T_{co}$ . L'esquema de blocs simplificat és el que es mostra en la Fig. 5 en la qual les variables són les següents:

Variable d'estat:  $T_{co}$

Variable d'eixida:  $T_{co}$

Variabes d'entrada:

Pertorbacions:  $I_c$ ,  $T_{ca}$ ,  $T_{ci}$ .

Variable manipulada:  $\dot{v}_c$

Paràmetres:  $A_c$ ,  $c_c$ ,  $\rho_c$ ,  $U_L$ ,  $V_c$  i  $\eta_o$ .

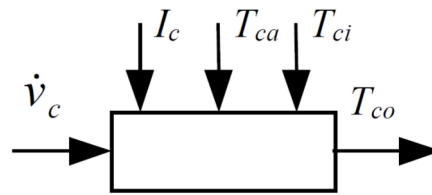


Fig. 5: Diagrama de blocs simplificat del col·lector solar.

Per a la resolució de l'equació diferencial (10) es s'usarà el programari orientat a blocs Matlab+Simulink. La Fig. 6 mostra el model Simulink del col·lector on la seua variable d'eixida és la temperatura del fluid a l'eixida del col·lector  $T_{co}$ .

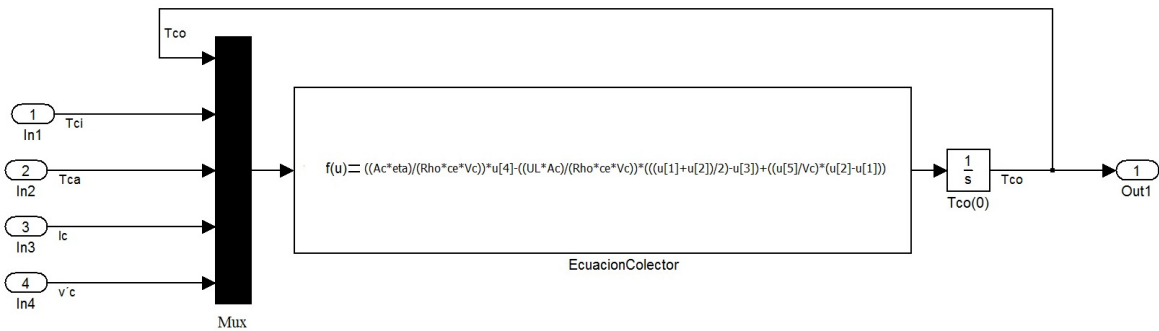


Fig. 6: Model Simulink del col·lector solar pla.

### Estudi del rendiment del captador

És la relació entre la potència útil que, extreta de l'absorbidor, arriba al fluid caloportador i a la radiació solar interceptada pel captador.

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{solar}}} = \frac{\frac{dQ_f}{dt}}{A_c \cdot I_c} \quad (11)$$

Tenint en compte que en règim estacionari:  $P_{\text{net}} = 0$ .

De l'equació (4) es dedueix que:

$$P_{\text{útil}} = P_{\text{entrada}} - P_{\text{pèrdues}} \quad (12)$$

és a dir, la potència útil és igual a la potència absorbida menys la potència perduda (cedida a l'ambient) i, per tant,

$$\eta = \frac{\frac{dQ_f}{dt}}{A_c \cdot I_c} = \frac{I_c \cdot A_c \cdot F_R \cdot \tau \cdot \alpha - A_c \cdot F_R \cdot U \cdot (T_{av} - T_{ca})}{A_c \cdot I_c} \quad (13)$$

i,

$$\eta = F_R \cdot \tau \cdot \alpha - F_R \cdot U \cdot \frac{(T_{av} - T_{ca})}{I_c} \quad (14)$$

que dona l'expressió del rendiment en funció del coeficient òptic  $\eta_o = F_R \cdot \tau \cdot \alpha$ , el coeficient global de pèrdues  $U_L = F_R \cdot U$  i l'increment de temperatura reduït  $\frac{T_{av} - T_{ca}}{I_c}$ .

## 1.2. Model físic de l'interacumulador

La Fig. 7 mostra un diagrama de blocs simplificat de l'interacumulador :

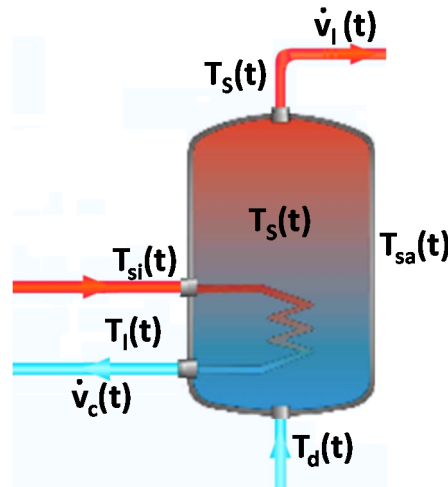


Fig. 7: Esquema de l'interacumulador.

Les variables són:

- $T_{si}$ : temperatura del fluid que entra a l'interacumulador procedent de captadors [°C];
- $T_l$ : temperatura del fluid que ix del bescanviador i retorna a l'entrada de captadors [°C];
- $\dot{v}_c$ : flux volumètric al bescanviador (tant a l'entrada com a l'eixida) [m<sup>3</sup>/s];
- $T_s$ : temperatura de l'aigua a l'acumulador [°C];
- $T_{sa}$ : temperatura ambient de l'aire als voltants de l'acumulador [°C];
- $T_d$ : temperatura de l'aigua freda de la xarxa de subministrament [°C];
- $V_s$ : volum de l'acumulador [m<sup>3</sup>];
- $\dot{v}_l$ : flux volumètric d'aigua calenta extreta (o d'aigua freda de xarxa introduïda al seu lloc) [m<sup>3</sup>/s];
- $A_s$ : Superfície de la cara externa de l'acumulador [m<sup>2</sup>];
- $k_s$ : coeficient de pèrdues de calor o de transferència de calor entre l'acumulador i l'ambient [W/m<sup>2</sup>·°C];
- $k$ : coeficient de transferència de calor entre bescanviador i acumulador [W/m<sup>2</sup>·°C];
- $A_a$ : superfície de la cara externa del bescanviador de calor [m<sup>2</sup>];
- $k_a$ : coeficient de pèrdues de calor o de transferència de calor entre el bescanviador de calor i l'ambient [W/m<sup>2</sup>·°C].

Suposarem que el fluid al tanc es barreja completament, per la qual cosa la distribució espacial de la temperatura a l'acumulador és homogènia, és a dir, no hi ha estratificació de la temperatura. D'aquesta manera, les transferències de calor que tenen lloc en un interacumulador corresponen a:

- Transferència de calor entre el bescanviador i l'acumulador:

$$\frac{dT_{s1}}{dt} = \frac{\dot{v}_c}{V_s} \cdot (T_{si} - T_l) \quad (15)$$

- Transferència de calor des del cabal d'aigua freda a l'acumulador:

$$\frac{dT_{s2}}{dt} = \frac{\dot{v}_l}{V_s} \cdot (T_d - T_s) \quad (16)$$

- Pèrdues de calor des de l'acumulador a l'ambient:

$$\frac{dT_{s3}}{dt} = - \frac{A_s \cdot k_s}{\rho_s \cdot c_s \cdot V_s} \cdot (T_s - T_{sa}) \quad (17)$$

D'aquesta forma, l'equació d'estat que descriu la variació temporal de  $T_s$  resulta ser:

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{\dot{v}_l}{V_s} \cdot (T_d - T_s) + \frac{\dot{v}_c}{V_s} \cdot (T_{si} - T_l) - \frac{A_s \cdot k_s}{\rho_s \cdot c_s \cdot V_s} \cdot (T_s - T_{sa}) \quad (18)$$

En el nostre cas, com es descriurà més a baix, al no haver-hi extracció d'aigua calenta ni introducció d'aigua freda a l'acumulador, el primer terme d'aquesta equació és nul.

Realment, la diferència entre la temperatura del fluid que circula per l'interior del bescanviador i la del fluid emmagatzemat no és constant, sinó que varia al llarg del bescanviador. Per aquesta raó, per a una anàlisi més exhaustiva, s'introdueix el concepte de diferència de temperatura mitjana logarítmica (LMTD, en les sigles en anglès), definida així:

$$LMTD = \frac{(T_{si} - T_s) - (T_l - T_s)}{\ln\left(\frac{T_{si} - T_s}{T_l - T_s}\right)} \quad (19)$$

D'altra banda, la potència transmesa pel bescanviador es pot obtenir a partir de:

$$P = \dot{v}_c \cdot \rho \cdot c \cdot (T_{si} - T_l) = A_a \cdot k \cdot LMTD \quad (20)$$

i, operant,

$$T_l = (T_{si} - T_s) \cdot e^{-\frac{A_a \cdot k}{\dot{v}_c \rho c}} + T_s \quad (21)$$

Les equacions d'estat (18) i (21) ens permeten obtenir un model físic de comportament de l'interacumulador i ens descriuen la variació temporal de  $T_s$  i  $T_l$ . La Figura 8 mostra el model Simulink de l'interacumulador.

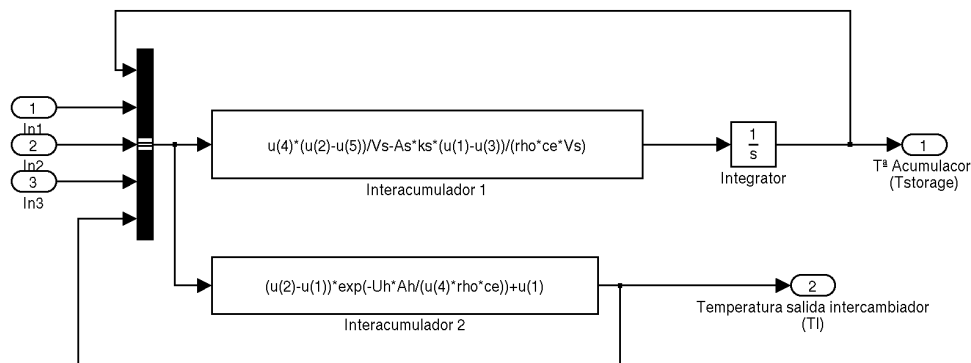


Fig. 8: Model Simulink de l'interacumulador.

## 2. Entrenador de solar-tèrmica

El sistema d'energia solar-tèrmica utilitzat és el que mostra en la Fig. 9. Està format per:

1. Un col·lector solar, l'element absorbent del qual és d'acer pintat en negre i de canonades disposades en graella. La placa de vidre frontal es pot llevar, cosa que permet poder estudiar l'efecte d'hivernacle que aquesta produeix.
2. Un bescanviador en forma de serpenti i un dipòsit per a l'aigua de xarxa.
3. Un vas d'expansió.
4. Una bomba de circulació que posa en moviment l'aigua a través del col·lector. La bomba s'ha d'alimentar amb una tensió d'uns 5 V aproximadament (no superar els límits de 6 V/ 1,5 A).
5. Un llum d'infrarojos d'intensitat de llum coneguda.



Adicionalment, l'equip disposa de tres sensors de temperatura del tipus Pt100 per al mesurament de la temperatura a l'entrada del col·lector ( $T_{ci}^a$ ), a l'eixida del col·lector ( $T_{co}^a$ ) i la temperatura ambient ( $T_{ca}^a$ ). Els sensors Pt100 són sensors resistius, la resistència dels quals varia amb la temperatura de la forma:

$$R_{Pt100} = 100 \cdot (1 + 0,0039T^a) \quad (22)$$

De tal forma que, mesurant la resistència d'aquest sensor podem determinar la temperatura:

$$T^a = \frac{\frac{R_{Pt100}}{100} - 1}{0,0039} \quad (23)$$

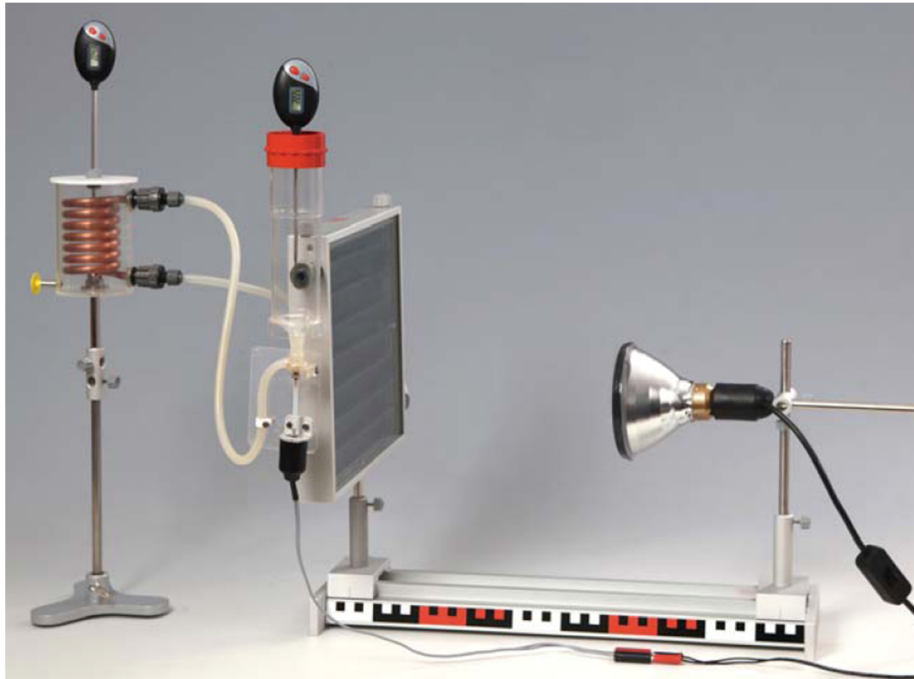


Fig. 9: Col·lector solar de demostració per a instal·lacions d'ACS. Àrea de captació 0,074 m<sup>2</sup>.

Per a dur a terme les proves, el col·lector solar s'il·lumina amb un llum d'intensitat coneguda, de manera que l'aigua que circula per les canonades del col·lector s'escalfa. D'altra banda, la bomba de circulació posa en moviment l'aigua a través del col·lector. L'aigua en circulació es fa passar a través d'un serpentí (bescanviador), que cedeix la seua calor a l'aigua del dipòsit (acumulador). En aquest cas no hi ha entrada d'aigua de xarxa ni eixida d'aigua al consum.

### 3. Simulació amb Matlab/Simulink

A continuació es realitzarà la simulació amb Matlab/Simulink, per a això es parteix del fitxer **Colector\_interacumulador.sml** que us podeu descarregar de l'aula virtual. En aquest fitxer cal definir els paràmetres del captador i de l'interacumulador, a més de fixar-hi les dades de radiació, cabal i temperatura ambient en què farem treballar el sistema.

El captador que heu de simular té les següents característiques:

- Àrea: 0,12 m<sup>2</sup>
- Volum de fluid en captadors: 0,35 l
- Eficiència òptica: 0,73

- Coeficient global de pèrdues: 8 W/m<sup>2</sup>°C

I el fluid caloportador és aigua sense anticongelant:

- Densitat  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- Calor específica  $c_e = 4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$

D'altra banda, les dades de l'interacumulador són:

- Volum de l'acumulador: 5 l
- Àrea de l'acumulador: 0,1816 m<sup>2</sup>
- Coeficient de pèrdues de calor entre l'acumulador i l'ambient: 15,5 W/m<sup>2</sup>°C
- Àrea del bescanviador: 0,0718 m<sup>2</sup>
- Coeficient de transferència de calor del bescanviador: 200 W/m<sup>2</sup>°C

Considereu una temperatura ambient de 25 °C.

### 3.1.- Estudi del rendiment en funció del cabal

Per a una irradiància de 1000 W/m<sup>2</sup>, varieu el cabal entre 5 i 500 cm<sup>3</sup>/min tal com s'indica en la taula següent i preneu la lectura de la temperatura a l'entrada del col·lector, a l'eixida d'aquest, la que hi ha dins l'acumulador, la diferència de temperatura reduïda i la del rendiment; totes, una vegada s'ha arribat al **règim estacionari**. Empleneu la taula adjunta i, a continuació, representeu les dades mitjançant un full d'Excel (fitxer Pràctica1\_ResultatsSimulats.xls), tal com s'indica més avant.

Cabal (cm <sup>3</sup> /min)	T <sup>a</sup> <sub>ci</sub> (°C)	T <sup>a</sup> <sub>co</sub> (°C)	T <sup>a</sup> <sub>s</sub> (°C)	$\frac{T^a_f - T^a_{amb}}{I}$	P <sub>útil</sub> (W)	Rendiment
5						
10						
50						
100						
150						
200						
300						
500						

Primer es representarà el rendiment en funció del cabal.

Rendiment en funció del cabal

Comenteu la variació que experimenta el rendiment en funció del cabal:

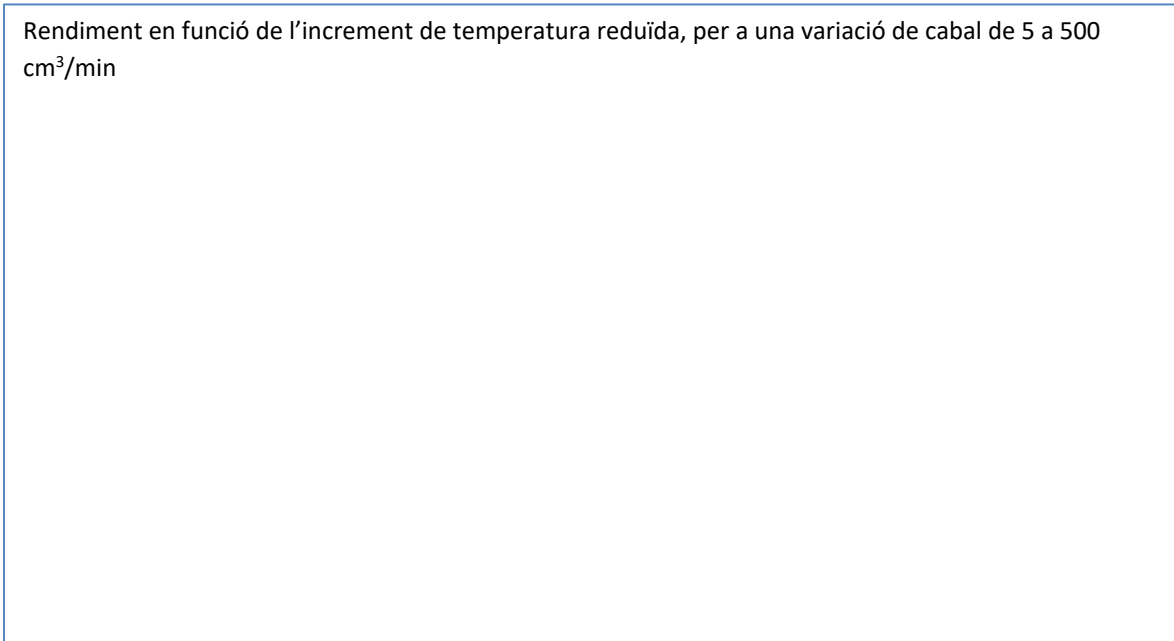
.....

.....

.....

A continuació, representeu el rendiment en funció de l'increment de temperatura reduït, i realitzeu un ajustament per mínims quadrats.

Rendiment en funció de l'increment de temperatura reduïda, per a una variació de cabal de 5 a 500 cm<sup>3</sup>/min



A partir de les dades obtingudes en l'ajustament per mínims quadrats, determineu:

Coefficient de rendiment òptic  $\eta_o$ :.....

Coefficient global de pèrdues  $U_L$ :..... W/m<sup>2</sup>°C

### 3.2.- Potència útil en funció de la radiació incident

Fixeu un cabal de 100 cm<sup>3</sup>/min i una temperatura ambient de 25 °C i obteniu la potència útil per als nivells d'irradiància que s'especifiquen en aquesta taula. Feu els mesuraments una vegada s'ha arribat al règim estacionari.

I (W/m <sup>2</sup> )	T <sup>a</sup> <sub>ci</sub> (°C)	T <sup>a</sup> <sub>co</sub> (°C)	T <sup>a</sup> <sub>co</sub> -T <sup>a</sup> <sub>ci</sub>	Potència útil (W)
100				
400				
500				
700				
1000				
1200				

Comenteu la variació que experimenta la potència útil en funció de la irradiància:

.....

.....

.....

## 4. Procediment experimental

A continuació, es realitzaran mesuraments amb l'equip experimental de la Fig. 9, amb la finalitat d'obtenir el rendiment d'aquest captador en funció de la temperatura reduïda per a diferents configuracions del captador solar. Els càlculs a realitzar es poden completar fent ús de la fulla Excel "Pràctica1\_ResultatsExperimentals.xls" que trobareu a l'Aula Virtual.

Per a la mesura del rendiment del captador es poden utilitzar els mètodes següents:

1. Mètode estacionari.
2. Mètode basat en la mesura separada del rendiment òptic ( $\eta_o$ ) i del coeficient global de pèrdues ( $U_L$ ).
3. Mètode transitori.

El **mètode estacionari**, utilitzat en l'apartat anterior de simulació, consisteix a esperar que les temperatures s'estabilitzen per al nivell de cabal, amb una temperatura d'entrada i una irradiància fixades. D'aquesta forma, la potència neta (5) serà nul·la i, d'acord amb el balanç de potències (4), el rendiment ve donat per l'equació (14).

En el **segon mètode**, el rendiment òptic es pot calcular en el punt en què la temperatura mitjana del fluid ( $T_{av}$ ) s'igualava a la de l'ambient ( $T_{ca}$ ). En aquest cas, d'acord amb (14), el rendiment és directament el rendiment òptic. Aquest, com en el cas anterior, es calcula mitjançant la potència útil. D'altra banda, per a mesurar el coeficient global de pèrdues s'elimina la radiació incident tapant bé el captador ( $P_{entrada}=0$ ), se li introdueix aigua prèviament calfada i s'espera que arribe a l'estat estacionari per al cabal fixat ( $P_{neta}=0$ ). D'aquesta forma, el balanç de potències (4) es tradueix en:

$$P_{útil} = -P_{pèrdues} \rightarrow U_L = \frac{\dot{m}_c \cdot c_c \cdot (T_{co} - T_{ci})}{A_c \cdot (T_{av} - T_{ca})} \quad (24)$$

I, finalment, el **mètode transitori**, que és el que usarem en aquesta pràctica, consisteix en la determinació de la corba de rendiment del captador, sense l'extracció de potència útil; per a això s'han d'interconnectar l'entrada i l'eixida, de manera que  $T_{co} = T_{ci}$  i, per tant, d'acord amb (3)  $P_{útil} = 0$ . El balanç de potències (4) ara és:

$$P_{neta} = P_{entrada} - P_{pèrdues} \quad (25)$$

I de la definició de rendiment (11) a (14), podem expressar el rendiment en funció de la potència neta:

$$\eta = \frac{P_{neta}}{A_c \cdot I_c} = \eta_o - U_L \cdot \left( \frac{T_{av} - T_{ca}}{I_c} \right) \quad (26)$$

D'aquesta forma, per a poder fer aquestes mesures hem modificat el circuit de la Fig. 9 interconnectant l'eixida del captador amb l'entrada, tal com mostra la Fig. 10.

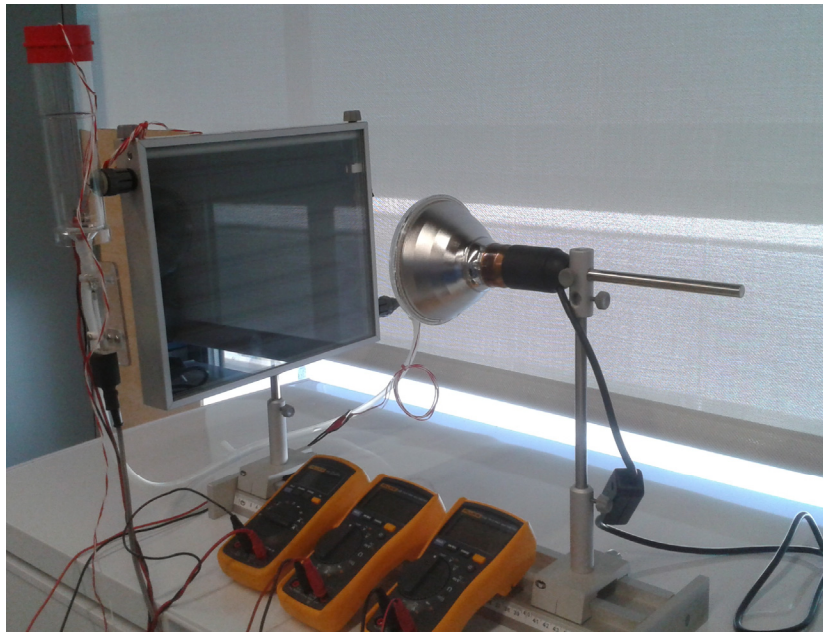


Figura 10

Amb l'equip de la Fig. 10, el propòsit és calcular la potència neta donada per l'equació (5), però tenint en compte que  $T_{co} = T_{ci}$  i  $C_c = \rho_c \cdot c_c \cdot V_c$ . Com que, en realitat, en el circuit tancat hi ha pèrdues, en la pràctica existirà una xicoteta diferència entre  $T_{co}$  i  $T_{ci}$ , raó per la qual en la pràctica prendrem una temperatura mitjana  $T_m = (T_{co} + T_{ci})/2$ . D'aquesta forma, la potència neta serà:

$$P_{neta} = \rho_c \cdot V_c \cdot c_c \cdot \frac{dT_m}{dt} \sim \rho_c \cdot V_c \cdot c_c \cdot \frac{\Delta T_m}{\Delta t} = \rho_c \cdot V_c \cdot c_c \cdot \frac{T_m(i+1) - T_m(i)}{120 s} \quad (27)$$

I per a calcular-la realitzarem mesuraments de  $T_m$  en dos intervals determinats  $T_m(i+1)$  i  $T_m(i)$ , per exemple amb una diferència de temps de 2 min. Així, si es coneix el volum  $V_c$  del fluid en el circuit tancat, podem determinar la potència neta del sistema (energia necessària per a escalfar el fluid entre dos valors consecutius de  $T_m$  mesurats en un interval de temps de 2 min).

De la mateixa manera, per a la representació del rendiment en funció de la temperatura reduïda:

$$T^{a*} = \left( \frac{T_{av} - T_{ca}}{I_c} \right) \quad (28)$$

Els valors  $T_{av}$  i  $T_{ca}$  s'hauran de prendre entre un punt intermediari entre (i+1) i (i), és a dir:

$$\begin{aligned} T_{av} &= \frac{T_m(i+1) + T_m(i)}{2} \\ T_{ca} &= \frac{T_{amb}(i+1) + T_{amb}(i)}{2} \end{aligned} \quad (29)$$

Les mesures de rendiment es faran per a tres situacions diferents:

- El col·lector amb doble coberta de vidre i aïllant tèrmic.
- Col·lector amb coberta de vidre simple (coberta davantera) i sense aïllant tèrmic.
- Col·lector sense coberta de vidre i sense aïllament tèrmic.

Es procedirà tal com es detalla a continuació:

- Partint de la situació a), fixarem una distància focal de 25 cm, cosa que suposa una irradiància de  $800 \text{ W/m}^2$ . Es treballarà amb l'aire condicionat en funcionament, perquè la temperatura ambient es mantinga a una temperatura aproximada entre  $24 - 26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2. Omplirem el captador amb aigua intentant que aquesta no sobrepassa excessivament la connexió d'eixida del captador.
3. Posarem en funcionament la bomba de circulació.
4. Encendrem el focus i esperarem un parell de minuts abans de començar a prendre mesuraments.
5. Després d'aquest temps, es realitzaran mesuraments de la temperatura d'entrada al captador ( $T_{ci}$ ), d'eixida ( $T_{co}$ ) i d'ambient ( $T_{ca}$ ) en intervals de 2 minuts exactes.

**COMENTARI:** La precisió del moment en què es prenen conjuntament els tres mesuraments és fonamental perquè els resultats siguen correctes i que el càlcul de la derivada de l'equació (27) siga correcte.

6. Es prendran un total de 15 mesuraments (30 minuts). Els resultats s'introduiran en el fitxer Excel "Practica1\_ResultadosExperimentales.xls". Es considera un volum de fluid en circuit tancat de  $V_c = 250$  ml.
7. Representeu el rendiment (26) en funció de la temperatura reduïda (28) i realitzeu un ajustament per mínims quadrats on indiqueu els valors obtinguts per al rendiment òptic i el coeficient global de pèrdues. Indiqueu també el coeficient de correlació de l'ajustament, que ens indica com de bé s'ajusten els punts a la recta.
8. Repetiu el procediment per als casos b) i c). Per a això, abans de procedir a realitzar els mesuraments, caldrà buidar el captador i tornar-lo a omplir amb aigua a temperatura ambient. És convenient, abans de tornar a encendre el focus, fer recircular l'aigua pel captador perquè aquest es refrede.

			Unitats
Cas a)	Rendiment òptic ( $\eta_o$ )		
	Coeficient global de pèrdues		
	Coeficient de correlació		
Cas b)	Rendiment òptic ( $\eta_o$ )		
	Coeficient global de pèrdues		
	Coeficient de correlació		
Cas c)	Rendiment òptic ( $\eta_o$ )		
	Coeficient global de pèrdues		
	Coeficient de correlació		

**Comenteu i justifiqueu els resultats obtinguts pel que fa al rendiment òptic i el coeficient global de pèrdues per les tres configuracions del captador:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# Pràctica 2: Simulació del funcionament d'una instal·lació Solar Tèrmica en edificació multifamiliar amb l'eina AcSol

---

## 1. Introducció

Hi ha dos tipus de programes de simulació d'instal·lacions solars tèrmiques: no modulars (AcSol, T-SOL, TRANSOL, POLYSUN, etc.) i modulars (TRNSYS, etc.). En els dos casos se simula el comportament d'una instal·lació a partir dels models matemàtics establerts per a cada component. Aquests programes permeten realitzar avaluacions en diferents períodes de temps (anual, mensual, setmanal, diari, horari, etc.) mitjançant la resolució de les equacions característiques dels diferents components d'una instal·lació solar.

Els programes no modulars disposen d'una llibreria que conté configuracions predeterminades d'instal·lacions solars tèrmiques perquè l'usuari pugui seleccionar la configuració que millor s'adapte a cada cas i introduir els paràmetres requerits. Llevat d'excepcions, no es pot variar la configuració de la instal·lació ni ampliar la llibreria disponible amb configuracions noves. En general, aquests programes són de fàcil maneig per a usuaris que prèviament han usat Windows i que estiguen familiaritzats amb el càlcul d'instal·lacions solars, i es caracteritzen per una presentació adequada dels resultats. Els programes modulars ofereixen la possibilitat de realitzar anàlisis dinàmiques i, gràcies a una flexibilitat elevada, de simular pràcticament qualsevol tipus de configuració i condicions d'operació. Normalment no són d'ús fàcil, ja que l'usuari necessita períodes d'adaptació mitjans o llargs per a treballar correctament amb aquest tipus de programes.

En aquesta pràctica es presentarà i usarà un programari de càlcul modular àmpliament utilitzat per empreses instal·ladores, enginyeries, etc. Aquest programari s'anomena AcSol i l'ha desenvolupat l'Agència Andalusina d'Energia.

A continuació s'explica, de forma resumida, el maneig del programa. Per a més informació, serà convenient que consulteu l'Ajuda que trobareu en el programa mateix.

A partir de la finestra d'inici (Figura 1) es pot triar entre diferents sistemes, en cada elecció es veu l'esquema de principi de cada un. En aquest moment s'obrirà la finestra de projecte, des d'on es tindrà accés a tots els paràmetres modificables, per a poder simular detalladament els diferents sistemes definits.



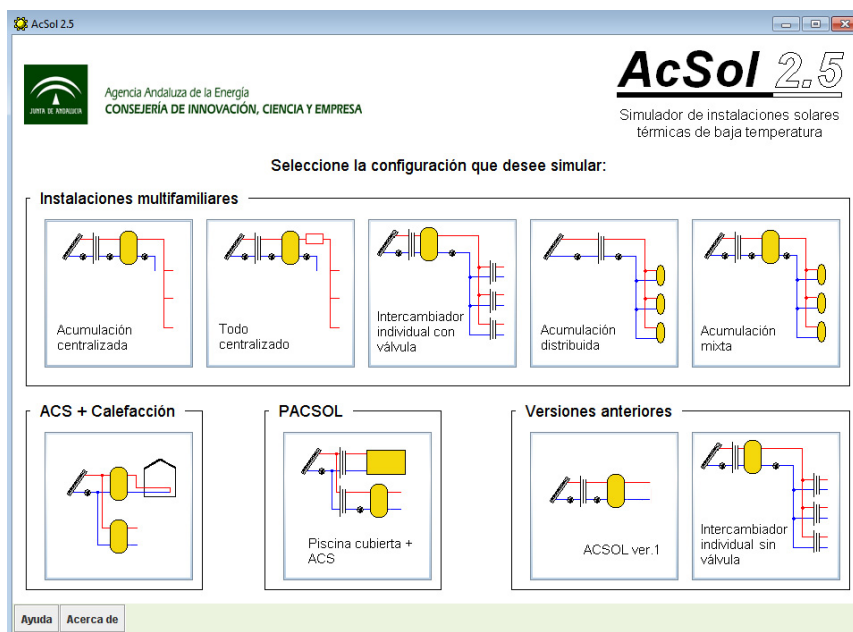


Figura 1. Finestra d'inici.

Font: Simulador d'instal·lacions solars tèrmiques de baixa temperatura AcSol (Agència Andalus de l'Energia)

L'eina ens permet cinc esquemes de principi bàsics:

1. Acumulació centralitzada amb suport distribuït.
2. Acumulació i suport centralitzat (tot centralitzat).
3. Acumulació centralitzada amb suport distribuït i bescanviador individual amb regulació del cabal primari.
4. Acumulació distribuïda.
5. Acumulació mixta.

Dos esquemes especials:

6. Instal·lació combinada per a calefacció i ACS en habitatge unifamiliar, en particular l'esquema de principi contemplat en la *Guia d'instal·lacions solars per a calefacció per aigua calenta* de l'Agència Andalus de l'Energia (2007).
7. Instal·lació combinada per a piscina coberta i preparació d'ACS per a dutxes, típica d'un poliesportiu (programa PACSOL).

I dos esquemes procedents de versions anteriors del programa, que s'han mantingut per si resulten d'interès per a alguns usuaris:

8. Instal·lació multifamiliar amb acumulació centralitzada, suport individual i bescanviador en habitatge sense regulació del cabal primari.
9. Instal·lació solar bàsica composta per un camp de captadors, un acumulador central, un sistema auxiliar i un consumidor (antic AcSol versió 1).

La funció bàsica d'AcSol és calcular les prestacions sobre les que el CTE HE-4 estableix exigències:

- Contribució solar (també denominada fracció solar).

- Hores en sobreescalfament.
- Rendiment del camp de captadors (també denominat factor d'utilització).
- Pèrdues de radiació.

Una vegada seleccionada l'aplicació amb què treballarem, el programa ja ens permet, mitjançant l'activació de la pestanya corresponent (Figura 2), entrar i modificar les dades per al nostre disseny concret.

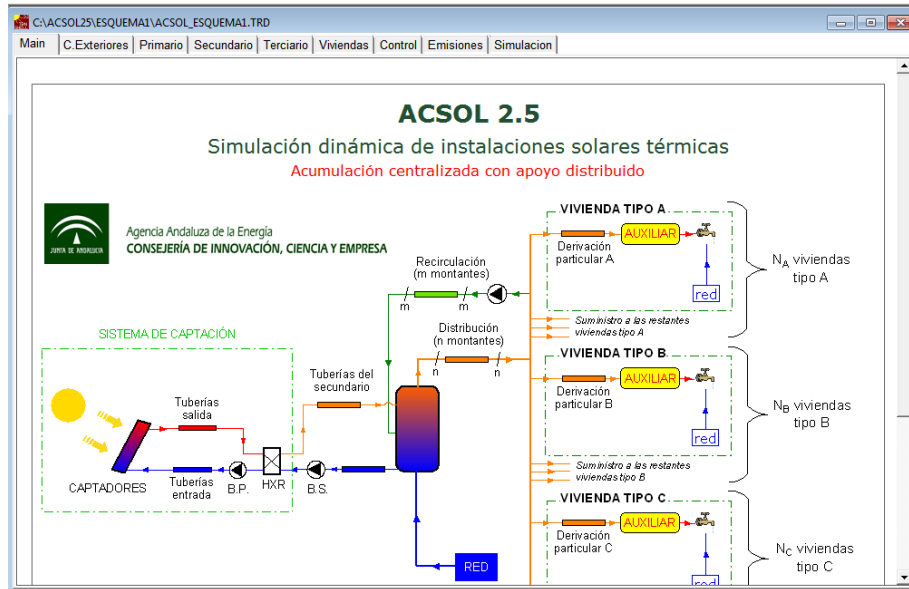


Figura 2: En activar la pestanya entrem al disseny del tipus d'aplicació escollit  
Font: Simulador d'instal·lacions solars tèrmiques de baixa temperatura AcSol (Agència Andaluza de l'Energia)

L'entrada de dades, depenent de l'aplicació concreta, es divideix en:

**Condicions exteriors**, que inclou: les condicions ambientals, d'albedo, temperatura d'interiors durant l'hivern i durant l'estiu; i si hi ha pèrdues per orientació o per ombres al camp dels captadors.

**Primari**, que inclou: geometria i característiques del captador, característiques del fluid primari i del bescanviador de calor; així com les característiques de les canonades que connecten el bescanviador de calor amb els captadors i a través de les quals el fluid primari experimenta pèrdues de calor.

**Secundari**, que inclou: les característiques de l'acumulador central, així com les canonades (de secundari) que connecten el bescanviador de calor amb l'acumulador.

**Terciari**, que comprén els circuits de distribució i de recirculació.

**Habitatges**. Es distingeixen quatre tipus d'habitatges, que queden definits per les característiques de: temperatura de referència per a definir els consums d'ACS; dades per a cada tipus d'habitatge (nombre d'habitatges de cada tipus, demanda diària d'ACS d'un habitatge a la temperatura de referència); i forma dels perfils de demanda diària i mensual.

**Control**, on es defineixen els paràmetres de control de les bombes i dels sistemes de suport, i que inclou el control de càrrega de l'acumulador central i dels sistemes auxiliars.

**SIMULACIÓ**, on es defineixen tots els paràmetres de simulació i s'accedeix a l'eixida del programa (fitxer de resultats). Els paràmetres de simulació són: el període de temps a simular, el pas del temps de simulació i la tolerància de càlcul.

**Emissions**, on s'introdueix la informació necessària per estimar les emissions de CO<sub>2</sub> que evita la instal·lació solar.

## 2. Sistema multifamiliar amb acumulació solar centralitzada

Es realitzarà la simulació del sistema corresponent a l'Exercici 1. Es tracta d'un bloc d'habitatges de nova construcció situat a la ciutat de Barcelona que consta de 24 habitatges repartits en 6 plantes, a raó de 4 habitatges per planta. La configuració triada per a la instal·lació solar és una acumulació centralitzada amb suport distribuït (Fig. 3).

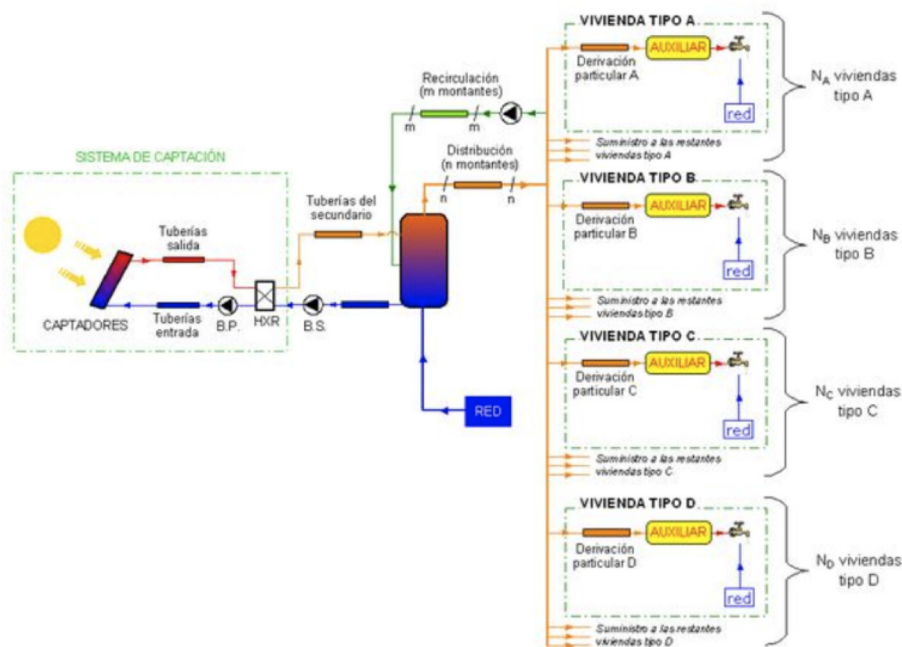


Figura 3: Acumulació centralitzada amb suport distribuït  
Font: Simulador d'instal·lacions solars tèrmiques de baixa temperatura AcSol (Agència Andalus de l'Energia)

Les dades de la simulació s'extrauran de l'exercici 1. No obstant això, algunes de les dades a introduir es comenten a continuació:

### A. Condicions exteriors

*Radiació, temperatura mitjana ambient i temperatura de xarxa.*

Encara que les dades de radiació en superfície horitzontal, de la temperatura ambient mitjana i de la temperatura de xarxa de la ciutat de Barcelona apareixen en la base de dades del programa (fitxer

climàtic EPW de la ciutat de Barcelona), aquestes són lleugerament diferents a les proporcionades per l'Ordenança General de Medi ambient de l'Ajuntament de Barcelona i per l'Institut Català de l'Energia (Taula I). Per aquest motiu, aquestes s'introduiran manualment. En concret, les dades de radiació mitjana diària sobre superfície inclinada 45° s'han pres del *Atlas de Radiació Solar a Catalunya* ([www.icaen.net](http://www.icaen.net)).

El programa requereix la introducció de les dades de radiació sobre superfície horitzontal, per a posteriorment multiplicar-les pel factor de correcció per a la latitud del lloc i la inclinació del captador indicat en el *Plec de Condicions Tècniques d'Instal·lacions de Baixa Temperatura*. Per tant, per a emprar els mateixos valors de radiació dividirem per K la radiació sobre la superfície inclinada per tal d'obtenir la radiació sobre superfície horitzontal a introduir (ombrejada en la Taula I).

**Taula I:** Dades de radiació, temperatura mitjana ambient i temperatura de xarxa per a la ciutat de Barcelona (Latitud: 41°)

Mes	Radiació a 45° [MJ/m <sup>2</sup> ·dia]	K per a latitud de 41° i 45° d'inclinació	Radiació horitzontal [MJ/m <sup>2</sup> ·dia]	Temperatura mitjana ambient [°C]	Temperatura mitjana de xarxa [°C]
<b>Gener</b>	12.83	1.42	9.04	9.90	10.27
<b>Febrer</b>	15.15	1.3	11.65	10.50	10.72
<b>Març</b>	17.94	1.16	15.47	12.20	12.39
<b>Abril</b>	19.89	1.03	19.31	13.70	14.15
<b>Maig</b>	20.67	0.93	22.23	17.50	16.63
<b>Juny</b>	20.84	0.89	23.42	20.60	19.39
<b>Juliol</b>	20.9	0.93	22.47	24.40	20.91
<b>Agost</b>	20.63	1.04	19.84	25.10	22.44
<b>Setembre</b>	19.26	1.21	15.92	21.40	21.53
<b>Octubre</b>	16.63	1.41	11.79	17.10	19.07
<b>Novembre</b>	13.85	1.55	8.93	13.30	14.95
<b>Desembre</b>	12.19	1.52	8.02	11.20	11.70

Albedo: Es prendrà el valor per defecte de la reflectivitat del terra o albedo, és a dir, 0,2.

Temperatura d'interiors durant l'hivern i durant l'estiu: Es prendran de 12 °C i 20 °C respectivament.

**Tractament de les ombres en el camp dels captadors:**

Seleccioneu "Considera ombres per obstacles circumdants i entre files contigües del camp de captadors". En el primer apartat, considereu menyspreable l'ombra produïda pel muret a l'hora de definir l'horitzó vist des del camp de captadors. Teniu en compte les ombres entre files de captadors.

Tal com s'ha explicat en l'exercici 1, s'han de considerar dues files de captadors de dos grups cada una. Cada grup està format per 5 captadors. Els captadors són d'1 m d'amplària, 2 m d'alçària i estan inclinats 45°. La separació entre files, d'acord a l'especificat en el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), és de 3,9 m. L'alçària que cal considerar per al càlcul de les ombres ha de tenir en compte la inclinació dels captadors.

## B. Primari

### Geometria de camp

Veieu les dades de l'exercici 1.

### Característiques dels captadors

Veieu les dades de l'exercici 1.

**Modificador de l'angle d'incidència de primer ordre ( $b_0$ ).** Els assajos d'eficiència es realitzen a una incidència normal (radiació directa que incideix perpendicularment al captador). No obstant això, en condicions d'operació, l'angle d'incidència de la radiació directa sobre els captadors és diferent i canvia amb el temps. A més, els components difusos de la radiació incideixen sobre el captador des de totes les direccions. El modificador de l'angle d'incidència caracteritza la reducció en la radiació neta absorbida pel captador en funció de l'angle d'incidència de la radiació. Per a un captador pla, ve donat per l'equació d'ajust següent:

$$k(\theta) = 1 - b_0 \cdot \left( \frac{1}{\cos(\theta)} - 1 \right)$$

on  $\theta$  és l'angle d'incidència (el que forma el raig incident amb la normal al captador),  $k(\theta)$  és el modificador de l'angle d'incidència, i  $b_0$  és el modificador de l'angle d'incidència de primer ordre. El programa demana el valor de  $b_0$ .

El fabricant proporciona el valor del modificador de l'angle d'incidència per a un angle determinat, típicament el  $k(50^\circ)$ , que és el que demana la norma d'assajos europea EN 12975-1,2:2006.

**En l'exercici 1, per al càlcul de l'àrea de captació amb el mètode F-Chart s'ha considerat un valor  $k(\theta) = 0,96$ . Prendrem el mateix valor, i obtindrem  $b_0$  de l'equació anterior considerant  $\theta = 50^\circ$ .**

### Fluid primari

Veieu les dades de l'exercici 1.

### Bescanviador de calor

El bescanviador de calor del primari és exterior al dipòsit. Per a definir-ne el comportament, es demanen dues característiques:

1. Potència nominal del bescanviador de calor per unitat de superfície de captació [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]. El CTE fixa almenys  $500 \text{ W}/\text{m}^2$  per a aquest paràmetre.
2. Diferència de temperatura logarítmica mitjana [ $^\circ\text{C}$ ], abreujada com DTLM.

*Pot resultar estrany que es demane la DTLM en lloc de les temperatures nominals d'entrada i d'eixida de primari i de secundari. La raó és que el gradient de temperatura entre els fluids de primari i secundari varia amb la posició, per la qual cosa per a simplificar el càlcul s'usa aquesta temperatura com a temperatura mitjana. La utilització de la DTLM ofereix un avantatge important: per al bescanviador del camp de captadors, el seu valor sol ser d'uns  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . D'aquesta manera, si s'estan realitzant simulacions preliminars i encara no s'ha seleccionat un bescanviador concret, es pot utilitzar un valor fix de  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  i ajustar la potència nominal (paràmetre anterior) segons l'àrea total de captadors.*

Una vegada seleccionat un bescanviador particular, es pot calcular la DTLM mitjançant l'aplicació a què dona accés la figura "Prem ací per a obrir la utilitat de càlcul de bescanviadors". Aquesta aplicació calcula la DTLM (i altres variables) a partir de les dades típiques de catàleg per a un bescanviador de calor a contracorrent.

En l'informe de resultats de la simulació es recull l'efectivitat mitjana del bescanviador en condicions d'operació. El seu valor ha d'estar comprès entre un 40 % i un 80 %. Se us advertirà d'un possible error de dimensionament si l'efectivitat del bescanviador fora menor del 40 %.

Per al càlcul, es coneix la potència del bescanviador, així com la temperatura, el cabdal i la calor específica dels fluids de primari i de secundari:

Primari: Propilenglicol – 30 %

Calor específica = 3960 J/kg K

Temperatura d'entrada = 60 °C

Cabal (màssic) de primari: 2000 kg/h

Secundari: Aigua

Calor específica = 4185 J/kg K

Temperatura d'entrada = 45 °C

Cabal (màssic) de secundari: 2000 kg/h

### **Tractament de les canonades de camp (primari)**

Es consideraran les pèrdues de calor en aquestes canonades.

Es tracta de les canonades que connecten el bescanviador de calor amb els captadors i a través de les quals el fluid primari experimenta pèrdues de calor. Encara que aquestes xarxes de canonades poden ser complexes, una descripció simplificada d'aquestes és suficient per al propòsit d'aquest programa. Per a cada línia (entrada a captadors i eixida de captadors) cal definir una *canonada equivalent* donant-ne una **longitud** total (m) i la **fracció de canonada que discorre per l'interior de l'edifici** (%). Ambdues línies comparteixen el **diàmetre** exterior del tub (mm), la **conductivitat de l'aïllant** (W/m·K) i els **espessors d'aïllament** (mm) en els trams interior i exterior.

**NOTA:** Com en aquest exemple hi ha diferents trams de canonades amb diferents longituds i diàmetres, caldrà calcular uns valors mitjans de diàmetre i de longitud de canonada.

**Es considerarà que els percentatges de canonades que discorren per l'interior són el 2 %.**

**No es consideren les longituds equivalents de les singularitats del circuit hidràulic, ja que aquestes només afecten les pèrdues de càrrega.**

## C. Secundari

### *Acumulador central*

Veieu les dades de l'exercici 1.

### *Canonada entre el bescanviador de calor i l'acumulador*

Veieu les dades de l'exercici 1.

## D. Terciari

Es consideraran les canonades de distribució i de recirculació.

Per als muntants i les derivacions, es considerarà el valor de mitjana de longitud i de diàmetre de canonada.

La temporització de la bomba de recirculació és la que ve per defecte en el programa (desactivada entre la 1 i les 5 de la matinada, com és habitual).

## E. Habitatge

En AcSol poden definir-se fins a un màxim de quatre tipus d'usuari (habitatge A, B, C i D), amb les seues característiques pròpies: demanda, perfil de demanda, grandària de l'acumulador solar o del bescanviador individual (si es tracta d'una acumulació i d'un intercanvi distribuït), etc.

En el nostre exemple, tots els habitatges són de les mateixes característiques. I per tots, la temperatura de referència per a definir els consums d'ACS és la indicada pel Codi Tècnic de l'Edificació, de 60 °C.

En les dades referides als tipus d'habitatge, el perfil diari de demanda fixa la distribució temporal de la demanda al llarg d'un dia. Emprarem el perfil diari tipus FCHART que és el que s'usa per a generar la correlació FCHART.

El perfil mensual de demanda descriu com es distribueix la demanda per mesos. En comptes de prendre un valor UNIFORM per a la demanda mensual farem servir el perfil tipus DTIE, que presenta un consum més alt d'ACS a l'hivern i un consum més baix a l'estiu.

L'ocupació d'un perfil diari de demanda tipus 24 hores (uniforme) o tipus FCHART (els dos donen el mateix resultat) conjuntament amb un perfil mensual de demanda UNIFORM donen lloc a una estimació de la demanda energètica de l'edifici que coincideix pràcticament amb la de l'exercici 1. Si s'usa un perfil mensual de demanda tipus DTIE, les demandes energètiques mensuals són majors o menors a les de l'exercici 1 en funció de l'època de l'any i, en conjunt, la demanda energètica anual és lleugerament superior a la de l'exercici 1.

## F. Control

### Control de càrrega de l'acumulador central (bombes del circuit primari i secundari)

La temperatura màxima permesa en l'acumulador serà de 60 °C a fi d'evitar deposicions de calç.

La resta de paràmetres, igual com s'ha especificat en l'exercici 1.

### Control dels sistemes auxiliars

Es tracta de la temperatura a la qual el sistema de suport prepara l'aigua de consum. Aquest paràmetre té una influència enorme sobre les prestacions de la instal·lació solar: com més gran siga, menor serà la fracció solar per a la mateixa àrea de captació. Es prendrà un valor de temperatura de consigna del sistema auxiliar de 45 °C.

## G. Emissions

En aquesta pantalla s'introdueix la informació necessària per a estimar les emissions de diòxid de carboni que evita la instal·lació solar. Per a realitzar aquest càlcul cal determinar el consum de combustible (o d'electricitat) del sistema de suport i el consum en les bombes.

El sistema auxiliar utilitzat és un escalfador de pas de gas natural amb un rendiment mitjà del 70 %.

Per al càlcul de la potència elèctrica (W) de cada una de les bombes, s'usarà aquesta expressió:

$$P_{Elèctrica}(W) = \frac{Cabal(m^3/s) \cdot \Delta P(Pa)}{\eta}$$

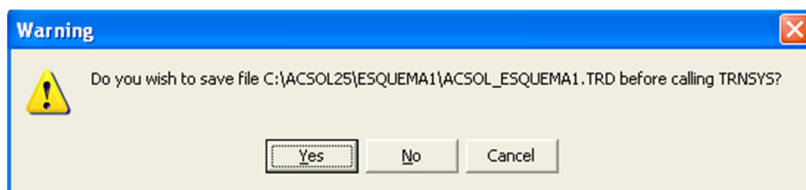
Suposeu un rendiment  $\eta$  del 25 %.

## H. Simulació

El període de temps a simular serà d'un any complet amb un pas de temps de 15 minuts. S'emprarà el valor recomanat per a la tolerància del càlcul.

## 3. Obtenció de resultats

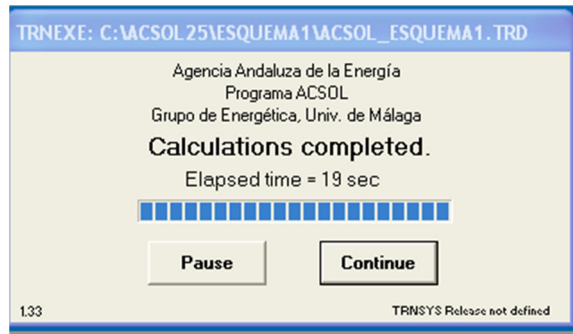
Per a la generació de l'informe de resultats s'haurà de simular el cas proposat. Per a això s'ha de clicar la tecla F8 o utilitzar el menú situat en la part superior (TRNSYS > Calculate). Inmediatament us preguntarà si voleu guardar el fitxer .TRD;



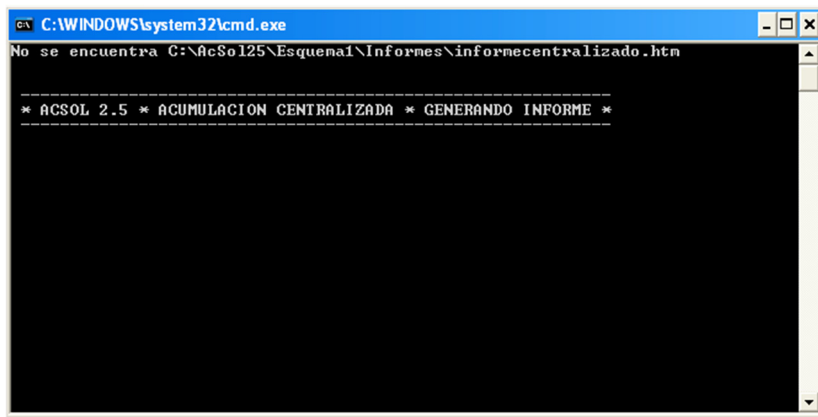
Heu d'indicar que Sí (yes) perquè el programa utilitze les últimes dades introduïdes.



Heu d'esperar que la simulació concloga (*Calculations completed*) i clicar en *continua* (*Continue*).



Finalment, heu d'esperar que el generador d'informes finalitze.



Si no es completa aquest procés, l'informe no es generarà o no s'actualitzarà.

Fet això, el programa generarà un INFORME en format HTM en el qual se'n resumeixen els resultats. També es pot obrir aquest INFORME en format DOC.

Els resultats horaris de la simulació es poden consultar en les EIXIDES DETALLADES mitjançant els programes EXCEL (versió 2000 o superior) o DVIEW (NREL).

**Amb els resultats obtinguts, responeu les preguntes següents:**

**1) A partir de l'informe de resultats generat pel programa es demana:**

- a) Indiqueu la fracció solar anual i el factor d'utilització anual (rendiment de la instal·lació).

Fracció solar: .....

Factor d'utilització: .....

- b) Indiqueu els mesos en què la fracció solar presenta un valor menor i els mesos en què el factor d'utilització té el seu màxim. Expliqueu per què els dos es produeixen en el període hivernal. Baseu l'explicació en la gràfica que dona la demanda tèrmica, l'aportació solar, l'aportació auxiliar i les pèrdues en funció del mes, i tingueu en compte la variació mensual que presenta la radiació incident.

.....  
.....  
.....  
.....

c) Indiqueu els valors anuals:

Aportació energètica al fluid primari: .....

Energia transferida al bescanviador primari: .....

Aportació energètica de la instal·lació als usuaris ( $Q_s$ ): .....

Demanda tèrmica d'ACS: .....

Pèrdues de calor a tot el circuit hidràulic: .....

Pèrdues de calor a l'acumulador: .....

Energia que aporta el sistema de suport: .....

Verifiqueu que la diferència entre l'aportació energètica al fluid primari i l'aportació energètica de la instal·lació als usuaris són, aproximadament<sup>1</sup>, les pèrdues de calor totals (pèrdues de tot el circuit hidràulic més les de l'acumulador).

.....  
.....

d) Indiqueu l'efectivitat mitjana del bescanviador en condicions d'operació i verifiqueu que està compresa entre el 40 i el 80 %.

.....  
.....

e) Indiqueu si la temperatura del col·lector solar supera en algun moment la temperatura de 110°C. En cas afirmatiu indiqueu els mesos i quantes hores se supera.

.....  
.....

---

<sup>1</sup> En aquest càlcul no es té en compte les pèrdues del bescanviador, així com l'error per desequilibri energètic que introdueix el programa, per la qual cosa el resultat no serà exacte.

.....  
.....

- f) Indiqueu si les pèrdues anuals per orientació/inclinació i per ombres estan dins dels límits establerts pel Codi Tècnic de l'Edificació.

.....  
.....  
.....  
.....

*2) Estudi de sensibilitat: Variació de l'àrea de captació i del volum d'acumulació*

- a) **Incrementeu l'àrea total de captació a 48 m<sup>2</sup>.** Aquest increment genera un increment de l'aportació solar i un augment en les temperatures del fluid en canonades i acumulador. A la vista de l'informe de resultats, i comparant-ho amb els resultats obtinguts per a un àrea de captació de 40 m<sup>2</sup>, indiqueu i justifiqueu la variació que tenen:

- La fracció solar anual i el factor d'utilització anual (rendiment de la instal·lació).

.....  
.....  
.....  
.....

- Les pèrdues de calor en canonades i en l'acumulador.

.....  
.....  
.....  
.....

- Les hores amb sobreescalfament.

.....  
.....

- .....
- b) La relació V/A de 75 litres/m<sup>2</sup> és la que es considera òptima des del punt de vista econòmic. Amb un àrea de captació de 40 m<sup>2</sup>, **incrementeu el volum d'acumulació a 4.000 litres** (relació V/A de 100 litres/m<sup>2</sup>). Considereu la variació experimentada per les pèrdues de calor en l'acumulador en relació en el cas inicial (A=40 m<sup>2</sup> i V=3000 l). Expliqueu a què es pot deure la variació experimentada per aquestes pèrdues de calor.

.....

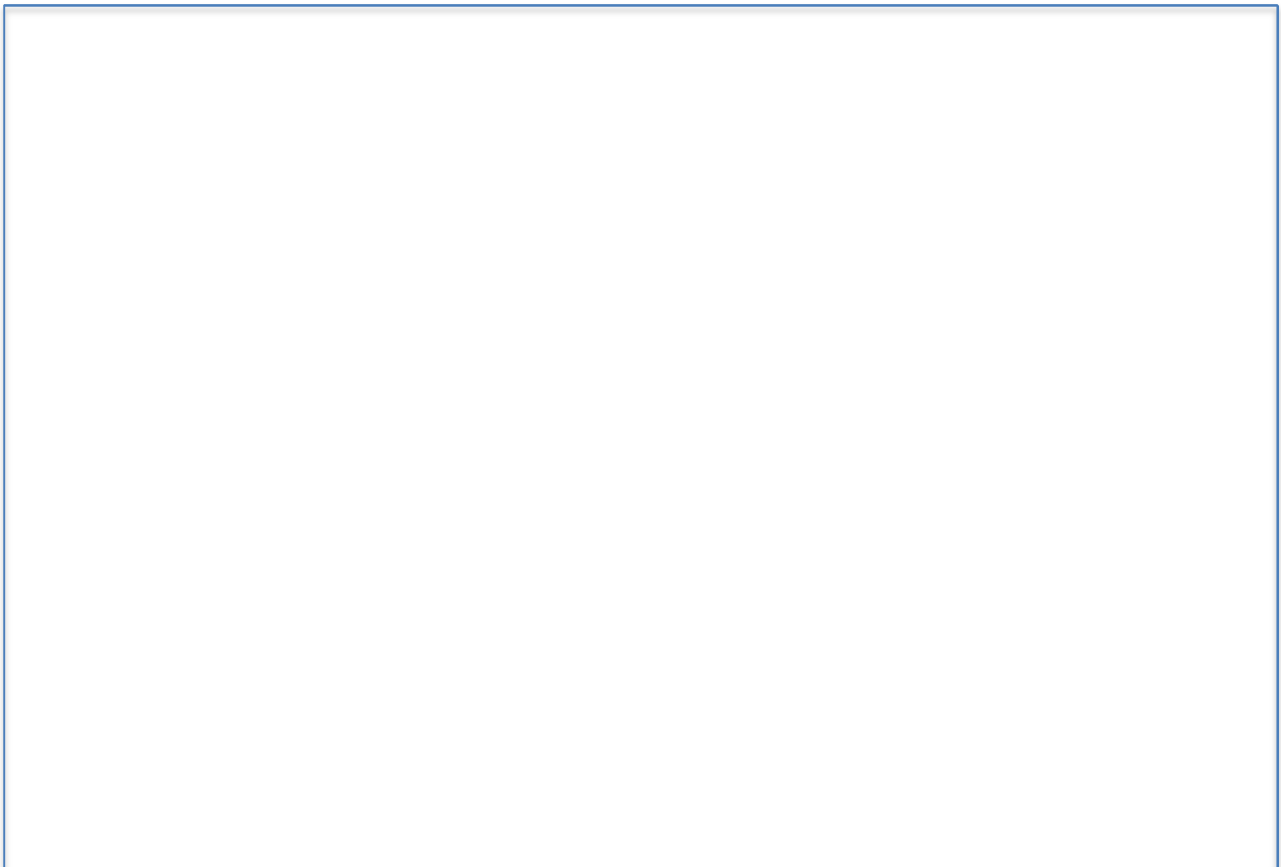
.....

.....

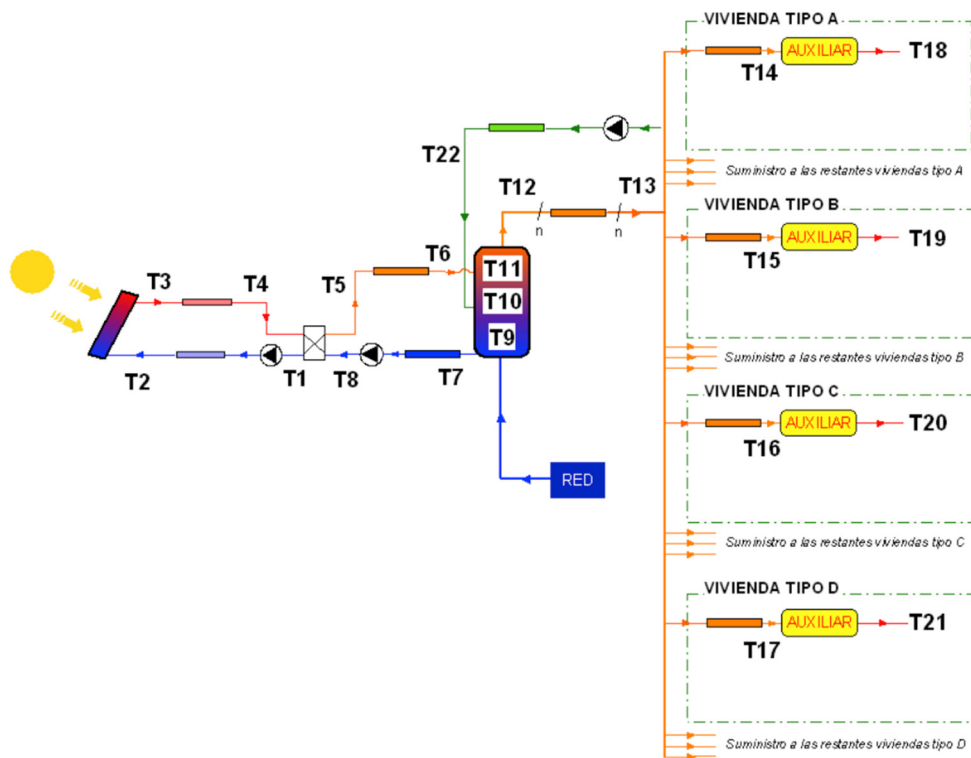
.....

### *3) Visualització de les eixides detallades*

Per als valors d'àrea de captació i de volum d'acumulació inicials (40 m<sup>2</sup> i 3.000 l), empreu l'opció d'eixides detallades i obteniu les gràfiques que mostren l'evolució horària de la temperatura d'eixida de captadors (T3), la temperatura a la zona superior de l'acumulador (T11) i la temperatura de l'aigua que arriba a l'usuari (T18) durant el dia 20 del mes de gener i durant el dia 20 del mes d'agost:



Nomenclatura para las temperaturas:



Font: Simulador d'instal·lacions solars tèrmiques de baixa temperatura AcSol (Agència Andalus de l'Energia).

## Pràctica 3: Seminari-taller

---

En el procés d'avaluació contínua es contempla la realització d'uns seminaris-taller que l'alumnat ha de preparar i exposar a la resta dels companys i les companyes en l'horari de pràctiques. Aquestes exposicions es fan coincidir amb la sessió tercera de pràctiques.

Els estudiants han de preparar un document de PowerPoint i realitzar una exposició d'uns 15-20 minuts, aproximadament. L'exposició s'ha de realitzar conjuntament pels dos membres del grup.

La presentació ha d'incloure una explicació del principi de funcionament de la font renovable, els diferents tipus, exemples pràctics (instal·lacions reals), beneficis que aporta la font renovable, etc.

La distribució de grups es fa d'acord amb la distribució de l'alumnat en la resta de pràctiques de l'assignatura.

### TEMÀTIQUES:

- Energia eòlica.
- Energia hidràulica.
- Aplicacions de l'energia solar tèrmica de baixa temperatura: climatització de piscines, calefacció per sòl radiant o mitjançant ventiloconvectors i refrigeració solar (refrigeració per absorció).
- Energies marines: energia dels corrents marins, mareomotriu, l'onatge.
- Energies originades per la calor interna de la terra: energia geotèrmica.
- Aplicacions de l'energia solar tèrmica de mitjana i alta temperatura.
- Piles de combustible (hidrogen).
- Biomassa, biocarburants i altres combustibles biològics.

## Pràctiques 4 i 5: Energia solar fotovoltaica

### Continguts d'aprenentatge:

- Estudiar el corrent d'un panell fotovoltaic en curtcircuit.
- Estudiar el voltatge d'un panell fotovoltaic en circuit obert.
- Estudiar la dependència amb la temperatura del corrent en curtcircuit i el voltatge en circuit obert.
- Obtenir les característiques corrent-tensió d'un panell fotovoltaic per a diferents intensitats de la radiació solar.
- Estudiar el rendiment d'una cèl·lula fotovoltaica.
- Connexió en sèrie i en paral·lel de cèl·lules fotovoltaiques.
- Enfosquiment d'un mòdul solar: díode de pas.

### Panell d'experimentació:



#### Material:

- Reflector de 120 W (regulable)
- Quatre mòduls solars monocristal·lins de 3,6 V /40 mA.
- Acumulador de gel de plom de 12 V (1,2 Ah)
- Regulador de càrrega de 12 V amb protecció contra sobretensions i descàrrega
- Ventilador de 12 V
- Llum LED de 12 V

Fig. 1: Panell d'experimentació del curs UniTrain de Tecnologia Energètica (Energia Fotovoltaica)

## 1. Introducció

L'efecte *fotovoltaic* consisteix en la conversió **directa** de la llum (solar) en energia elèctrica, una transformació que es duu a terme per mitjà de cèl·lules fotovoltaïques. L'adjectiu *fotovoltaic* està format per la paraula grega *fotos* (llum) i el nom del físic italià *Volta*.

D'aquesta manera, el principi de funcionament de les cèl·lules solars es basa en l'efecte fotovoltaic (en rigor, l'efecte *fotoelèctric intern*) que genera una separació de càrrega deguda a l'acció de la llum. Aquest efecte va ser observat per primera vegada en 1839 per Alexandre Edmond Bequerel. Durant un experiment, es va adonar que dues plaques metàl·liques submergides en àcid diluït generaven més energia en rebre radiació directa del sol.

Posteriorment, en 1958, es va posar en òrbita al voltant de la Terra el primer satèl·lit que obtenia completament l'energia elèctrica a través de cèl·lules solars.

Avui dia, la tecnologia fotovoltaica s'ha consolidat en el camp de la generació de corrent i subministra moltes potències diferents, que van des de mil·liwatts fins a arribar al rang dels quilowatts.

### QUÈ ÉS UNA CÈL·LULA SOLAR?

#### Estructura d'una cèl·lula fotovoltaica

Les cèl·lules fotovoltaïques pertanyen a la família dels elements semiconductors. Aquests condueixen energia elèctrica únicament per la influència de la llum o la calor.

El gràfic següent mostra l'estructura esquemàtica d'una cèl·lula fotovoltaica:

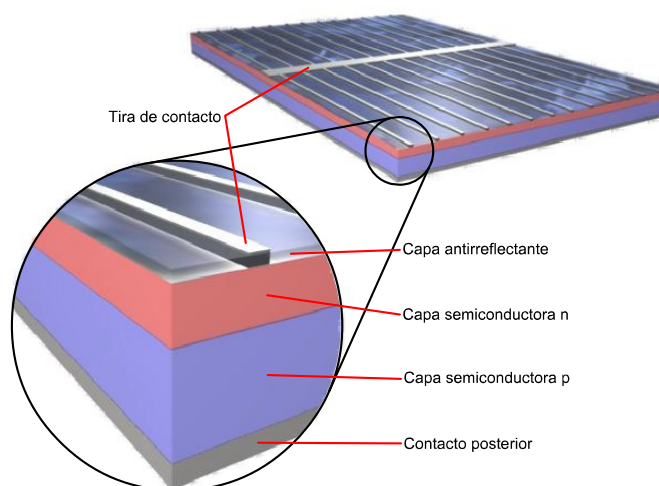


Fig. 2: Estructura d'una cèl·lula fotovoltaica.

Font: Curs UniTrain de Tecnologia Energètica (Energia Fotovoltaica)



**Contacte metàl·lic de les cares posteriors:** representa un contacte de connexió que permet prendre una tensió des d'una cèl·lula fotovoltaica.

**Capa semiconductor p:** en el material semiconductor s'introdueixen àtoms estranys que posseeixen una menor quantitat d'electrons lliures. D'aquesta manera, s'aconsegueix una supremacia de portadors de càrrega positiva (majoria d'electrons defecte o buits) en el material. Aquesta classe d'estructures reben el nom de capes semiconductor del tipus p (positiu).

**Capa semiconductor n:** en el material semiconductor s'introdueixen àtoms estranys que posseeixen una major quantitat d'electrons. D'aquesta manera, s'aconsegueix una supremacia de portadors de càrrega negativa (electrons) en el material. Aquesta classe d'estructures reben el nom de capes semiconductor del tipus n (negatiu).

**Dits de contacte:** els dits de contacte, juntament amb els contactes metàl·lics dels costats posteriors, formen les connexions a les quals, per exemple, es pot connectar una càrrega.

**Capa antireflectant:** la capa antireflectant, d'una banda, serveix per a protegir a la cèl·lula solar i, de l'altra, evita les pèrdues per reflexió en la seua superfície.

### PRINCIPI DE LA CÈL·LULA SOLAR

En general, les cèl·lules solars es fabriquen amb silici, material que apareix en segon lloc amb major freqüència en l'escorça terrestre. Un àtom de silici posseeix quatre electrons de valència. En un cristall de silici, cada dos electrons d'àtoms contigus formen un enllaç covalent. En aquest estat, el cristall de silici no és un conductor elèctric donat que no disposa d'electrons lliures per a transportar la càrrega.

Si aquest cristall es veu sotmès a la influència de l'energia, bé en forma de llum o bé de calor, aquesta energia també serà absorbida pels electrons. Si aquesta energia arriba a una magnitud suficient, els electrons poden abandonar els seus enllaços covalents i moure's lliurement pel silici. En conseqüència, l'electró deixa en el lloc que ocupava dins la xarxa cristal·lina el que es coneix com a defecte d'electró o buit. El silici es converteix, així, en conductor de corrent, un efecte definit com a conductivitat intrínseca dels semiconductors. Si no hi ha una altra influència externa, l'electró lliuraria ràpidament l'energia absorbida i retornaria a un buit lliure.

Si es crea un camp elèctric, llavors serà possible separar els electrons dels buits. En els semiconductors, aquest camp elèctric es pot generar a partir de la introducció d'àtoms que provoquen una pertorbació. A aquest efecte, en una zona determinada, s'integren àtoms de cinc electrons. Aquesta zona es denomina semiconductor o dopatge n, ja que, en comparació amb la xarxa cristal·lina pura del silici, posseeix una quantitat major de portadors de càrrega negativa (electrons).

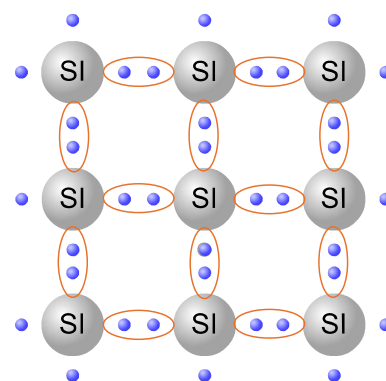


Fig. 3: Estructura cristal·lina del silici.  
Font: Curs UniTrain de Tecnologia Energètica (Energia Fotovoltaica)

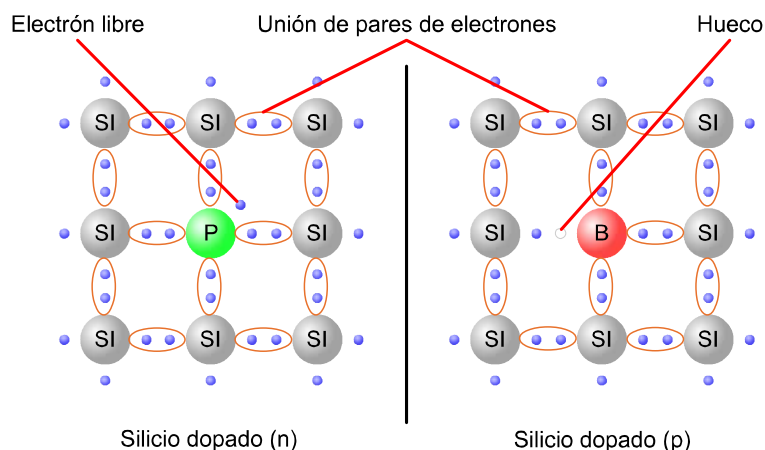


Fig. 4: Semiconductors tipus n i p.

Font: Curs UniTrain de Tecnologia Energètica (Energia Fotovoltaica)

En una altra zona s'introdueixen àtoms de tres electrons. Aquesta zona es denomina semiconductor o dopatge p, ja que, en comparació amb la xarxa cristal·lina pura del silici, posseeix una quantitat major de portadors de càrrega positiva (buits). Si els semiconductors n i p es troben junts, en els seus límits es forma la unió p-n i, dins d'aquesta, apareix un camp elèctric.

### LA UNIÓ P-N

Una unió p-n s'origina quan s'ajunten les capes p i n d'un semiconductor. En el límit que divideix les dues capes, els electrons passen lliurement de la capa negativa a la positiva per a recombinar-se allà amb els buits.

A la zona de la capa semiconductor n, des de la qual emigren els electrons, romanen els àtoms estacionaris, per la qual cosa aquesta zona adopta una càrrega lleugerament positiva. Per contra, la capa semiconductor p, en la qual els electrons es combinen amb els buits, adquireix una càrrega lleugerament negativa, ja que augmenta el nombre de portadors de càrrega d'aquest tipus.

A causa de la separació dels portadors de càrrega, a la zona límit es genera un camp elèctric. Aquesta zona es denomina també regió de càrrega espacial.



Fig. 5: Unió P-N.

Font: Curs UniTrain de Tecnologia Energètica (Energia Fotovoltaica)

## L'EFECTE FOTOVOLTAIC

Si la llum incideix sobre el reticle cristal·lí d'una cèl·lula fotovoltaica, l'energia lluminosa es transmet al reticle. Aquesta energia excita els àtoms de la xarxa cristal·lina i, en conseqüència, es formen parelles d'electrons i buits. Si això té lloc fora de la unió p-n, les parelles d'electrons i buits es recombinen una altra vegada molt ràpidament. No obstant això, dins de la unió p-n, les parelles d'electrons i buits se separen a causa de l'acció del camp elèctric d'aquesta unió. La capa semiconductora n absorbeix els electrons i la capa p atrau els buits, de manera que augmenta la tensió de la cèl·lula fotovoltaica. Si ara es connecta una càrrega, llavors fluirà corrent elèctric.

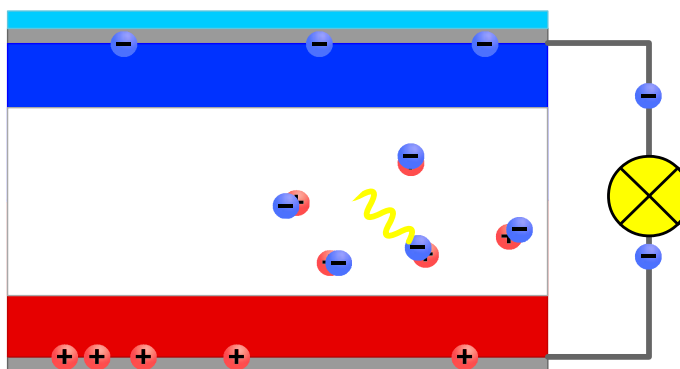


Fig. 6: Efecte fotovoltaic.

Font: Curs UniTrain de Tecnologia Energètica (Energia Fotovoltaica)

## PARÀMETRES DE LES CÈL·LULES SOLARS

### Corba característica

Les característiques d'un panell fotovoltaic venen donades a través del que es denomina corba característica. Al contrari que un generador convencional, que es caracteritza per una tensió i una intensitat i que subministra potència amb l'única limitació que la càrrega no supere un límit determinat (consum), les característiques de les cèl·lules fotovoltaïques com a generadors d'electricitat no són uniformes, ja que depenen de la radiació solar que reben i la càrrega aplicada. La relació entre la intensitat elèctrica que subministra el generador i la diferència de potencial entre els seus extrems, quan es varia la càrrega externa, rep el nom de corba característica. En aquesta es localitzen les característiques elèctriques següents del panell:

**1) CORRENT EN CURTCIRCUIT.** Es tracta de la intensitat màxima que proporciona el panell en unes condicions normalitzades. Es mesura a través d'un amperímetre entre els borns del panell sense cap resistència addicional, d'ací el nom de curtcircuit. Es denomina  $I_{sc}$  (de les sigles en anglès *short-circuit*). El corrent de curtcircuit depèn dels aspectes següents:

- La intensitat de radiació: dependència lineal.
- L'angle d'incidència: el valor màxim es té quan la llum incideix verticalment sobre la cèl·lula fotovoltaica.
- La temperatura: un coeficient positiu de temperatura. Si la cèl·lula fotovoltaica es calfa, augmenta el corrent a causa de l'ascens de la temperatura.

**2) VOLTATGE EN CIRCUIT OBERT.** Es tracta del voltatge màxim que proporciona la cèl·lula, i es podria mesurar amb un voltímetre de resistència infinita, això és, sense permetre que circule cap corrent pel panell (condicions de circuit obert). Es denomina  $V_{oc}$  (de les sigles en anglès *open-circuit*).

El material semiconductor amb què es fabrica la cèl·lula determina àmpliament la tensió que se'n pot obtenir.

Aquests factors influeixen en la tensió de circuit obert:

- La intensitat de radiació: aquesta tensió no depèn linealment de la intensitat de radiació.
- L'angle d'incidència: el voltatge arriba al seu valor màxim si la llum hi incideix verticalment.
- La temperatura: té un coeficient de temperatura negatiu, això significa que, si la cèl·lula o un mòdul es calfen (per exemple, a causa de la incidència de la llum), el voltatge descendeix mentre que la temperatura augmenta. Una conseqüència d'aquesta dependència s'observa en el fet que les tensions de circuit obert més altes es presenten amb temperatures baixes (com en l'hivern).

**3) POTÈNCIA MÀXIMA PM.** Diem que un panell treballa en condicions de potència màxima quan la resistència del circuit extern és tal que determina uns valors d'intensitat  $I_m$  i de tensió  $V_m$  tals que el seu producte és màxim. Normalment, un panell no treballa en condicions de potència màxima, ja que la resistència exterior està fixada per les característiques del circuit mateix.

**4) EFICIÈNCIA DEL PANELL.** És el quocient entre la potència elèctrica produïda per aquest i la potència de la radiació que hi incideix.

En la figura es mostra la corba característica d'un panell fotovoltaic. Noteu que disminueix la tensió en els terminals del panell quan augmenta la demanda (consum d'intensitat) a què se sotmet.

La potència que pot subministrar una cèl·lula o un mòdul fotovoltaic no depèn només de la intensitat de la radiació solar sinó, també, de la manera en què s'hi adapten les "càrregues". El punt d'operació en circuit obert, on  $I = 0A$ , i el de curtcircuit, on  $V = 0V$ , d'acord amb la fórmula  $P = V \cdot I$ , subministren una potència  $P = 0W$ . Entre aquests dos punts d'operació, per tant, el producte  $P = V \cdot I$  ha d'arribar a un valor màxim. Aquest punt d'operació es denomina punt de màxima potència o **MPP** per les seues sigles en anglès (*maximum power point*).

La potència màxima  $P_{max}$  que una cèl·lula fotovoltaica pot aportar amb una càrrega connectada sempre és menor que el producte que s'obté en multiplicar el corrent de curtcircuit per la tensió en circuit obert.

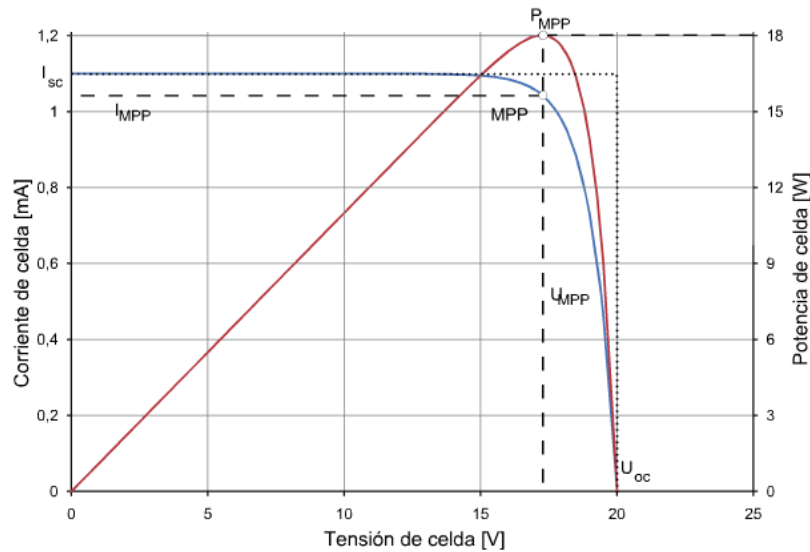


Fig. 7: Paràmetres de les cèl·lules solars.

Font: Curs UniTrain de Tecnologia Energètica (Energia Fotovoltaica)

La corba característica presenta, òbviament, una dependència amb la intensitat de radiació incident. Addicionalment, la corba característica d'un panell també presenta una dependència amb la temperatura d'operació o temperatura ambient, especialment pel que fa al comportament en circuit obert. Per tot això, i de cara a establir una característiques nominals de comportament dels panells fotovoltaics, s'estableix una norma estàndard, que consisteix en proporcionar els paràmetres del panell davall una incidència normal de la radiació amb una intensitat de  $1000 \text{ W/m}^2$  i a una temperatura de la cèl·lula de  $25^\circ\text{C}$ . Aquestes condicions reben el nom de condicions estàndard de mesura.

### El factor d'ompliment o de forma

El factor d'ompliment és un criteri de qualitat de les cèl·lules solars i indica quant s'aproxima la corba característica de corrent i tensió al rectangle format per la tensió de circuit obert ( $V_{oc}$ ) i el corrent de curtcircuit ( $I_{sc}$ ). Es defineix com el quocient de potència màxima que es pot lliurar a una càrrega entre el producte de la tensió de circuit obert i la intensitat de curtcircuit. Els seus valors típics són entre 0,7 i 0,8.

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} < 1$$

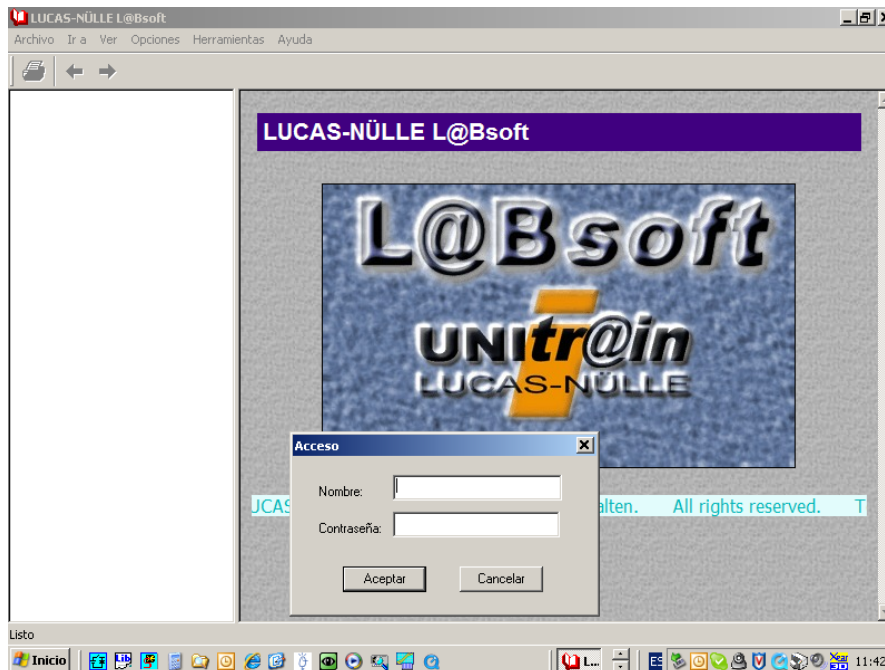
### El coeficient de rendiment o eficiència de conversió energètica:

Es defineix com el quocient entre la màxima potència que es pot lliurar a la càrrega ( $P_M$ ) i la potència incident ( $P_L$ ) sobre la cèl·lula que és el producte de la irradiància incident  $G_{sol}$  per l'àrea de la cèl·lula  $A$ .

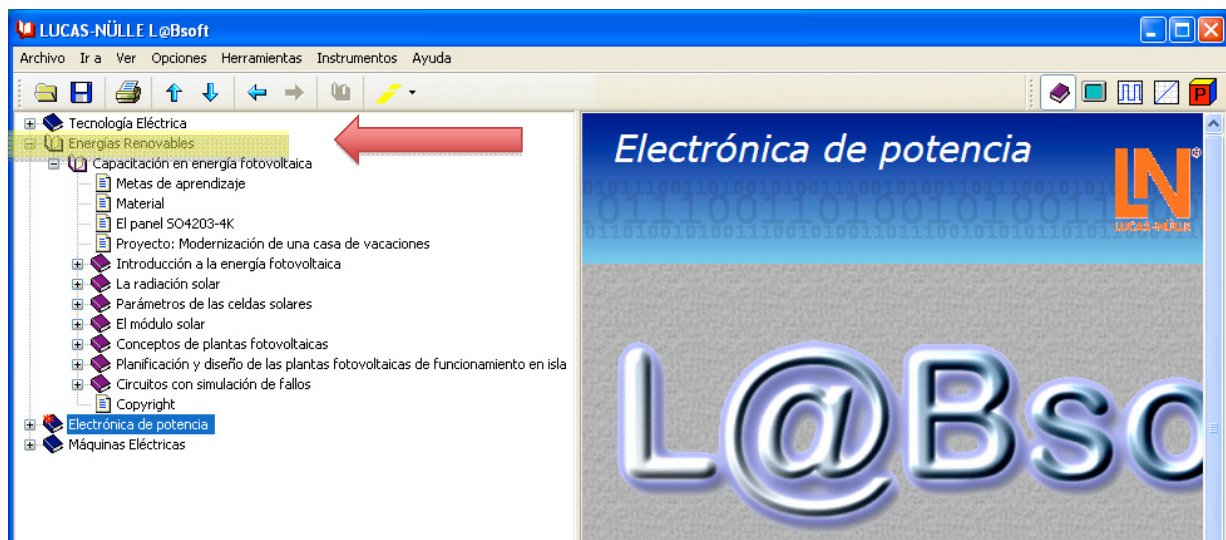
$$\eta = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{P_L} = \frac{FF \cdot I_{cc} \cdot V_{oc}}{P_L} \quad P_L = A G_{sol}$$

## 2. Procediment experimental

Executeu el programa L@bsoft.



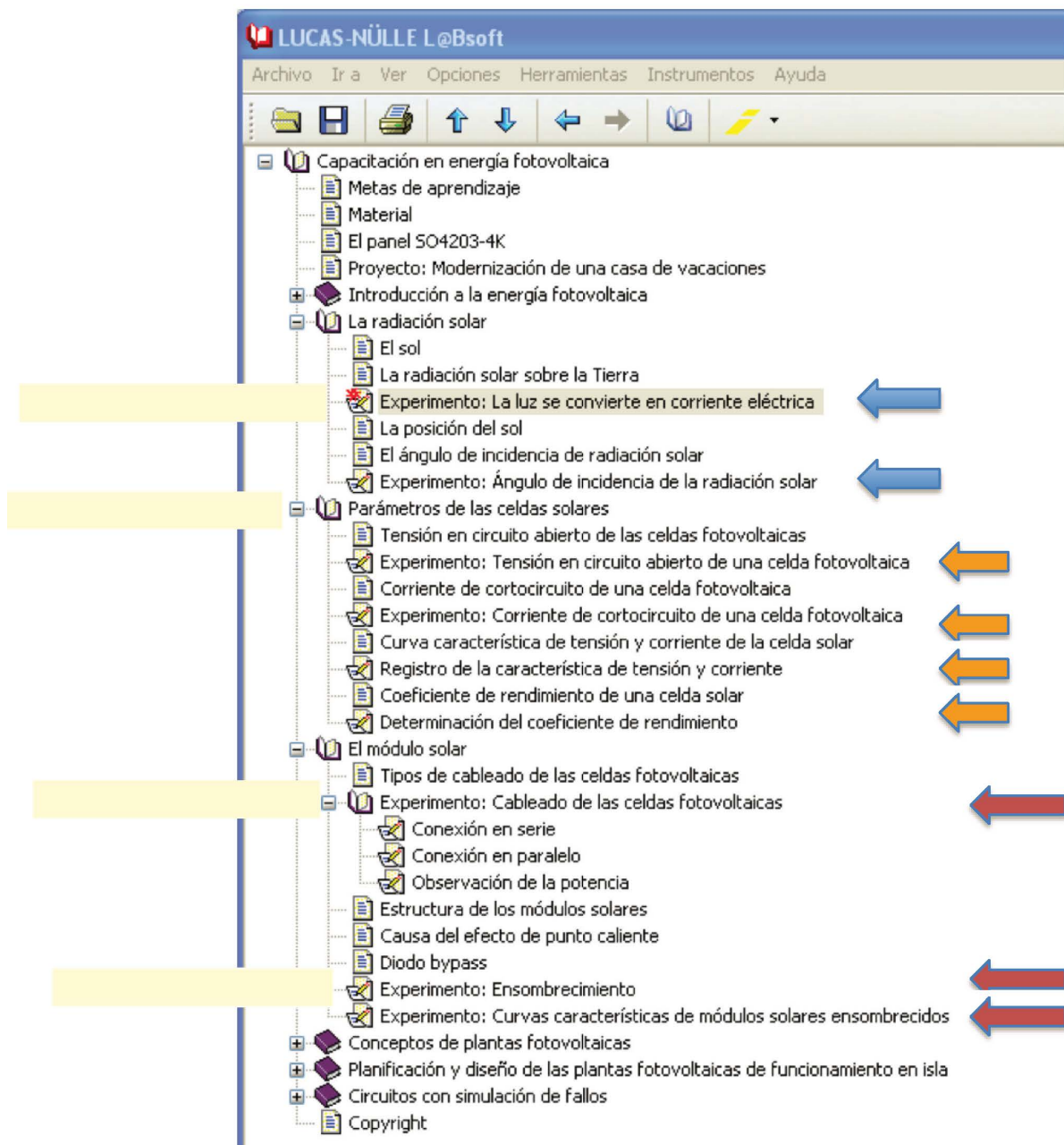
Seleccioneu:



Cada usuari amb el nom assignat en l'accés crea automàticament una carpeta on es guarden les dades del contingut de la pràctica (fitxer.dat).

En acabar la sessió heu de copiar aquest fitxer i portar-lo a la sessió següent per a poder recuperar les dades que hegeu empenat.

Es realitzaran les activitats següents:



**En acabar cada experiment, imprimiu els resultats en un fitxer PDF.**

# PRÀCTICA 6: Dimensionament d'una instal·lació solar fotovoltaica mitjançant l'eina PVsyst

**Objectius:** Maneig d'una eina programari comercial per a realitzar l'estudi, el dimensionament, la simulació i l'anàlisi d'una instal·lació solar fotovoltaica completa.

## 1. L'eina PVsyst

PVsyst (Figura 1) és una eina per a l'estudi, el dimensionament, la simulació i l'anàlisi d'instal·lacions fotovoltaïques, que permet realitzar dissenys i simulacions d'una forma fiable i bastant detallada. En la Figura 2 es mostra un esquema en el qual figuren els diferents mòduls oferits per aquest sistema.

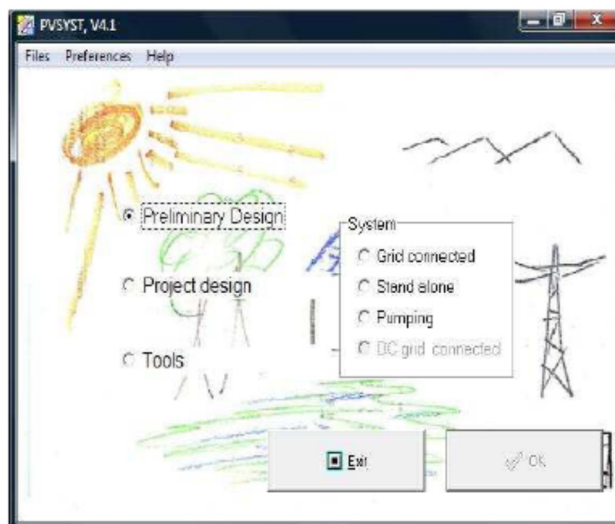


Figura 1. Pantalla inicial de l'eina PVsyst

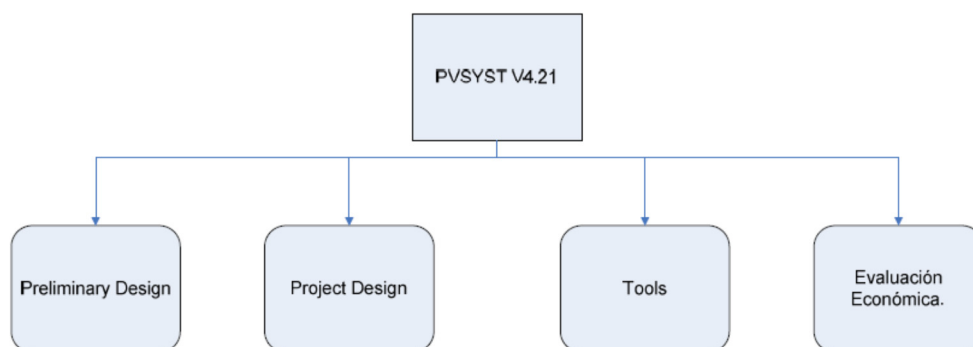


Figura 2

Es descriuen a continuació cada un d'aquests mòduls.



### 1.1. Preliminary design (Predimensionament)

És un instrument ràpid i d'ús senzill que permet realitzar el correcte dimensionament del sistema. Inicialment es pregunta si es tracta d'una instal·lació connectada a la xarxa o autònoma, o una instal·lació de bombament d'aigua (Figura 3).

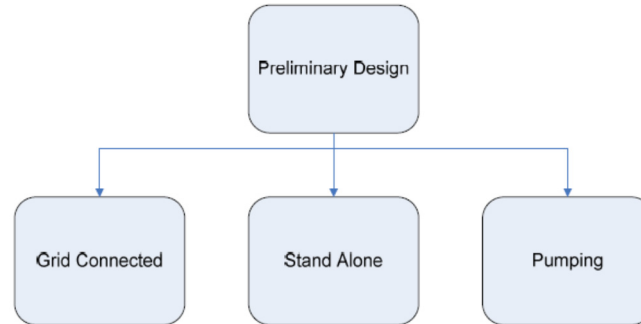


Figura 3. Diagrama mòdul *Preliminary Design*: opcions de càlcul (connectat a xarxa, aïllat i bombament).

Aquest primer mòdul realitza les avaluacions del rendiment del sistema instantàniament en valors mensuals i empra poques característiques generals del sistema, sense especificar components específics. També pot oferir una estimació bruta del cost del sistema.

Aquest mòdul disposa de les opcions *LOCATION*, *SYSTEM* i *RESULTS*:

- En *LOCATION* (ubicació) s'indica la ubicació de la instal·lació.
- *SYSTEM* (sistema): per a sistemes de connexió a xarxa, es requereixen com a dades d'entrada l'àrea disponible per a aquesta instal·lació, la potència nominal o l'energia que es vol obtenir. Els paràmetres addicionals són les propietats generals sobre la tecnologia fotovoltaica (monocristal·lina, policristal·lina, etc).
- *RESULTS* (resultats): proporciona les dades de la simulació en forma de taules i gràfiques.

### 1.2. Project Design (disseny del projecte)

Crea una simulació detallada on usa valors d'horaris, que ajuda a l'usuari a definir el camp fotovoltaic, i a la selecció correcta dels components de la instal·lació. Es pot generar un informe complet amb tots els paràmetres i resultats principals.

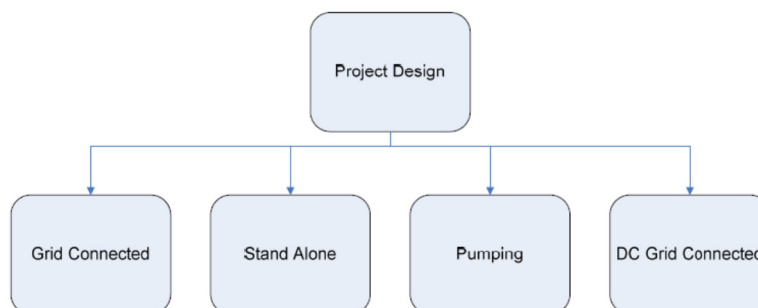


Figura 4. Diagrama mòdul *Project Design*: opcions de càlcul (connectat a xarxa, aïllat, bombament i xarxa CC).

Inclou els mòduls: *PROJECT*, *ORIENTATION*, *HORIZON*, *NEAR SHADINGS*, *SYSTEMS*, *MODULI LAYOUT* i *SIMULATION*.

- En *PROJECT* (projecte) s'indica la ubicació i les dades meteorològiques, segons la informació prèviament introduïda en la base de dades.
- L'*ORIENTACIÓ* del plànol es pot definir en diferents configuracions, de manera que es calcula la irradiació disponible segons la inclinació del mòdul, analitzant-ne les possibles configuracions.
- En *HORIZON* (perfil d'obstacles) es defineixen les ombres possibles en l'horitzó (arbres, edificis, etc.).

En cas d'obstacles (arbres, edificis, etc.), cal realitzar el diagrama solar abans d'introduir els valors en el programa. En el cas que no hi haja cap obstacle en l'horitzó, passeu aquesta opció. En cas contrari, els passos que cal seguir són:

- a) Aneu a *Horizon*.
- b) Desplaceu el punt roig per a crear el diagrama, estant el botó roig seleccionat.

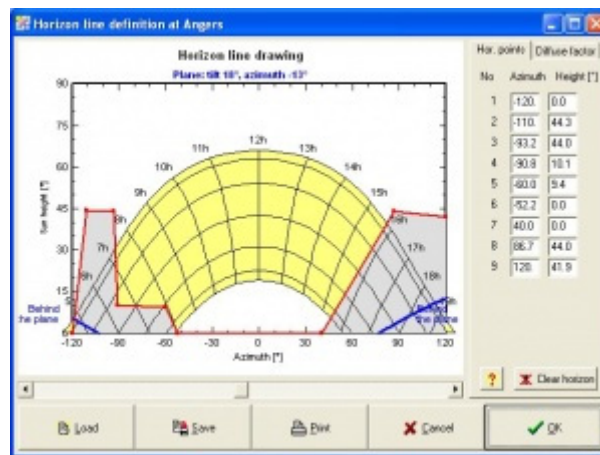


Figura 5

- *NEAR SHADING* (ombres properes): encara que no és necessari per a obtenir resultats, permet dibuixar la instal·lació (Figura 6), introduir-hi ombres i variar la inclinació, azimuth, etc.

Aquesta part del programa és bastant complexa, però permet modelitzar els pendents de la casa per a assegurar-nos que les pèrdues no siguem tan importants. Per a realitzar aquesta part cal tenir un plànol complet de la casa amb els costats, els angles, etc.

- a) Aneu a *Near Shading*.
- b) Construïu la casa:
  1. Menú *Create*, després *Elementary shading object*, per a crear objectes elementals (murs, etc.).
  2. Menú *Create*, després *Building/Composed object*, per a reagrupar elements de base.
- c) Construïu el camp de panells solars amb *Create* i *Rectangular plane*.

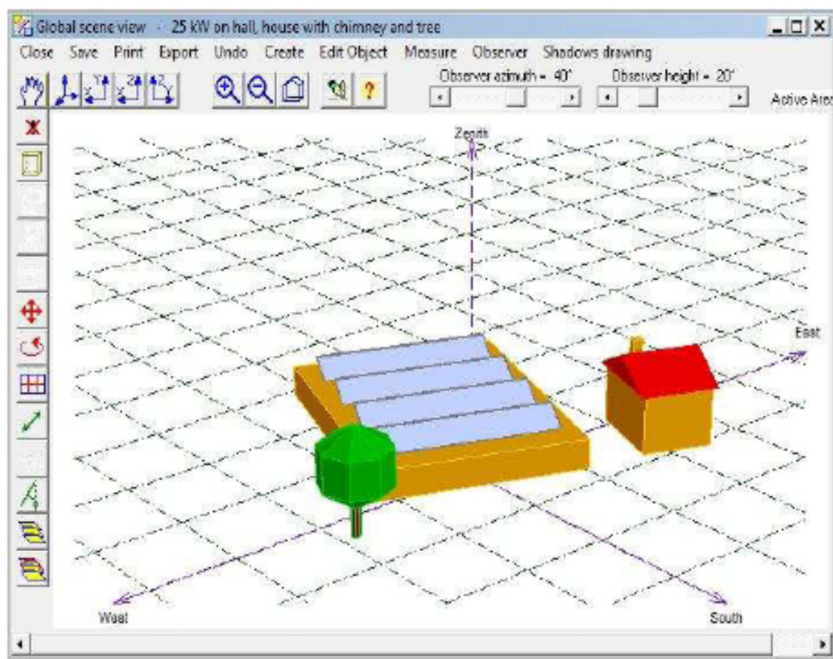


Figura 6. Instal·lació dibuixada amb PVsyst

- **SYSTEM:** Una vegada realitzat el dimensionament, la ubicació dels panells, el càlcul d'ombres, etc., s'introdueixen els paràmetres. D'aquesta manera, per exemple, en el cas de sistemes connectats a la xarxa elèctrica, es pot indicar la potència prevista, seleccioneu l'inversor i els panells, així com la configuració en què es volen connectar (Figura 8).

Per a la introducció de l'inversor, aneu a *System* i seleccioneu l'inversor que voleu utilitzar. Teniu la possibilitat d'introduir un inversor existent en la llista *Available Now*.

Seguidament, aneu a panells (*Modules*). Si els panells no estan en la llista, podeu triar-ne algun de la llista amb les característiques més properes al vostre i anar a *Open* per a modelitzar el panell. Introduïu el nom *String* (conjunt de panells en sèrie) i el nombre de panells per *string*<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> PVsyst no pot prendre diversos *strings* que no tinguen les mateixes mesures. És a dir, no es pot considerar un *string* de 13 panells i un altre de 7.

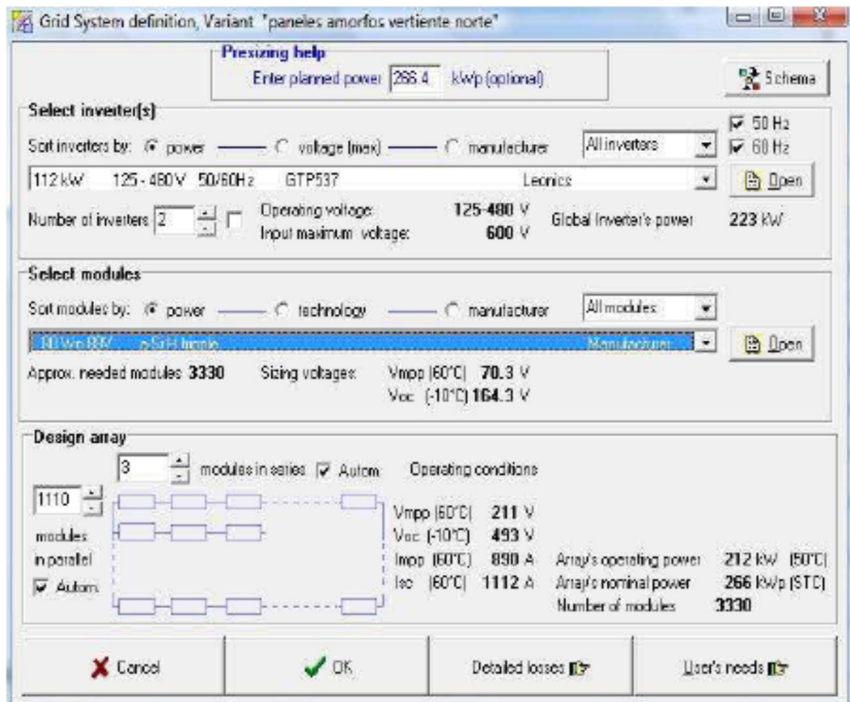


Figura 7. Selecció de l'inversor i els panells en PVSyst

A continuació PVSyst indica si l'inversor està correctament dimensionat pel *string* de panells considerat amb un missatge del tipus:

1. *The Array MPP operating Voltage is lower than the Inverter Minimum Operating Voltage*, és a dir, l'inversor no rep suficient tensió, i no hi ha prou panells en sèrie.
  2. *The Inverter power is slightly oversized*, amb la qual cosa no estarà mai en el punt òptim de funcionament.
  3. *The Inverter power is strongly oversized*.
  4. *The Inverter power is slightly undersize*. Generalment, es dimensiona per a la potència de pic, que rarament es donarà.
  5. *The Inverter power is strongly undersize*, amb la qual cosa és millor canviar-lo.
  6. *The Array MPP operating Voltage is greater than the Inverter Minimum Operating Voltage*, hi ha massa panells per cada *string* per ondulador.
- Finalment, després d'introduir totes les dades necessàries, es pot dur a terme la SIMULACIÓ del sistema, en la qual PVSyst ofereix un gran ventall de taules i gràfics que es poden exportar a diversos formats.

### 1.3. Tools (eines)

Una característica molt interessant de PVSyst és la seua base de dades, que es pot actualitzar a través d'Internet o manualment per part de l'usuari.

Ens permet situar amb exactitud la instal·lació i introduir les dades meteorològiques, tant des de la base de dades o manualment.

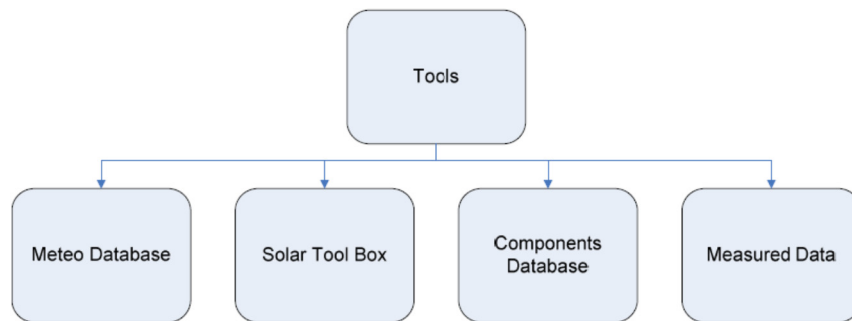


Figura 8. Diagrama mòdul "Tools": eines disponibles.

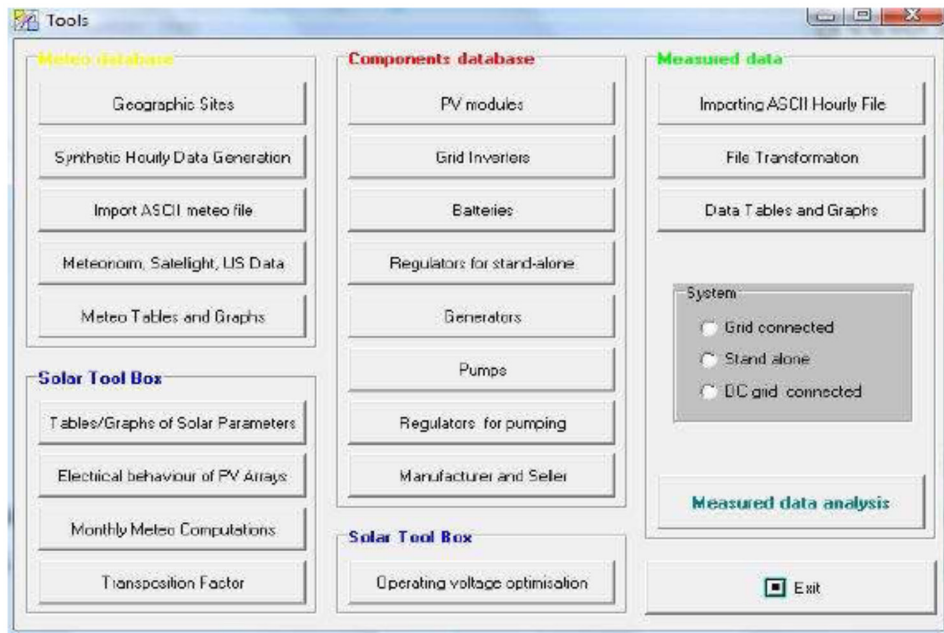


Figura 9. Menú de l'eina PVSyst.

Els passos a seguir per a la introducció d'una nova localització no disponible en la base de dades (*Tools*), juntament amb les dades meteorològiques d'aquest lloc són els que es mostren a continuació:

1. Seleccioneu la localització: en *Tools* seleccioneu *Geographic Site* (lloc geogràfic) i indiqueu el país, la ciutat i el poble en qüestió. Si no es troben en la llista, es pot indicar la latitud i la longitud del lloc i afegir la nova localització, seguint els passos següents:
  - a) Comandament *NEW*;
  - b) Introducció de la informació: *Location* (nom de la ciutat), *Country*, *Region* (Europa), *Latitude*, *Longitude*.

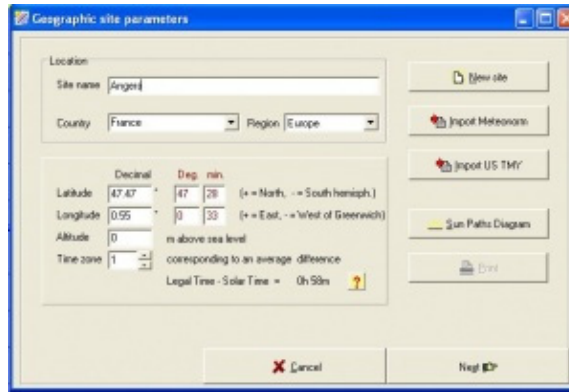


Figura 10

2. NEXT: indiqueu les dades de radiació i de temperatura mensual mitjana (veure PVGIS).

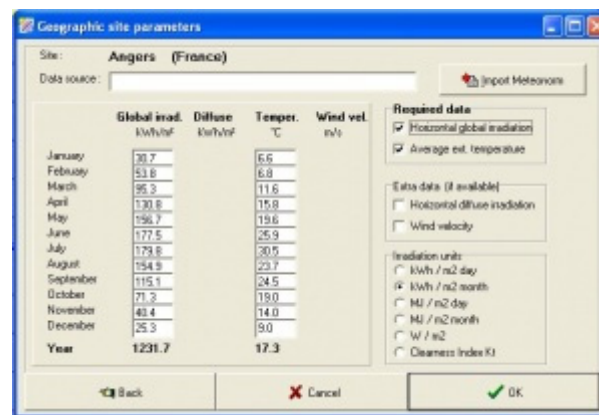


Figura 11

### 1.4. Avaluació econòmica

S'executa una avaluació econòmica detallada en la qual s'introdueixen els costos dels components que s'empren, així com, les condicions addicionals d'inversions i de costos i el manteniment de la instal·lació. L'usuari pot definir els preus dels components dins dels paràmetres del component. S'hi analitza la inversió, tenint en compte també el preu previst de l'electricitat que s'obté anualment.

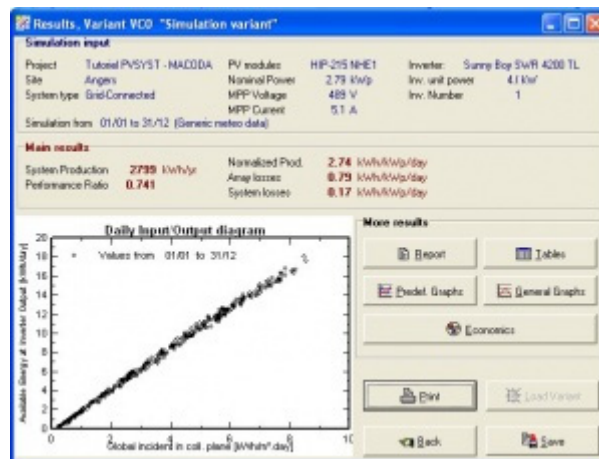


Figura 12

## 2. Plantejament del problema

L'objectiu d'aquest projecte és realitzar el disseny d'un sistema fotovoltaic autònom per a una casa de camp situada en el terme municipal de la Granja de la Costera (València). El sistema s'instal·larà en una teulada plana de 30 m<sup>2</sup>. No hi ha ombres, ja que es trobar en una esplanada.

La casa s'usarà únicament els caps de setmana (2 dies per setmana).

Tenint en compte que els equips que s'hi usaran s'alimenten de la xarxa de 220 Veff, dibuixeu l'esquema de principi que requereix la instal·lació:



### 2.1. Consum

S'ha realitzat un estudi del consum que haurà de proveir la instal·lació. Els equips elèctrics que es troben en l'habitatge, amb els consums respectius, són els següents:

	Potència (W)
8 Punts de llum	20
Frigorífic	200
Televisor	120
Equip de música	50
Ordinador	115
Llavadora	600

Taula I

El perfil de consum en juliol, juny i agost és lleugerament superior a la resta de l'any, tal com s'indica en la taula següent:

	Juny, juliol i agost	Resta de l'any
	Hores/dia	Hores/dia
Punt de llum	8	8
Punt de llum	5	4
Punt de llum	6	4
Punt de llum	6	5
Punt de llum	5	5
Punt de llum	8	6
Punt de llum	4	3
Punt de llum	5	4
Frigorífic	7	7
Televisor	5	4
Equip de música	5	4
Ordinador	5	4
Llavadora	3	3

Taula II<sup>2</sup>

Calculeu-ne el consum diari mitjà:

	Juny, juliol i agost	Resta de l'any
Consum en un dia de finalització de setmana (kWh)		
Consum diari mitjà (kWh/dia)		

Taula III

## 2.2. Dades de radiació

El programa PVSyst disposa de les dades de radiació d'un gran nombre de ciutats, no obstant això el municipi de la Granja de la Costera no apareix en les seues llibreries. Per a això, utilitzareu l'opció *Tools* on es troben totes les opcions per a ampliar la base de dades del programa. Dins d'aquest menú, clicareu l'opció *Geographical sites* per a incloure les dades del municipi en qüestió. Una vegada dins, introduïreu, d'una banda, les coordenades del municipi. De l'adreça PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>) s'han obtingut aquestes dades de radiació, temperatura mitjana i radiació difusa:

<sup>2</sup> Aquest consum correspon als dies en què la casa està ocupada.



**Taula IV:** Dades de radiació i temperatura per a la Granja de la Costera (Latitud: 38°59' Nord, longitud: 1°Oest, Altitud: 114 m).

Month	Hh(Wh/m2/dia)	Radiación difusa (Wh/m2/dia)	T24h
Jan	2150	946	10.9
Feb	2950	1268,5	11.6
Mar	4120	1648	13.9
Apr	5070	2129,4	16.0
May	6120	2386,8	19.2
Jun	6700	2479	23.4
Jul	6670	2334,5	25.8
Aug	5950	2201,5	26.1
Sep	4790	1772,3	23.1
Oct	3530	1376,7	19.5
Nov	2310	1062,6	14.4
Dec	1880	846	11.5
Year	4360	1700,4	18.0

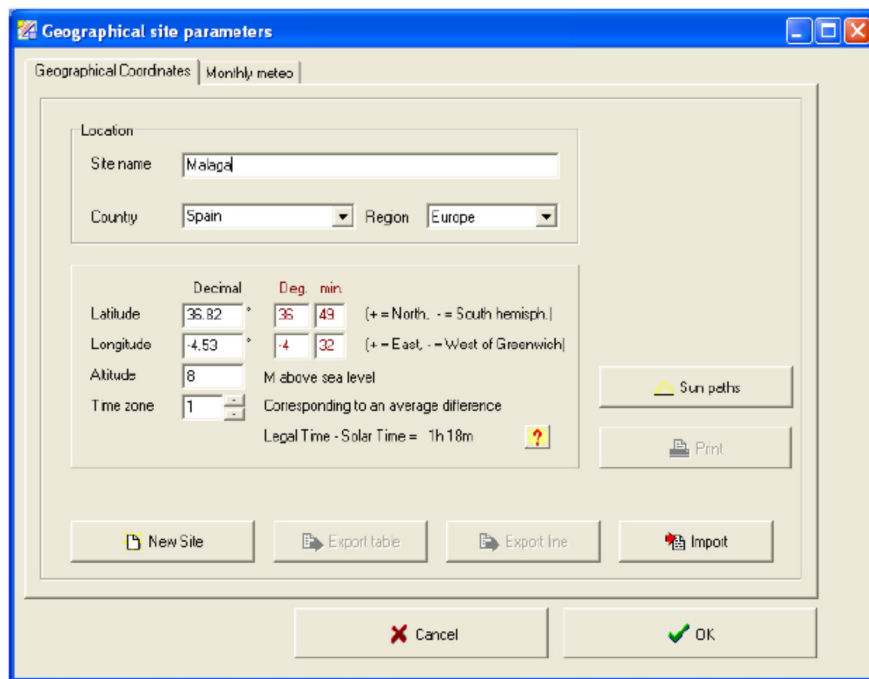


Figura 13

I a continuació, les dades climatològiques de temperatura exterior mitjana i irradiació global i difusa horitzontals (en kWh/m<sup>2</sup>/dia) suposant una velocitat del vent d'1 m/s per a tots els mesos:

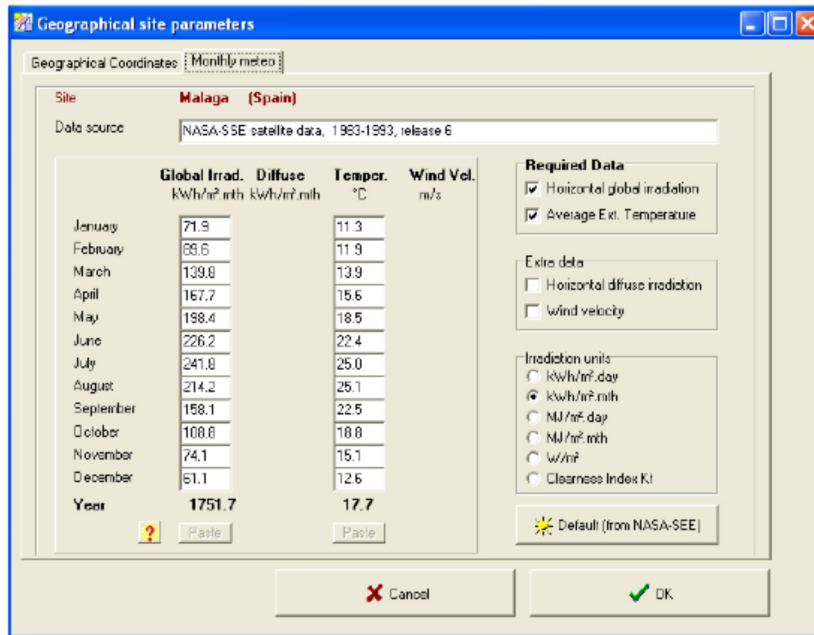


Figura 14

### 2.3. Disseny previ

Una vegada fet això, podeu començar amb el dimensionament. Per a això, des de la pantalla principal i, per a començar, es triarà *Preliminary design* i *Stand alone* per a realitzar l'estudi previ per al sistema fotovoltaic autònom objecte d'aquest projecte.



Figura 15

Una vegada en disseny preliminar, heu de triar la localització, que en aquest cas serà la que heu introduït anteriorment, amb les dades meteorològiques corresponents.

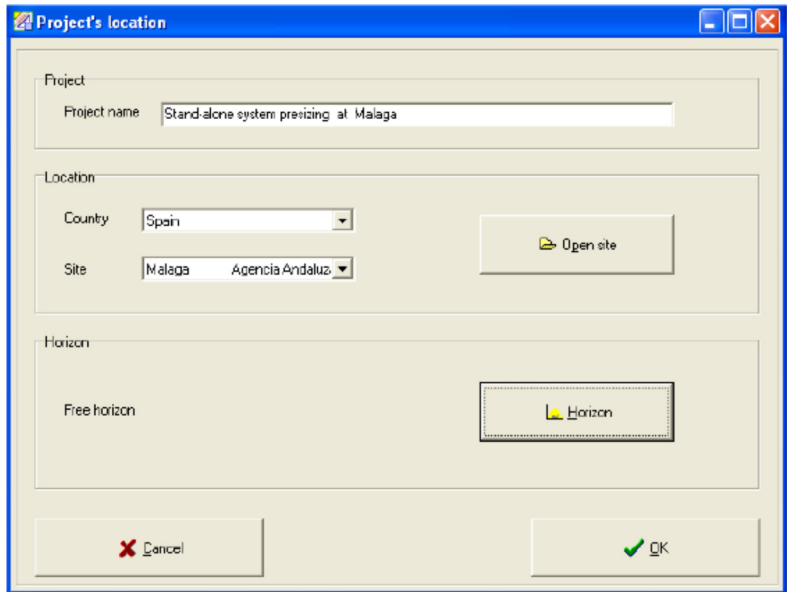


Figura 16

Per a la selecció de la inclinació òptima, s'utilitzarà el **mètode del pitjor mes**. Per a això, des de PVGIS es determinarà la radiació per a diferents angles d'inclinació (0, 10°, 20°... fins a 90°). Amb aquestes dades i els consums que heu calculat anteriorment, calculeu la relació radiació [kWh/m<sup>2</sup>/dia]/consum [kWh mitjà diari]. Escollirem el mes pitjor, que serà aquell pel qual aquesta relació siga la mínima. Una vegada determinat el mes pitjor, triareu aquella inclinació per la qual, per a aquest mes, la relació siga màxima.

Pitjor mes	Inclinació

Taula V

I especifiqueu aquesta inclinació en *System Specification*:

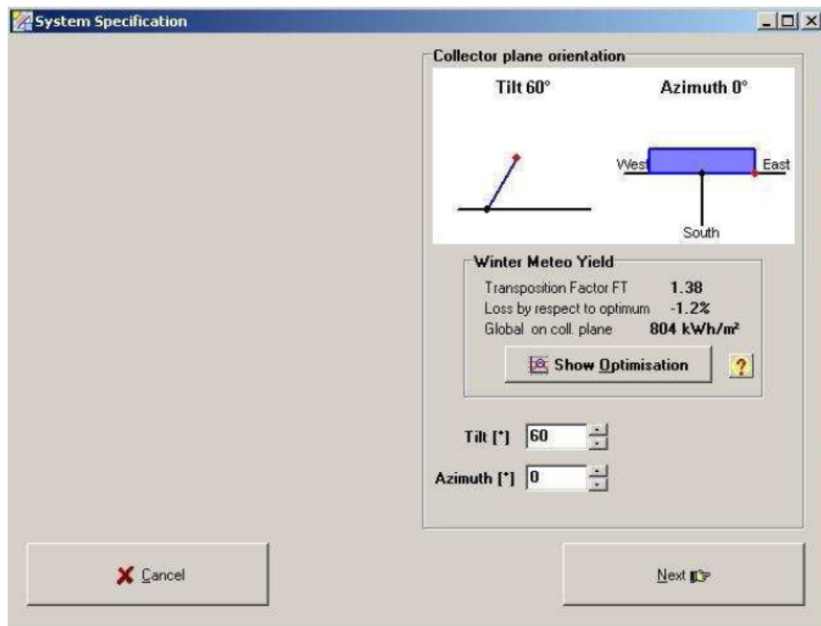
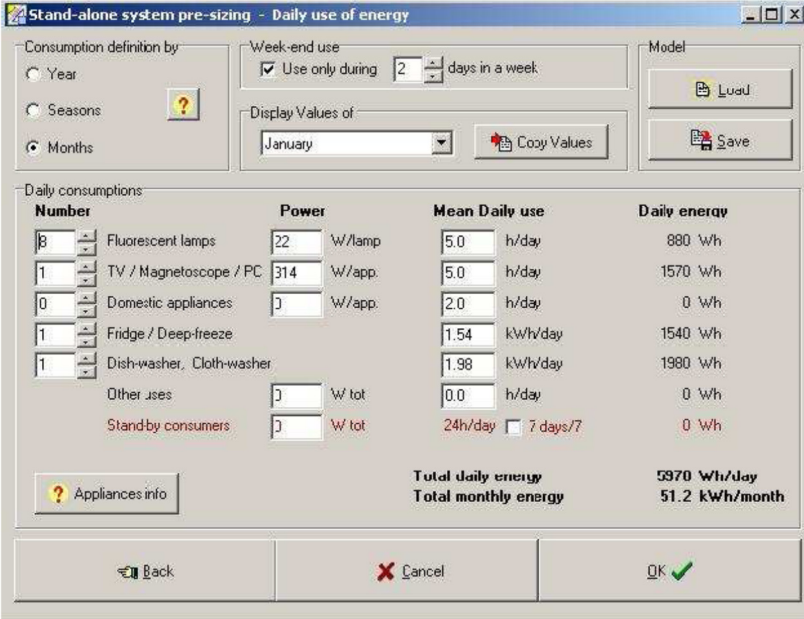


Figura 17

A continuació, introdueixen els consums del sistema. Serà diferent en juny, juliol i agost a la resta de mesos, per la qual cosa es defineix per mesos.



Consumption definition by:  Year  Seasons  Months

Week-end use:  Use only during 2 days in a week

Model: [Load] [Save]

Display Values of: [January] [Copy Values]

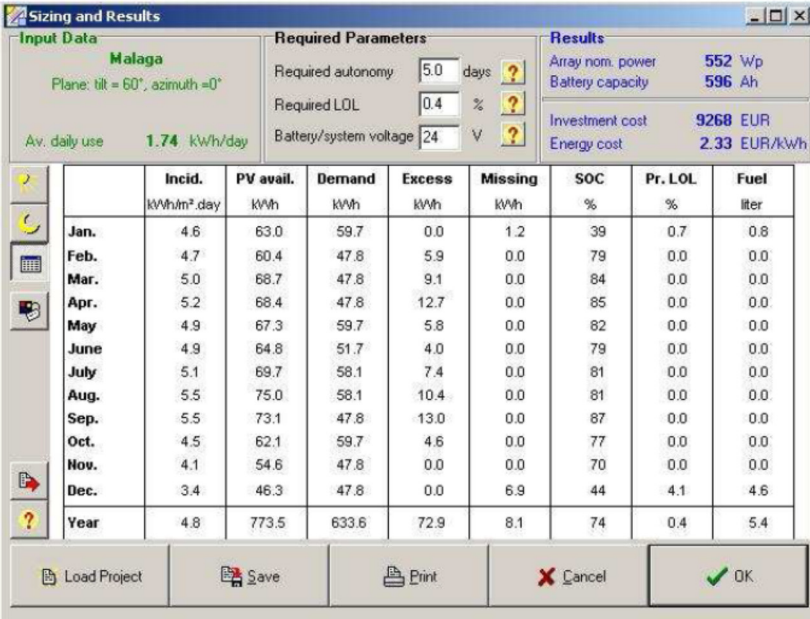
Daily consumptions:

Number	Power	Mean Daily use	Daily energy
8	Fluorescent lamps 22 W/lamp	5.0 h/day	880 Wh
1	TV / Magnetoscope / PC 314 W/app.	5.0 h/day	1570 Wh
0	Domestic appliances 0 W/app.	2.0 h/day	0 Wh
1	Fridge / Deep-freeze 0 W/app.	1.54 kWh/day	1540 Wh
1	Dish-washer, Cloth-washer 0 W/app.	1.98 kWh/day	1980 Wh
	Other uses 0 W tot	0.0 h/day	0 Wh
	Standby consumers 0 W tot	24h/day <input type="checkbox"/> 7 days/7	0 Wh
<b>Total daily energy</b>			<b>5970 Wh/day</b>
<b>Total monthly energy</b>			<b>51.2 kWh/month</b>

Appliances info [Back] [Cancel] [OK]

Figura 18

L'últim pas d'aquest disseny previ és definir l'autonomia del sistema en *Sizing and Results* (resultats), que es fixa en 5 dies per a aquest tipus d'instal·lacions. Els altres dos paràmetres que se'ns demanen (*Required LOL* i *Battery/system voltage*). La probabilitat de pèrdua de càrrega (*LOL*) que, com que es tracta d'un sistema domèstic, s'estableix en un 5 % i, la tensió del sistema que es fixa en 24 volts. PVSyst té un problema amb la probabilitat de pèrdua de càrrega: es calcula de manera anual, per tant, si un mes té una relació radiació/consum menor, la probabilitat de pèrdua de càrrega serà major. Per tant, s'ha de jugar amb aquest paràmetre fins que la probabilitat de pèrdua de càrrega (*Pr. LOL*) siga inferior al 5 % per a tots els mesos.



Input Data: Malaga, Plane: tilt = 60°, azimuth = 0°, Av. daily use: 1.74 kWh/day

Required Parameters: Required autonomy: 5.0 days, Required LOL: 0.4 %, Battery/system voltage: 24 V

Results: Array nom. power: 552 Wp, Battery capacity: 596 Ah, Investment cost: 9268 EUR, Energy cost: 2.33 EUR/kWh

	Incid.	PV avail.	Demand	Excess	Missing	SOC	Pr. LOL	Fuel
	kWh/m <sup>2</sup> .day	kWh	kWh	kWh	kWh	%	%	liter
Jan.	4.6	63.0	59.7	0.0	1.2	39	0.7	0.8
Feb.	4.7	60.4	47.8	5.9	0.0	79	0.0	0.0
Mar.	5.0	68.7	47.8	9.1	0.0	84	0.0	0.0
Apr.	5.2	68.4	47.8	12.7	0.0	85	0.0	0.0
May	4.9	67.3	59.7	5.8	0.0	82	0.0	0.0
June	4.9	64.8	51.7	4.0	0.0	79	0.0	0.0
July	5.1	69.7	58.1	7.4	0.0	81	0.0	0.0
Aug.	5.5	75.0	58.1	10.4	0.0	81	0.0	0.0
Sep.	5.5	73.1	47.8	13.0	0.0	87	0.0	0.0
Oct.	4.5	62.1	59.7	4.6	0.0	77	0.0	0.0
Nov.	4.1	54.6	47.8	0.0	0.0	70	0.0	0.0
Dec.	3.4	46.3	47.8	0.0	6.9	44	4.1	4.6
Year	4.8	773.5	633.6	72.9	8.1	74	0.4	5.4

[Load Project] [Save] [Print] [Cancel] [OK]

Figura 19

Dels resultats anteriors, indiqueu:

Taula VI

Potència del panell (array nominal <i>power</i> )	
Capacitat del sistema d'acumulació	
Cost aproximat de la instal·lació	

**NOTA:** Aquesta mida menuda de generador se salva amb una mida d'acumulador gran, que satisfà tot el consum requerit (acumula en una setmana el que es gastarà en 2 dies) i, dona una autonomia al sistema de 5 dies.

## 2.4. Elecció dels panells fotovoltaics

En el catàleg del fabricant ATERSA ([www.atersa.es](http://www.atersa.es)), busqueu el mòdul de tecnologia policristal·lina de 24 Vn que, d'acord amb la potència de pic demanada per la instal·lació segons el disseny preliminar, resulte més rendible. Aquest mòdul, seleccionat amb les seues característiques, s'introduirà en la base de dades de PVSyst, en l'apartat 2.8.

Taula VII

Mòdul seleccionat	
Característiques	

Per a la potència de panell indicada en la Taula V i amb el panell seleccionat i la tensió nominal de la instal·lació, indiqueu el nombre de panells que convé considerar en sèrie i en paral·lel.

Taula VIII

Nre. de panells en sèrie	
Nombre de panells en paral·lel	
Isc del generador fotovoltaic (A)	
Voc del generador fotovoltaic (V)	

## 2.5. Elecció de la bateria

Per a l'acumulador s'intentarà cobrir la capacitat amb el menor nombre de bateries possible, ja que això també suposa un cost més baix. Com més gran la bateria, menor el cost de l'Ah. Seleccionem la bateria Dryfit A600/ 8 OPzV800 de la marca Sonnenschein, amb una capacitat (C10) de 800 Ah i 2 volts, per tant, se n'hauran de col·locar 12 en sèrie.

## 2.6. Elecció del regulador

Sobredimensioneu el regulador perquè suporti de l'ordre d'un 30 % més del corrent que proporcionarà el panell (Taula VIII). Triareu un regulador de la marca ATERSA ([www.atersa.es](http://www.atersa.es)).

## 2.7. Elecció de l'inversor

Per a l'elecció de l'inversor, s'ha de conèixer, a part dels factors ja presentats, el consum màxim instantani que pot tenir la instal·lació, d'acord amb la Taula I.

Taula IX

Consum màxim (W)	
------------------	--

El rang de tensions d'entrada per al qual l'eficiència de l'inversor és màxima ha de trobar-se dins del rang del sistema. A més, l'inversor seleccionat ha de suportar el corrent màxim generat pel sistema fotovoltaic.

Seleccioneu entre aquests models:

- IrepsoL GMS1800/24
- Solon Top Class 15/24
- Solon Allegro10/24

Taula X

Inversor seleccionat:	
Eficiència:	

Una vegada triats aquests components, passareu a introduir-los en la base de dades del programa. Es fa en *Tools*, igual com es van introduir les dades meteorològiques de la Granja de la Costera. L'inversor no s'introduirà, ja que per a sistemes fotovoltaics aïllats el programa no té l'opció d'incloure un inversor per al seu modelatge. No obstant això, a partir de les dades proporcionades del sistema en contínua, es pot modelar el comportament en alterna si es coneix l'eficiència de l'inversor utilitzat. Per a tenir en compte aquest efecte s'haurien d'incrementar els consums en un 10 %, encara que en aquesta pràctica es considerarà l'inversor com a ideal (sense pèrdues).

## 2.8. Introducció dels components en la base de dades

Per a la introducció dels components en la base de dades, s'obrirà el menú *Tools*, igual que per a introduir les dades meteorològiques. Una vegada en *Tools*, en la part de *Components database* se selecciona *PVmodules* per a introduir les dades del mòdul fotovoltaic seleccionat. Partireu d'un mòdul d'Atersa de característiques similars (policristal·lí, de 24Vn i de potència el

més pròxima possible). I, a continuació, hi afegireu les dades específiques del mòdul seleccionat, d'acord amb la informació que proporciona el fabricant en el seu full de dades.

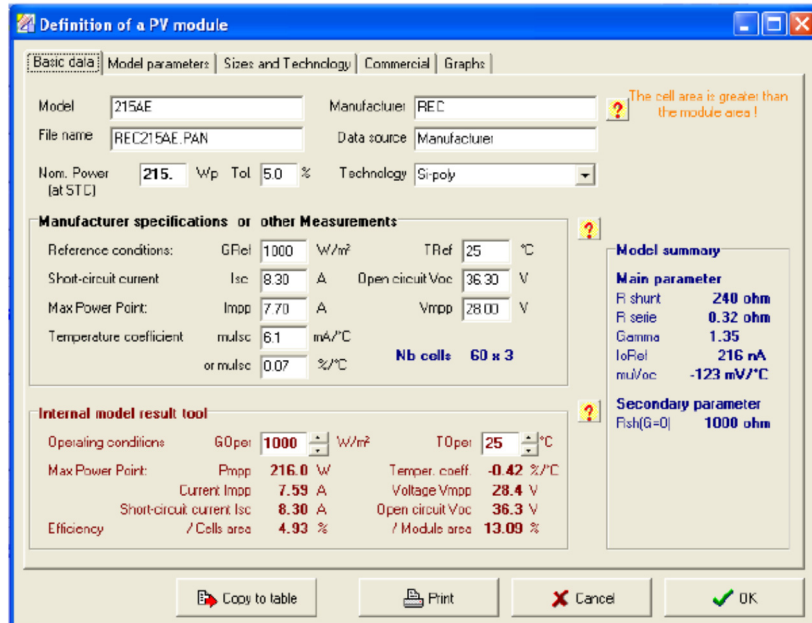


Figura 20

Una vegada acabat el mòdul, es podrien introduir les dades tècniques de la bateria seleccionada (menú *Tools > Batteries*). No obstant això, aquesta bateria ja està inclosa en a base de dades del programa.

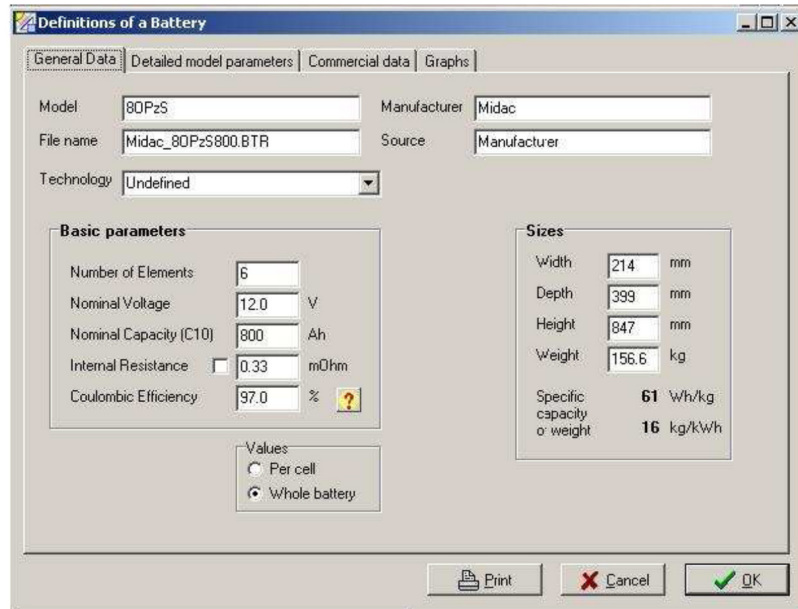


Figura 21

## 2.9. Dimensionament. Simulació

Començarem, igual que en el disseny previ, especificant el lloc del projecte i la seua base de dades meteorològics corresponents. Una vegada fet això, es passa a definir l'albedo, que s'estableix en 0,2, en ser aquest el valor més típic.

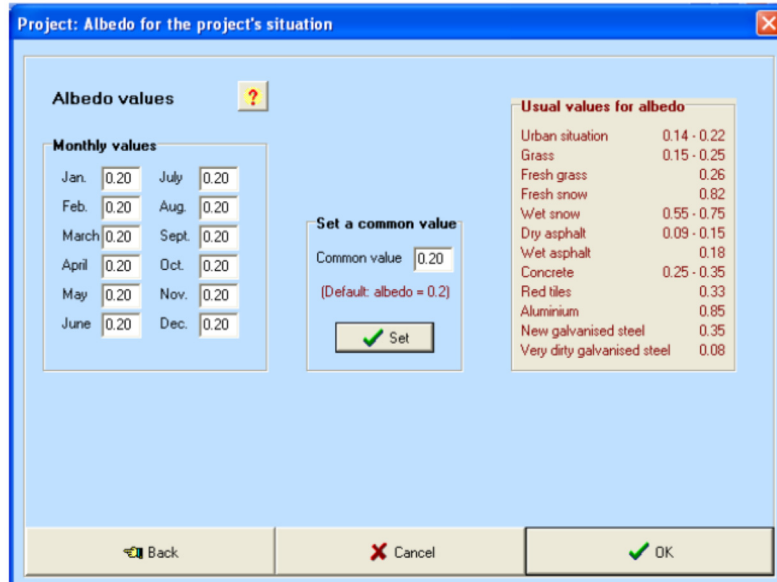


Figura 22

A continuació definireu la inclinació dels panells, i seleccionareu un sistema estàtic. La inclinació és la calculada en la Taula IV. El següent pas és definir l'horitzó, el temps real en què el sol il·lumina la superfície dels mòduls, i la seua inclinació, punt que no es modificarà. Tot seguit, definireu les ombres, però en l'especificació de requisits es va deixar clar que no hi hauria cap tipus d'ombres, per tant, tampoc es modifica aquest punt. El següent pas és definir el sistema. Comenceu pels consums, que carregareu els mateixos que s'han introduït per al disseny previ, a més de la fiabilitat i els dies d'autonomia del sistema. Una vegada fet això s'especificuen el mòdul i la bateria que es vol triar.

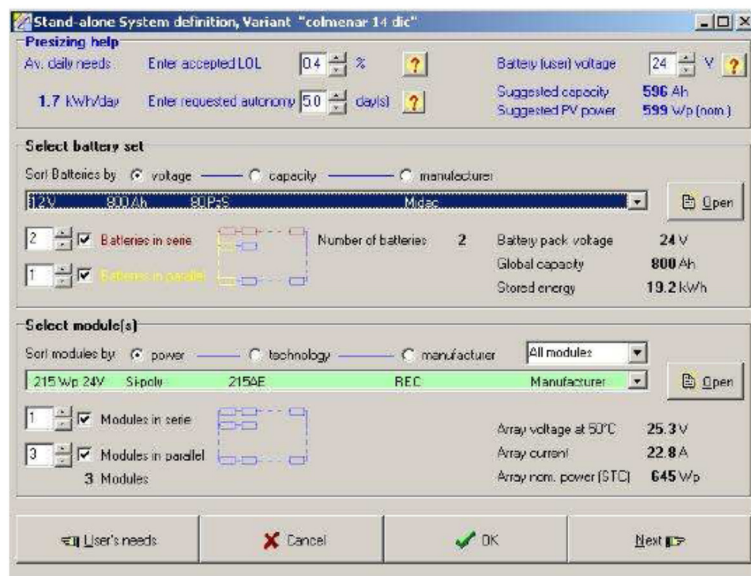


Figura 23



En acabant, especifiqueu el regulador i la temperatura per a les bateries, que serà la de l'ambient especificada en les dades meteorològiques. Malgrat la selecció realitzada per al regulador en l'apartat 2.5, per a la simulació es prendrà el que proporciona l'aplicació per defecte. Comproveu mitjançant una simulació si aquest es requereix que funcione en el punt de màxima potència per a assegurar el 100 % de la demanda de l'usuari.

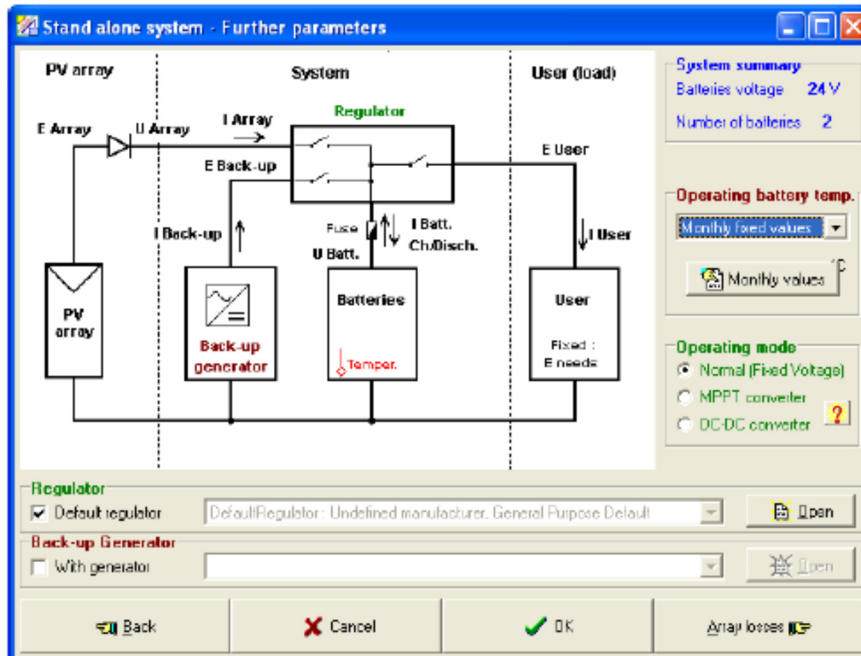


Figura 24

Ara us queda calcular les pèrdues del sistema, per a això cal que dissenyeu el cablejat.

### 2.10. Disseny del cablejat

L'elecció del cablejat es fa en funció de la caiguda de tensió i ha de ser fiable, que no es deteriore la capa aïllant ni per l'efecte dels rajos UV, la temperatura o la humitat.

Sobredimensionareu el corrent que passa pels conductors en un 25 % del corrent màxim pels panells, i seleccionareu la secció mínima del conductor segons la taula següent:

Taula XI

Conductors de Coure		
Secció (mm <sup>2</sup> )	I <sub>max</sub> (A)	Resistència (mΩ/m)
1,5	17	15
2,5	24	8,8
4	32	5,5
6	41	3,7

Una vegada triada aquesta secció mínima, cal seguir un altre criteri per a l'elecció definitiva de la secció de conductor que usareu. Aquest criteri es basa en la caiguda de tensió màxima que es pot produir en cada una de les línies. Aquest criteri ve clarament explicat en la figura següent.

Tenint en compte la tensió del sistema, en cas de conductors de coure, la secció necessària es calcularà mitjançant l'expressió:

$$S = \frac{(2 \cdot L \cdot I)}{56 \cdot (V_a - V_b)}$$

On:

S : Secció del conductor [mm<sup>2</sup>].

L : Longitud del conductor [m].

I : Intensitat màxima que circula pel conductor [A].

V<sub>A</sub> - V<sub>B</sub> : Caiguda màxima de tensió en volts, en la línia.

La secció dels cables calculada ha de ser tal que les caigudes màximes de tensió entre ells, comparades amb la tensió a la qual estiguen treballant, estiguen sota els límits recomanats següents:

Línia camp de panells acumulador	3%
Línia acumulador inversor	1%
Línia principal	3%
Línia principal – Il·luminació	3%
Línia principal - equips	5%
Camp panells - càrrega DC	5%

Figura 25

- Connexió dels mòduls (camp de panells → *string module connexions*). Té una longitud de 2 metres. Seleccioneu la secció de cable normalitzat:

Càlculs:

- Línia camp de panells – acumulador (*Main box to battery*). Aquesta línia té una longitud de 0,8 m. Seleccioneu la secció de cable normalitzat:

Càlculs:

- Resta de línies. En convertir-se el senyal a alterna i elevar-ne la tensió a 220 V, les pèrdues són menyspreables dins d'un habitatge de 30 m<sup>2</sup>.

### 2.11. Inclusió de pèrdues de cablejat en PVSystem

Una vegada calculades les seccions i les longituds de les línies, cal incloure aquestes dades perquè el programa incloga les pèrdues en la simulació.

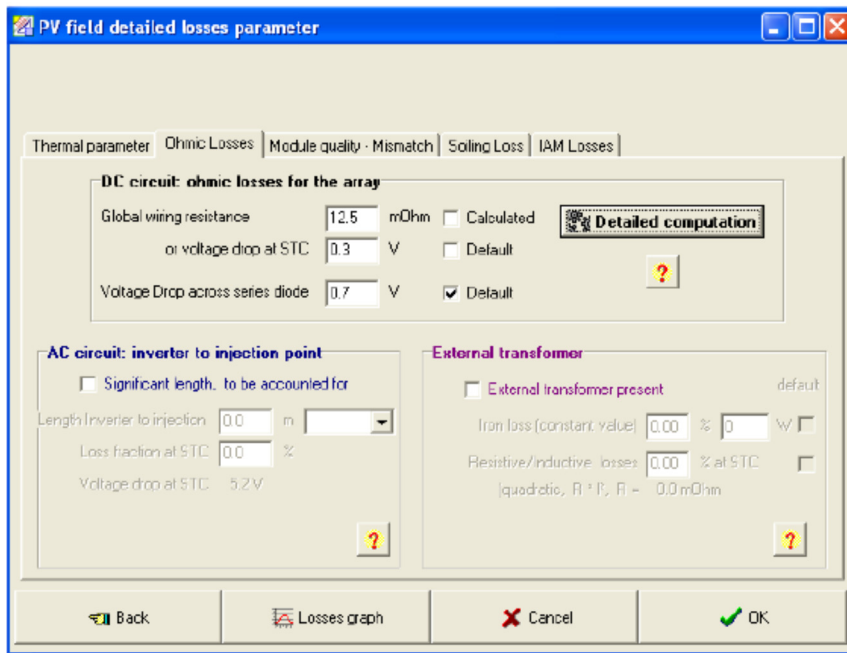


Figura 25

Heu d'incloure també la caiguda de 0,7 V, que correspon al díode de bloqueig. En un sistema fotovoltaic autònom, s'inclou aquest díode per a protegir els mòduls de les descàrregues de la bateria que no permet que circule corrent per aquests provinent de la bateria. Això pot passar quan els mòduls no estiguen generant electricitat.

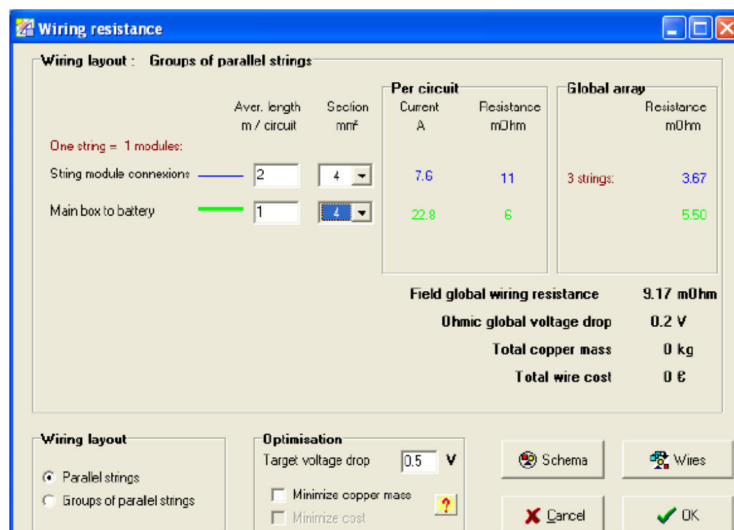


Figura 26

No es consideraran més pèrdues; la resta de factors es deixen com els porta el programa per defecte. Per tant, ja podeu passar a la simulació.

## 2.12. Simulació

La simulació va generarà dades del comportament del sistema, en funció de les dades que s'han introduït anteriorment. Aquestes dades van des de la presentació de les dades meteorològiques o les de consum, fins a balanços energètics, tensions i corrents dels diferents components.

Llanceu la simulació i obteniu aquests resultats:

Gràfic "Producció normalitzada (per kWp instal·lat)". Obteniu informació del factor de pèrdues del sistema i la producció normalitzada (per kWp instal·lat).

Balanços i resultats principals.

**ENERGIES RENOVABLES I EL SEU CONDICIONAMIENT**

D'acord amb les dues taules anteriors, identifiqueu els mesos en els quals l'energia no emprada és mínima i expliqueu per què.

.....  
.....  
.....  
.....

El *Performance ratio* (factor de rendiment) és molt utilitzat en sistemes fotovoltaics connectats a la xarxa per tal d'estudiar-ne el rendiment. No obstant això, en el cas de sistemes autònoms, no es tracta d'aconseguir la producció màxima, sinó d'adequar-la a un consum determinat.

$$PR = \frac{\text{Energia subministrada a l'usuari}}{\text{Energia total}} =$$

$$= \frac{Y_f (\text{kWh/dia/kWp})}{\text{Energia suminstrada als usuaris} + \text{pèrdues} (L_c + L_s) + \text{Energia no utilitzada} (L_u)}$$

*Performance ratio* i fracció solar. Comenteu.

Quina fracció solar s'obté i per què? En quins mesos el *Performance Ratio* és major i per què?

.....  
.....  
.....  
.....

### *ENERGIES RENOVABLES I EL SEU CONDICIONAMIENT*

Una altra gràfica important, presenta els diferents percentatges de pèrdues del sistema. Analitzant-la, es pot optimitzar el sistema perquè aquestes siguen mínimes. Aquestes pèrdues venen desglossades en diferents apartats i classificades per pèrdues de radiació (per la inclinació i la orientació dels panells, principalment), pèrdues en el generador (desajustaments entre panells *-mismatch-*, temperatura, impedància dels cables...) i, finalment, les pèrdues en el sistema d'acumulació.

Diagrama de pèrdues del sistema durant tot l'any.

## Activitat complementària

### Horizon

Aquesta eina ens permet realitzar un estudi de l'horitzó de la instal·lació i la possible generació d'ombres en moments determinats. Permet dibuixar un esquema dels obstacles que hi ha al davant de la instal·lació incloent aquest perfil en la simulació d'ombres.

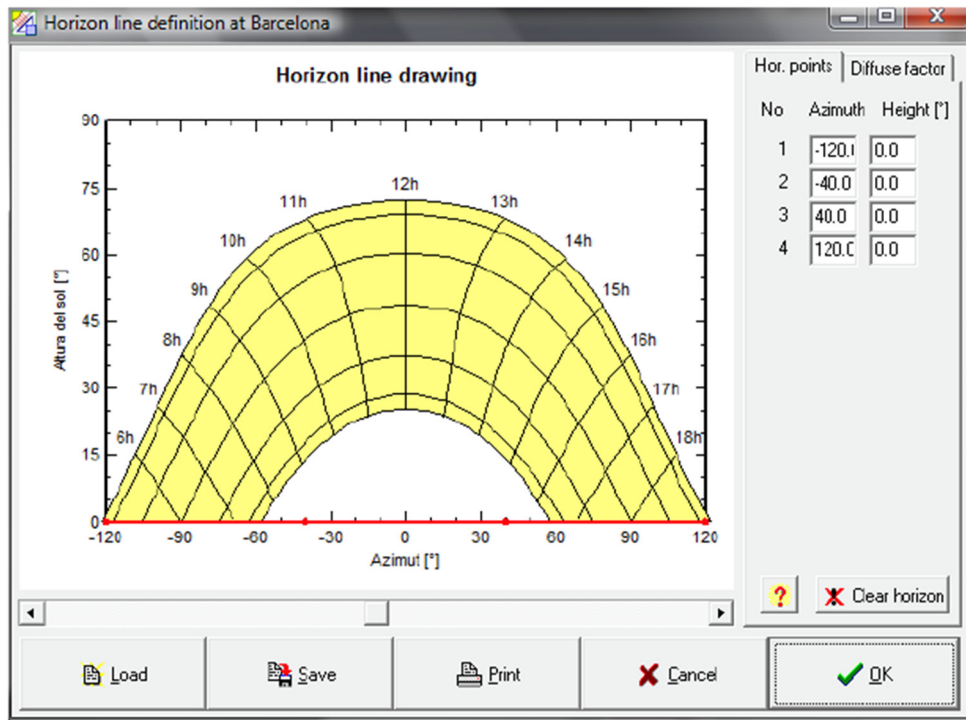


Figura 27

En la franja inferior es tracta el dia amb menys altura solar de l'any, que en el nostre hemisferi es correspon amb el 21 de desembre. La franja superior marca el dia amb més altura solar, que és el 21 de juny. Qualsevol obstacle introduït dins d'aquesta franja ens proporcionarà certa quantitat d'ombres al llarg de l'any. Si l'obstacle supera la franja superior, l'obstacle no permetrà arribar la radiació durant tot l'any.

Les ombres poden ser de dos tipus: pròximes o llunyanes (més de 30 km). Per a dibuixar ombres pròximes i poder dibuixar aquests obstacles, podem obtenir dades geomètriques dels angles mitjançant trigonometria i, d'aquesta manera, determinar l'ombra que generaria, per exemple, un edifici segons l'alçària (altura del sol) i l'amplària (azimut).

Per a dibuixar ombres llunyanes, com podria ser una serralada, el procediment és mitjançant una fotografia panoràmica dirigida al sud i feta per aparells especialitzats.

Horizon line drawing

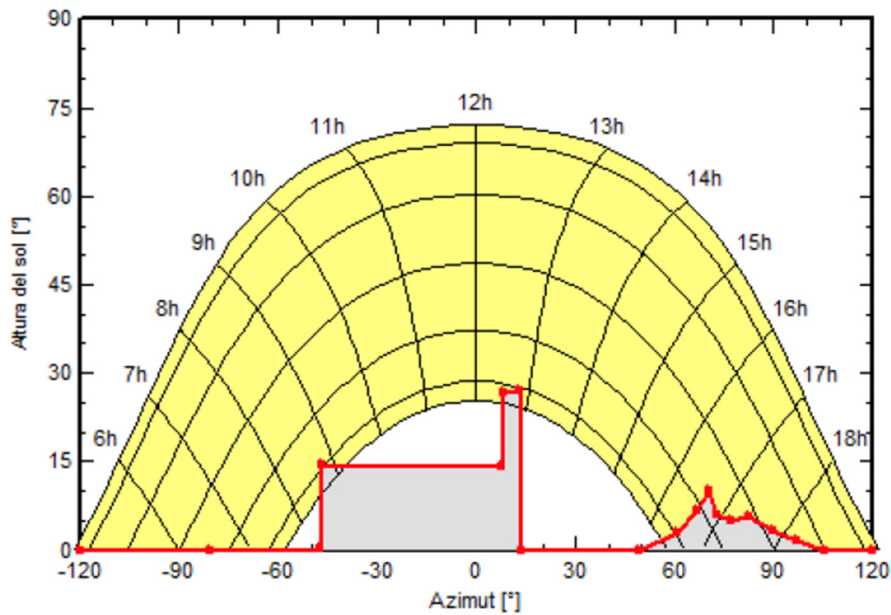


Figura 28

Hi podeu veure que es tindria un edifici en la zona frontal dels generadors fotovoltaics i, a la dreta, el que podria ser una serralada.

Near shading

En aquest apartat podrem dibuixar la nostra instal·lació i simular el seu comportament davant del sol observant-ne les ombres possibles, tant les creades pels panells mateixos com les creades per l'horitzó fixat en l'apartat anterior.

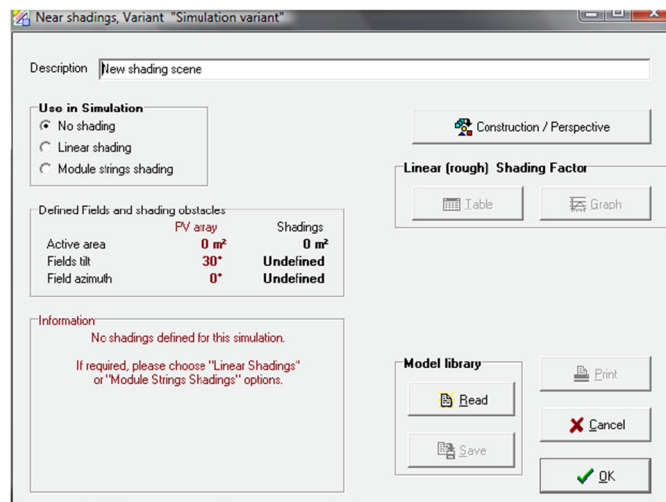


Figura 29

En aquest apartat haurem de decidir quin tipus d'estudi respecte a les ombres volem simular. Com hi podem observar, hi ha 3 tipus d'opcions:



**ENERGIES RENOVABLES I EL SEU CONDICIONAMENT**

- **Sense ombres:** aquesta opció, indica al programa que no tinga en compte pèrdues per ombres. Si bé és la més senzilla i errònia, permetrà realitzar un primer estudi ràpid de les produccions màximes que s'obtindran.
- **Ombres lineals:** per a aquest model ja s'ha de realitzar un disseny amb l'editor de plànols de PVSystem. En seleccionar aquest model, el programa considerarà unes pèrdues lineals de manera que, si està en ombra el 5 % d'un mòdul, la potència disminuirà un 5 %.
- **Ombreig per branques i mòduls:** aquest model és el més complex però també el més exacte. Com que el programa té una base de dades dels mòduls en què s'indica com estan situats els díodes de *bypass*, el programa podrà determinar, en funció d'on estiga situada l'ombra en el panell, les pèrdues del *string* complet, estudiant cèl·lula a cèl·lula.

Es demana:

Creareu la vostra casa de camp, que té l'estructura que es mostra en la Figura 30.

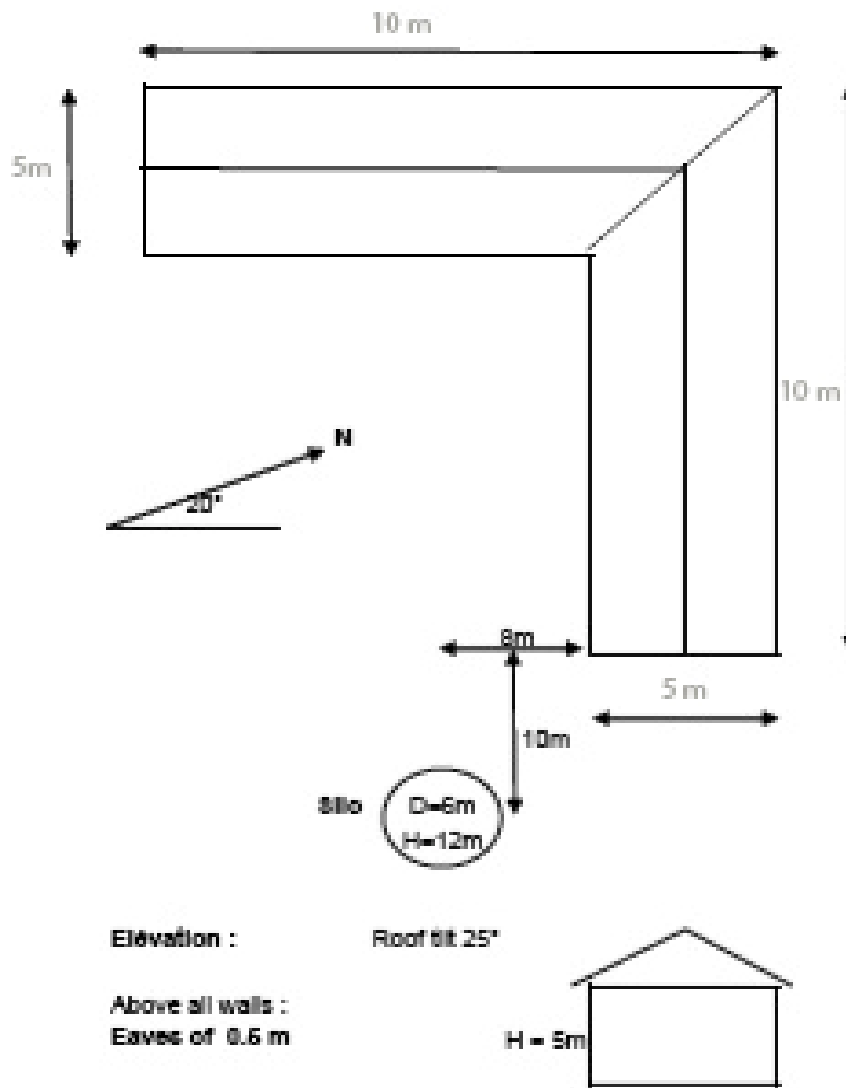


Figura 30

1. Definiu l'escena 3D. Obriu *Near shadings* i, a continuació, *Construction/Perspective*.
2. Construcció de l'edifici: l'edifici serà un assemblat d'objectes elementals, que més tard s'uniran per a generar l'escena 3D. Per a això, procediu com s'indica:
  - a. Feu clic en *Object / New / Building / Composed object*, que ens obri una segona finestra 3D.
  - b. Definireu primer els dos paral·lelepípedes que conformen l'edificació. Per a això, tireu *Elementary object / New object* i seleccioneu un paral·lelepípede amb aquestes dimensions: *Width* = 5 m, *Length* = 10 m, *Height* = 5 m. A continuació, *OK*.
  - c. Torneu a seleccionar un nou objecte elemental tipus paral·lelepípede amb les característiques: *Width* = 5 m, *Length* = 5 m, *Height* = 5 m, i *OK*.
3. Posicionat en l'escena 3D:
  - a. Seleccioneu la vista *Top View* (vista superior).
  - b. Desplaceu un dels paral·lelepípedes perquè forme l'habitatge amb l'angle de 90° que apareix en el dibuix. Això es pot fer manualment definint  $X=5$  m,  $Y=5$  m, *Azimuth* = 90° per a l'objecte elemental número 2.
4. Afegiu la teulada, la qual sobreix 0,5 m a cada costat i té una inclinació de 25°:
  - a. Seleccioneu *Elementary Object/New Object* → *Two-sided roof + Gables* (teulada de 2 fases + aguillons), amb les dimensions: *Base width* = 6 m, *Top length* = 8, *Roof tilt* = 25°, *Gable 1 angle* = -45°.
  - b. *OK* i posicionar-ho en la posició corresponent:  $X=2.5$ ,  $Y=2.5$ ,  $Z=5$ .
  - c. La segona teulada, la podem copiar de la primera mitjançant *COPY/PASTE*. La seua posició tindrà ara un azimuth de 90° i el tall a dues aigües ara estarà en 45° en comptes dels 45° anteriors (canvieu *Gable angle* = 45°). Canvieu-ne també la posició perquè coincidisca amb l'altra teulada. Això sí que es pot fer des de la vista superior arrossegant la imatge (a partir del punt roig) i, després, ajustar els valors de  $X$  i  $Y$  ( $X=2.5$ ,  $Y=2.5$ ).
5. Una vegada definida l'edificació, es realitza la integració de tots els components, mitjançant *File/Close and integrate* (tanca i integra).
6. Afegiu els panells fotovoltaics:
  - a. En aquest cas, aquests no s'hi afegixen com els components anteriors, ja que aquesta és l'àrea d'interès. S'hi afegixen com: *Object / New / Rectangle PV Plane*.
  - b. Seleccioneu el nombre de panells que us hagen eixit, amb les dimensions i una separació adequada entre si.
  - c. Posicioneu-los com creieu convenient, en la teulada corresponent a la vertical segons la vista de la Figura 30. Per a això, l'azimut haurà de ser 90°<sup>3</sup>, i useu la vista *Top View* (vista superior) que es correspon amb la vista en els eixos  $X$  i  $Y$ .
  - d. Atenció, doncs ara els panells estan a terra, tal com indica la vista *Front View* (vista de front). Arrossegueu els panells fins a dalt de la teulada, tenint en compte que cal deixar una distància mínima de 2 cm entre l'objecte actiu (la placa) i qualsevol altre objecte.

---

<sup>3</sup> Lògicament, aquest no serà l'azimut real que tindran els panells, ja que després la imatge no té l'orientació que indica la figura.

7. Afegiu una sitja i, addicionalment, un arbre.
  - a. En l'escena principal, afegiu un objecte nou: *Object /New / Elementary shading object / Portion of cylinder*. D'acord amb el dibuix del plànol, aquest tindrà un *Radius = 3 m, Aperture angle = 360°, Number of segments = 16, Height = 12 m*. Feu clic en *OK*.
  - b. A continuació, en l'escena principal, posicioneu la sitja d'acord amb la Figura 30. És a dir,  $X=13$  m,  $Y= 20$  m.
  - c. **Activitat addicional de prova:** poseu un arbre de les dimensions que vulgeu i en la posició que desitgeu. Per a això, seleccioneu *Object / New / Elementary Shading Object / Tree*. Per a definir la grandària i la forma de l'arbre, podeu utilitzar l'opció *Front View* i jugar amb els punts rojos per a definir-la i ajustar-la.
  
8. Posicionat de tota l'escena respecte als punts cardinals. Per conveniència, hem dibuixat l'escena tal com se'ns ha presentat en la Figura 30. Tanmateix, aquesta no és la posició que té la casa, sinó que hem de rotar tota l'escena. Per a això procedirem com s'indica:
  - a. Seleccioneu un objecte de referència (el més adequat és seleccionar els panells).
  - b. Indiqueu *Object/Rotate the whole Scene* (orienta la situació global) i roteu-ho a un nou azimut de  $0^\circ$ . Això reorienta tota l'escena<sup>4</sup>.
  
9. Animació:
  - a. Feu clic en el botó *Shadow animation over one day* (animació de les ombres durant un dia) → *Play/record animation* per a visualitzar les ombres que es produeixen al llarg del dia.
  
10. Pots personalitzar els colors de l'escena, donant als panells un color, a l'habitatge un altre i un altre a la sitja.
  
11. Guardeu l'escena dissenyada: *File / Save Scene* (desa una escena).
  
12. Perquè l'escena aparega en el document final: *File/Save Scene View/Keep this view for the report* (guarda la vista de l'escena /conservar aquesta vista per a l'informe).
  
13. Per a utilitzar-ho en la simulació:
  - a. *File/Close*.
  - b. Trieu *Linear Shadings* en la caixa *Use in simulation*.
  - c. Ací, el programa comprova la compatibilitat amb les altres dades que havíem definit prèviament, tals com l'orientació dels panells, que l'àrea dels panells siga l'adequada, etc.
  - d. Quan tot és correcte, el programa pregunta per a calcular en la taula dels factors d'ombreig. A cada hora, el procés de simulació interpola en aquesta taula, d'acord amb la posició del sol, per a avaluar la presència del factor d'ombreig sobre la radiació incident.
  - e. Addicionalment, això genera automàticament el gràfic d'ombreig. REVISEU COM HA CANVIAT *HORIZON* (perfil d'obstacles).

---

<sup>4</sup> Per a realitzar qualsevol canvi, generalment sol ser interessant tornar a la vista original. Aquest fet és més evident, si l'azimut té un valor diferent de  $0^\circ$  o  $90^\circ$ .

14. **Ombreig per branques i mòduls**<sup>5</sup>: quan una cèl·lula del panell apareix ombrejada, es veu afectat el corrent total del panell. Per a considerar aquest efecte de forma aproximada, hauríem de tornar a *Near Shadings Definitions* i realitzar una partició dels mòduls mitjançant l'opció: *Constructive/Perspective* → *Partition in module chains* per a dividir el panell en diferents rectangles equivalents.
  
15. **REPETIU ELS RESULTATS DE LA SIMULACIÓ OBTINGUTS ANTERIORMENT.**

---

<sup>5</sup> NO ES CONSIDERA EN AQUESTA PRÀCTICA.

# PRÀCTICA 7. Miniprojecte

Per al desenvolupament d'aquest miniprojecte es considera un bloc d'habitatges de construcció nova situat en alguna d'aquestes ciutats:

- Cas 1: València,
- Cas 2: Alacant
- Cas 3: Oviedo
- Cas 4: Màlaga

Trobem dos tipus d'edificis d'habitatges: edifici tipus A, edifici tipus B.

## EDIFICI TIPUS A

Els **edificis tipus A** consten de 30 habitatges repartits **en 7 plantes amb 4 habitatges per a les sis primeres plantes i 6 estudis en l'última planta.**

Tots els habitatges, excepte els estudis, són iguals i consten de les dependències següents:

- Menjador.
- Tres habitacions.
- Cuina.
- Bany complet amb banyera.
- Lavabo amb dutxa.

**Els estudis disposen d'una sola habitació i d'un bany complet amb banyera**, a més de la cuina i el menjador.

La planta de l'edifici és pràcticament quadrada (20,7 x 21,1 m), amb les escales i l'ascensor d'accés a les plantes situats a la part central. Una de les façanes de l'edifici està orientada al sud.

La coberta superior de l'edifici és una terrassa plana accessible i transitable.

La terrassa es troba parcialment ocupada per la claraboia situada damunt del buit de l'escala, la cambra de la maquinària de l'ascensor, les eixides dels conductes de ventilació i servei de les cuines i dels lavabos.

La terrassa té un xicotet **mur de 0,5 m** d'alçària en tot el seu perímetre.

**La distribució d'aigua preescalfada en cada habitatge es realitza a través de dos baixants. Un baixant proveeix aigua calenta als dos habitatges per planta que hi ha a la façana nord, a més dels tres estudis que donen a la façana nord; i l'altre, a les de la façana sud, juntament amb els tres estudis corresponents.**

## EDIFICI TIPUS B

Els **edificis tipus B** consten de 14 habitatges repartits **en 5 plantes amb 2 habitatges per a les tres primeres plantes i 4 estudis en cadascuna de les dues últimes plantes.**

Tots els habitatges, excepte els estudis, són iguals i consten de les dependències següents:

- Menjador.
- Tres habitacions.
- Cuina.
- Bany complet amb banyera.
- Lavabo (sense dutxa).

**Els estudis disposen d'una sola habitació i d'un bany complet amb banyera, a més de la cuina i el menjador.**

La planta de l'edifici és rectangular (20,2 x 10,4 m), amb les escales i l'ascensor d'accés a les plantes situats a la part central. Una de les façanes de l'edifici està orientada al sud.

La coberta superior de l'edifici és una terrassa plana accessible i transitable.

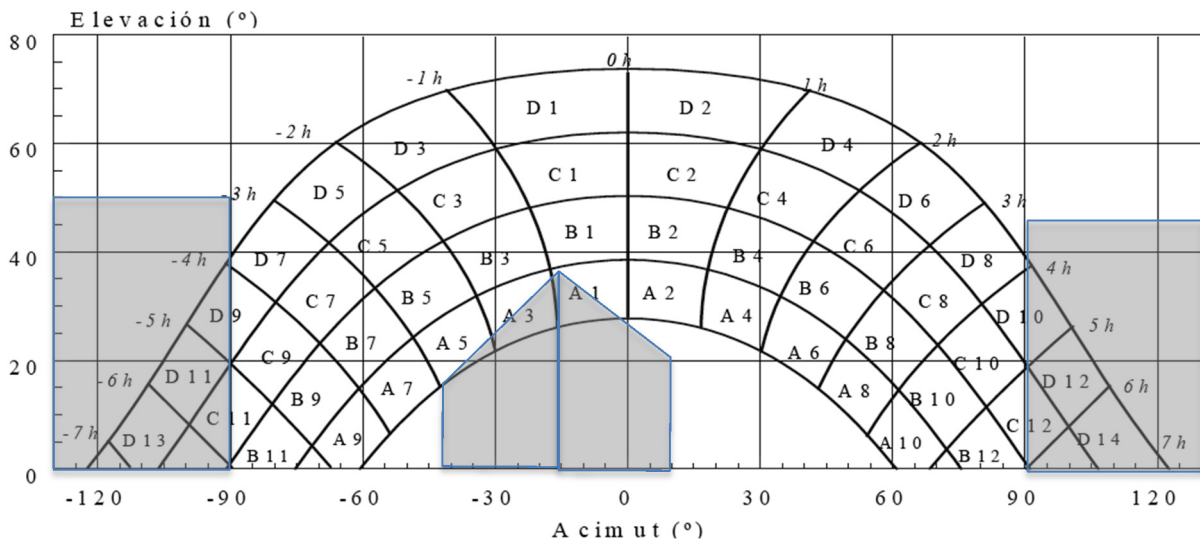
La terrassa es troba parcialment ocupada per la claraboia situada damunt del buit de l'escala, la cambra de la maquinària de l'ascensor, les eixides dels conductes de ventilació i el servei de les cuines i els banys.

La terrassa té un xicoteta **mur de 0,5 m** d'alçària en tot el seu perímetre.

**La distribució d'aigua preescalfada a cada habitatge es realitza a través d'un únic baixant, que proveeix aigua calenta als dos habitatges per planta, a més dels vuit estudis de les dues últimes plantes.**

Per a tots dos edificis es considerarà:

- Vista la disposició de l'edifici, se suposaran els captadors orientats al Sud.
- Per al càlcul del consum d'aigua calenta, es prendrà  $T_{ACS}$  de 45 °C.
- Es triarà una inclinació dels captadors de 45° respecte a l'horitzontal.
- L'horitzó d'obstacles des del camp de captadors és el següent:



A partir d'aquest horitzó d'obstacles s'obindrà un valor mitjà del coeficient de pèrdues de radiació per projecció d'ombres d'edificacions adjacents. Aquest coeficient s'aplicarà per a obtenir la radiació solar mensual sobre la superfície de captadors.

Seleccioneu una **instal·lació solar-tèrmica amb acumulació centralitzada i suport distribuït**, ja que és la que proporciona les millors prestacions en termes de rendiment de la instal·lació i fracció solar.

A més, haureu de tenir en compte que:

- S'haurà de complir, en les diferents ciutats, allò que exigeix el **Codi tècnic de l'edificació**, segons el qual:

a) Fracció solar mínima a cobrir:

Demanda total de ACS del edifici (l/d)	Zona climàtica				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
>10.000	30	50	60	70	70

Font: Codi Tècnic de l'Edificació

b) Demanda de referència a 60 °C:

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Font: Codi tècnic de l'edificació

Amb un factor de centralització en funció del nombre d'habitatges N:

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Font: Codi tècnic de l'edificació

c) Habitabilitat:


Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Font: Codi tècnic de l'edificació

- Usareu captadors solars Model QR-D de CHROMAGEN:
  - Dimensions: Alçària 1,90 m / Amplària 1,09 m
  - Superfície 2,1 m<sup>2</sup>
  - Capacitat 1,2 litres
  - Pèrdua de càrrega 16,1 m.m.c.a. per a un cabal de (50 · 2,1) l/h
  - Factor d'eficiència òptica del captador = 0,696
  - Coeficient global de pèrdues del captador= 4,821 W/m<sup>2</sup>K
- Triareu l'acumulador entre els valors de la sèrie estàndard següent: 300, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000 o 5000 litres.
- Suposareu una pèrdua de càrrega en un bescanviador de calor de plaques d'1,5 m.c.a. per a un cabal de 1200 litres/hora i que s'incrementa amb el cabal a raó de 0,15 m.c.a. per cada 500 litres/hora d'increment (és a dir, la pèrdua de càrrega per a un cabal de 700 litres/hora seria d'1,35 m.c.a. i per a un cabal de 1.700 litres/hora d'1,65 m.c.a. ).  
Si el cabal fóra inferior a 1200 litres/hora, es disminuirà en la mateixa proporció.
- Realitzareu la selecció de les longituds de canonades i del tipus de singularitats existents al vostre criteri prenent com a base les longituds de canonades i les singularitats del problema 1 vist an classe, ja que es tracta d'una instal·lació amb una estructura similar.

En el cas de canonades DN15, useu les longituds equivalents següents:

Longitud equivalent de canonada  
recta (m) per a pèrdues de càrrega  
singulars ¶

Leq(m)	DN15
Corba 90°	0,25
T 	0,12
Vàlvula A/R	0,35



- El valor del volum del vas d'expansió haurà de correspondre a algun dels valors de la següent sèrie estàndard: 5, 8, 12, 18, 24, 35, 50, 80, 100, 150, 200, 220, 300, 350, 500, 700 i 750 litres.

A cada grup se us assignarà una localitat (cas 1, 2, 3 o 4) i un tipus d'edifici (A o B), i en tots els casos usareu una tipologia d'instal·lació solar-tèrmica centralitzada i suport distribuït o individual.

**La presentació en Power Point es realitzarà en l'últim dia de pràctiques del grup al qual pertany cada alumne. Posteriorment, es lliurarà la documentació tècnica, en la qual s'hauran esmenat les possibles errades que s'hi hagen pogut detectar en la presentació.**

**La presentació, amb una durada màxima de 20 min, haurà d'incloure, de manera orientativa, aquests apartats:**

- Selecció de la FS mínima d'acord amb la zona climàtica i els consums diaris a 60 °C.
- Taula de demanda energètica mes a mes, indicant d'on s'han obtingut les dades de temperatura de xarxa.
- Càlcul de les pèrdues per ombreig.
- Mostra del F-Chart realitzat indicant d'on s'han obtingut les dades de radiació i temperatura ambient. Com a conclusió, determinació de l'àrea de captació necessària, així com el volum d'acumulació.
- Indicació de com s'han distribuït els captadors solars, així com la separació de les diferents files de captadors.
- Selecció de la concentració d'anticongelant.
- Disseny del circuit primari: selecció de cabals, diàmetre nominal de canonades, disseny de la bomba de circulació, vas d'expansió.
- Disseny del bescanviador i de l'acumulador.
- Disseny del circuit secundari: selecció de cabals, diàmetre nominal de canonades, disseny de la bomba de circulació.
- Disseny del circuit de distribució: selecció de cabals, diàmetre nominal de canonades.
- Disseny del circuit de recirculació.
- Indicació de la potència del sistema de suport seleccionat.