

ENERGIES RENOVABLES I EL SEU CONDICIONAMENT

Grau en Enginyeria Electrònica de
Telecomunicació



Professor: Juan B. Ejea (juan.b.ejea@uv.es)

Despatx 3.3.20

Horari tutories: Dilluns 15:30 – 17:30

Dimecres 15:30 – 17:30

Objectius

- ❑ Comprensió del principi de funcionament i aplicacions de les diferents fonts d'energia renovable existents, posant especial èmfasi en l'energia solar tèrmica i la fotovoltaica.
- ❑ Conèixer els aspectes que influeixen en la radiació solar i els aparells que s'utilitzen per a mesurar-la.
- ❑ Conèixer els elements principals d'una instal·lació solar tèrmica, els tipus d'instal·lacions i les seues aplicacions.
- ❑ Fer el dimensionament d'una instal·lació d'energia solar tèrmica de baixa temperatura.
- ❑ Conèixer els elements principals d'una instal·lació solar fotovoltaica, els tipus d'instal·lacions i les seues aplicacions.
- ❑ Fer el dimensionament d'una instal·lació d'energia solar fotovoltaica.

Temari (I)

TEMA 1: INTRODUCCIÓ A LES ENERGIES RENOVABLES

- 1.1. Concepte d'energia renovable.
- 1.2. Classificació de les energies renovables.
- 1.3. Repercussió en l'estalvi energètic i el medi ambient.
- 1.4. Legislació aplicable.
 - 1.4.1. Directives europees.
 - 1.4.2. Pla energètic nacional.

TEMA 2. LA RADIACIÓ SOLAR.

- 2.1. La radiació solar. Espectre de la radiació solar.
- 2.2. Radiació solar en la superfície de la terra.
 - 2.2.1. Variació de la radiació.
 - 2.2.2. Coordenades terrestres.
 - 2.2.3. Moviments de la terra.
 - 2.2.4. Radiació sobre una superfície plana.
 - 2.2.5. Radiació sobre un pla inclinat.
- 2.3. Aparells de mesura.

Temari (II)

TEMA 3. L'ENERGIA SOLAR TÈRMICA.

3.1. Elements principals d'una instal·lació solar tèrmica de baixa temperatura.

3.1.1. Captadors solars. Eficiència.

3.1.2. Sistema de distribució.

3.1.3. Sistema d'emmagatzematge.

3.1.4. Sistema de suport convencional.

3.2. Tipus d'instal·lacions solars de baixa temperatura.

3.3. Aplicacions de l'energia solar tèrmica de baixa temperatura: Sistemes de calefacció i producció d'aigua calenta sanitària (ACS).

3.4. Dimensionament d'instal·lacions i normativa aplicable.

3.5. Tecnologies de mitjana i alta temperatura. Aplicacions.

Classes pràctiques (problemes tipus)

Pràctica 1	Rendiment d'un captador solar tèrmic de baixa temperatura.
Pràctica 2	Simulació dinàmica per a projectar i optimitzar una instal·lació solar tèrmica ACS mitjançant programari comercial.
Pràctica 3	Miniprojecte d'una instal·lació solar tèrmica ACS.

Temari (III)

TEMA 4. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.

4.1. Panells fotovoltaics.

4.1.1. Components del panell.

4.1.2. Fabricació de panells.

4.1.3. Caracterització del panell: Corbes I-V i la seua dependència amb la temperatura i la radiació incident.

4.1.4. Eficiència del panell.

4.1.5. Tipus.

4.1.6. Procediment de certificació.

4.2. Sistemes fotovoltaics.

4.2.1. Components del sistema: bateries, reguladors, convertidors CC/CC, inversors (CC/CA).

4.2.2. Tipus de sistemes fotovoltaics.

4.2.2.1. Sistema fotovoltaic autònom centralitzat i descentralitzat.

4.2.2.2. Sistema fotovoltaic connectat a xarxa.

4.2.2.3. Sistema híbrid.

4.3. Aplicacions.

4.4. Dimensionament d'instal·lacions i normativa aplicable.

Classes pràctiques (problemes tipus)

Pràctica 4	Caracterització elèctrica d'una instal·lació fotovoltaica – Part I
Pràctica 5	Caracterització elèctrica d'una instal·lació fotovoltaica – Part II.
Pràctica 6	Simulació dinàmica per a projectar i optimitzar una instal·lació solar fotovoltaica autònoma mitjançant programari comercial.

Temari (IV)

TEMA 5: ALTRES TIPUS D'ENERGIES RENOVABLES

5.1. Energia eòlica.

5.1.1. Funcionament d'un aerogenerador.

5.1.2. Components d'un aerogenerador.

5.1.3. Tipus d'aerogeneradors.

5.1.4. Aplicacions.

5.2. Biomassa.

5.2.1. Concepte i principi de funcionament.

5.2.2. Fonts de biomassa.

5.2.3. Tractament de la biomassa.

5.2.4. Producció d'electricitat a partir de biomassa.

5.3. Energies del mar, geotèrmica i hidràulica.

5.3.1. Concepte i principi de funcionament.

5.3.2. Aplicacions.

5.4. Pila de combustible.

5.4.1. Concepte i principi de funcionament.

5.4.2. Tipus.

5.4.3. Aplicacions.

Pràctica 7

Seminari-Taller: Presentació d'algun dels tipus d'energies renovables (biomassa, energies del mar, geotèrmica i hidràulica o piles de combustible)

Metodologia i avaluació de l'aprenentatge

- Al llarg del curs l'estudiant ha de realitzar un miniprojecte (MP) i un seminari-taller (ST):
 - En el miniprojecte s'avaluarà tant la documentació presentada com la corresponent exposició (PowerPoint) i defensa pública. Es qualificarà de forma única el grup i tots els seus membres obtindran la mateixa nota en aquesta part.
 - En el seminari-taller s'avaluarà el grau de preparació, la qualitat de la presentació (PowerPoint), la claredat de l'exposició, així com el rigor en el torn de respostes. Es qualificarà de forma única al grup i tots els seus membres obtindran la mateixa nota en aquesta part.

L'assistència a les sessions de laboratori, l'exposició, defensa i presentació de la documentació del MP i la realització del ST es consideraran **activitats no recuperables i obligatòries per a la superació de l'assignatura**. Serà requisit imprescindible per poder superar l'assignatura una **assistència superior al 80%** a les sessions de laboratori, així com **obtenir un mínim de 4/10 tant en la part del MP com del ST**.

Metodologia i avaluació de l'aprenentatge

- Sistema d'Avaluació Contínua o en Primera Convocatòria :
 - Al llarg del curs es faran **dos controls (CTR1, CTR2)** que contindran **qüestions teoricopràctiques i de laboratori**. Cadascun d'aquests controls té un **pes del 20% en la nota final**. Serà requisit imprescindible per poder superar l'assignatura per avaluació contínua obtenir **una mitjana entre els dos controls igual o superior a 4/10**.
 - A més, en convocatòria oficial, es farà un **Examen Final (EF)** de problemes de tot el temari de l'assignatura, amb un **pes del 40%** en la nota final. Serà requisit imprescindible per a poder superar l'assignatura per avaluació contínua obtenir **un mínim de 4/10 en aquest examen**.

$$\text{NOTA} = 0,20 \times \text{CTR1} + 0,20 \times \text{CTR2} + 0,40 \times \text{EF} + 0,15 \times \text{MP} + 0,05 \times \text{ST}$$

Metodologia i avaluació de l'aprenentatge

- Sistema d'avaluació en segona convocatòria:
 - Realització d'un **examen final de Teoria-Problemes-Laboratori (EF) amb un pes del 80%**.
 - La nota final de l'assignatura s'obtindrà de la forma:

$$\text{NOTA} = 0,80 \times \text{EF} + 0,15 \times \text{MP} + 0,05 \times \text{ST}$$

Pràctiques

Lab. 3.1.8

6	16-oct-2017	17-oct-2017	18-oct-2017	19-oct-2017	20-oct-2017
	9:00-10:00 DCTRL 10:00-11:00 11:00-11:30 11:30-12:30 DCTRL-L1 SST-L2 12:30-13:30 13:30-14:30	TDS EA II-L2	EA II EA II-L1 ER-L3	SST SST-L1 ER-L2 DCTRL-L3	ER ER-L1 DCTRL-L2 SST-L3
7	23-oct-2017	24-oct-2017	25-oct-2017	26-oct-2017	27-oct-2017
	9:00-10:00 DCTRL 10:00-11:00 11:00-11:30 11:30-12:30 DCTRL-L1 SST-L2 TDS-L3 12:30-13:30 13:30-14:30	TDS TDS-L1 EA II-L2	EA II EA II-L1 TDS-L2 ER-L3	SST FORO EMPLEO	ER ER-L1 DCTRL-L2 SST-L3 TDS-L4
8	30-oct-2017	31-oct-2017	1-nov-2017	2-nov-2017	3-nov-2017
	9:00-10:00 DCTRL 10:00-11:00 11:00-11:30 11:30-12:30 EA II 12:30-13:30 13:30-14:30 AFC	TDS SST AFC		SST SST-L1 ER-L2 DCTRL-L3	ER DCTRL
9	6-nov-2017	7-nov-2017	8-nov-2017	9-nov-2017	10-nov-2017
	9:00-10:00 DCTRL 10:00-11:00 11:00-11:30 11:30-12:30 DCTRL-L1 SST-L2 TDS-L3 12:30-13:30 13:30-14:30	TDS TDS-L1 EA II-L2	EA II EA II-L1 TDS-L2 ER-L3	SST SST-L1 ER-L2 DCTRL-L3	ER ER-L1 DCTRL-L2 SST-L3 TDS-L4
10	13-nov-2017	14-nov-2017	15-nov-2017	16-nov-2017	17-nov-2017
	9:00-10:00 DCTRL 10:00-11:00 11:00-11:30 11:30-12:30 DCTRL-L1 SST-L2 12:30-13:30 13:30-14:30 EA II-L2	TDS EA II-L2	EA II EA II-L1 ER-L3	SST SST-L1 ER-L2 DCTRL-L3	ER ER-L1 DCTRL-L2 SST-L3
11	20-nov-2017	21-nov-2017	22-nov-2017	23-nov-2017	24-nov-2017
	9:00-10:00 DCTRL 10:00-11:00 11:00-11:30 11:30-12:30 DCTRL-L1 SST-L2 TDS-L3 12:30-13:30 13:30-14:30	TDS TDS-L1 EA II-L2	EA II EA II-L1 TDS-L2 ER-L3	SST SST-L1 ER-L2 DCTRL-L3	ER ER-L1 DCTRL-L2 SST-L3 TDS-L4
12	27-nov-2017	28-nov-2017	29-nov-2017	30-nov-2017	1-dic-2017
	9:00-10:00 DCTRL 10:00-11:00 11:00-11:30 11:30-12:30 DCTRL-L1 SST-L2 TDS-L3 12:30-13:30 13:30-14:30 15:00-17:00	TDS TDS-L1 EA II-L2	EA II EA II-L1 TDS-L2 ER-L3	SST SST-L1 ER-L2 DCTRL-L3 AFC	ER ER-L1 DCTRL-L2 SST-L3 TDS-L4
13	4-dic-2017	5-dic-2017	6-dic-2017	7-dic-2017	8-dic-2017
	9:00-10:00 DCTRL 10:00-11:00 11:00-11:30 11:30-12:30 EA II 12:30-13:30 13:30-14:30	TDS SST			
14	11-dic-2017	12-dic-2017	13-dic-2017	14-dic-2017	15-dic-2017
	9:00-10:00 DCTRL 10:00-11:00 11:00-11:30 11:30-12:30 DCTRL-L1 SST-L2 TDS-L3 12:30-13:30 13:30-14:30	TDS TDS-L1 EA II-L2	EA II EA II-L1 TDS-L2 ER-L3	SST SST-L1 ER-L2 DCTRL-L3	ER ER-L1 DCTRL-L2 SST-L3 TDS-L4
15	18-dic-2017	19-dic-2017	20-dic-2017	21-dic-2017	22-dic-2017
	9:00-10:00 DCTRL 10:00-11:00 11:00-11:30 11:30-12:30 EA II 12:30-13:30	TDS SST	EA II TDS	SST ER (hasta las 14h)	ER DCTRL

Bibliografía

□ Referències bàsiques:

- Referència b1: Pareja Aparicio, M., “Radiación solar y su aprovechamiento energético”, Editorial Marcombo, 2010. ISBN: 978-84-267-1559-3 (llibre electrònic).
<http://www.digitaliapublishing.com/a/17146/radiaci-n-solar-y-su-aprovechamiento-energ-tico>
- Referència b2: González Velasco, J., “Energías Renovables”, 1ª Edición, Editorial Reverté, S.A, 2009. ISBN: 978-84-291-9312-1 (llibre electrònic).
http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=1492
- Referència b3: Méndez Muñiz, J. M., “Energía Solar Térmica”, 3ª Edición, FC EDITORIAL, 2011. ISBN: 978-84-156-8375-9 (llibre electrònic).
<http://www.digitaliapublishing.com/a/37870/energ-a-solar-t-rmica--3--ed.->
- Referència b4: M.Ibáñez Plana, J.R. Rosell Polo, J.I. Rosell Urrutia, “Tecnología Solar”, Ediciones Mundi-Prensa, 2005, ISBN: 84-8476-199-1
- Referència b5: Méndez Muñiz, J. M., “Energía Solar fotovoltaica”, 7ª Edición, FC EDITORIAL, 2011. ISBN: 978-84-156-8374-2 (llibre electrònic).
<http://www.digitaliapublishing.com/a/37869/energ-a-solar-fotovoltaica--7--ed.->
- Referència b6: M. Alonso Abella, “Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica”. SAPT Publicaciones Técnicas, 2005. ISBN: 8486913128
- Referència b7: Fernández Salgado, J. M., “Guía completa de la energía eólica”. AMV Ediciones, 2011. ISBN: 978-84-967-0966-9

Tema 1: Introducció a les energies renovables.



Tema 1: Introducció a les Energies Renovables.

Estimació: 3 hores presencials i 2 hores no presencials

- 1.1. Concepte d'energia renovable.
- 1.2. Classificació de les energies renovables.
- 1.3. Repercussió en el medi ambient.
- 1.4. Legislació aplicable.
 - 1.4.1. Directives europees.
 - 1.4.2. Pla energètic nacional.

Objectius

- Conèixer la definició conceptual d'energia, les seues unitats i les diferents formes d'energia.
- Conèixer el concepte d'energia renovable i no renovable. Conèixer les principals fonts d'energia renovable.
- Conèixer els avantatges mediambientals, estratègics i socioeconòmics de les energies renovables.
- Conèixer la legislació aplicable a les energies renovables.

1.1. Concepte d'energia renovable.

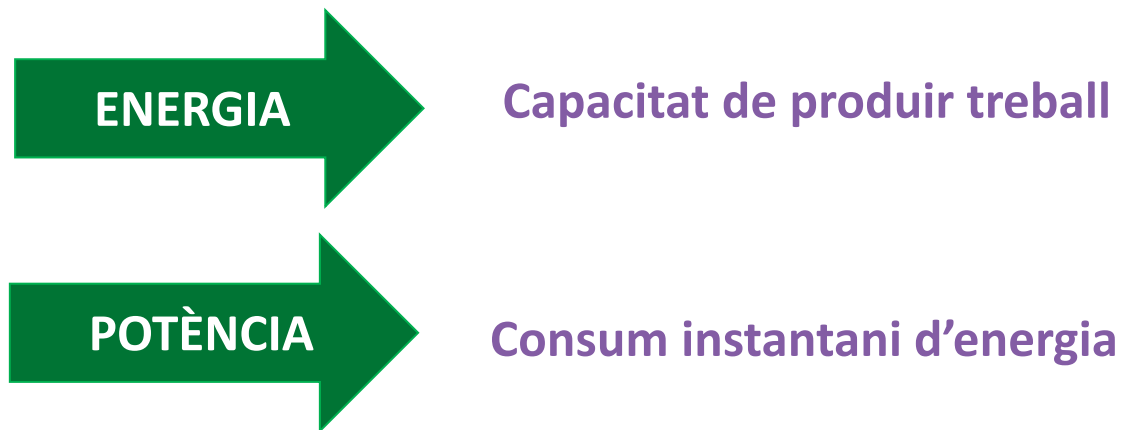


Concepte d'energia

Energia: “Capacitat que té un cos o sistema per a, en un determinat instant, transformar-se modificant el seu estat o situació, així com actuar sobre altres cossos, originant-hi transformacions. Es tracta, doncs, de la **capacitat que té el cos o sistema de realitzar un treball**”.

Treball: “Producte (escalar) de la força aplicada pel desplaçament produït”.

Potència: “Treball realitzat per unitat de temps”.



Energia: $1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$ (1 joule = 1 newton per 1 metre)

Potència: $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ (1 watt = 1 joule dividit per 1 segon)

Concepte d'energia

Altres unitats de mesura de l'energia :

- L'energia i el treball són magnituds equivalents, per la qual cosa es mesuren en les mateixes unitats. La unitat d'energia en el Sistema Internacional és el **joule**, i es representa per J .
- Quan intervé la calor, la unitat utilitzada és la **caloria**, i es representa per **cal**. En ser una unitat menuda, se sol usar la **quilocaloria** (kcal). $1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal}$ o $1 \text{ cal} = 4,1869 \text{ J}$.
- L'energia **primària**⁽¹⁾ moltes vegades s'expressa en *barrils equivalents de petroli* (*bep*, realment en tones - **Tep**); amb això es pretén donar a entendre l'energia produïda en la combustió d'un barril de petroli.
 - Com que un barril conté 160 litres, o equivalentment 137 kg ($\rho \approx 0,86 \text{ kg/l}$) $\rightarrow 1 \text{ Tep} = 7,2 \text{ barrils (bep)}$, que en cremar-se produeixen $4,17 \times 10^{10} \text{ J}$ en forma de calor.
- La unitat de potència en el Sistema Internacional és el **watt**, i es representa per W . $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ o $1 \text{ J} = 1 \text{ W}\cdot\text{s}$. Per a mesurar la potència de les centrals elèctriques, s'utilitza el **megawatt (MW)**, que són 1000 kW.
- Per a mesurar el consum energètic, s'utilitza el **quilowatt-hora**, i es representa per **kWh**.

Activitat 1

- a) Un habitatge unifamiliar utilitza 1,2 GJ d'energia al mes per a obtenir aigua calenta. Quants kWh són?
- b) Els biocombustibles contribueixen amb 8,5 EJ ($8,5 \times 10^{18}$ J) al consum anual d'energia primària a l'Índia. Quina quantitat de petroli estalvia aquest país a l'any a causa de la utilització de biocombustible?

Nota: Recordeu que $1 \text{ Tep} = 7,2 \text{ bep}$, que en cremar-se produeixen $4,17 \times 10^{10}$ J en forma de calor.

Formes d'energia

Forma	Definició
E. mecànica	Associada al moviment d'una massa (cinètica) o deguda al fet que sobre aquesta massa actua una força dependent de la posició (potencial).
E. calòrica o tèrmica	Associada a la vibració de molècules d'un cos. Una mesura del nivell tèrmic d'un cos és la seua temperatura. En posar en contacte dos cossos a diferent temperatura, es produeix una transferència d'energia cinètica des de les partícules que es mouen més ràpidament a les més lentes, fins que l'energia cinètica mitjana de totes les partícules s'iguala, és a dir, fins que s'aconsegueix l'equilibri tèrmic.
Energia elèctrica	És la que es produeix pel moviment d'electrons a través d'un conductor
E. electro-magnètica	Transportada per les ones electromagnètiques, i que pot interpretar-se com l'energia que transporta el fotó, la partícula associada a les ones electromagnètiques. L'energia solar arriba a la terra en forma d'energia electromagnètica.
Energia química	Energia que posseeixen els compostos químics a causa dels enllaços químics que els formen. Exemple: Energia metabòlica (generada pels organismes vius per l'oxidació dels elements que ingereix).
E. nuclear	L'emmagatzemada en els nuclis dels àtoms i que manté units protons i neutrons. S'allibera en les reaccions nuclears, per fissió o fusió nuclear.

Concepte d'energia renovable

Twidell i Weir: *“energia que s’obté a partir de corrents d’energia continus i recurrents en el món natural”.*

Sorensen: *“flux energètic que es restableix al mateix ritme al qual s’utilitza” o bé “l’ús de qualsevol dipòsit d’energia que s’ompli a velocitat comparable a la qual és extreta”.*

Les energies renovables són les que s’obtenen de fonts naturals que, a escala humana, són inesgotables. Això es deu a dues possibles raons:

- 1) el recurs natural utilitzat disposa d’una immensa quantitat d’energia,**
- 2) el recurs utilitzat té la capacitat de regenerar-se.**

Fonts d’energia no renovable són aquelles que s’obtenen a partir d’acumulacions “estàtiques” d’energia, que quan s’extrauen no es recuperen, per tant, la seua disponibilitat és cada vegada més petita. En són exemples els combustibles fòssils (petroli, gas i carbó) o l’energia emmagatzemada en els nuclis dels àtoms (energia nuclear).

1.2. Classificació de les energies renovables.



Classificació de les energies NO renovables

- **Energia fòssil:** la que s'obté de la **combustió** del petroli i els seus derivats, gas natural i carbó mineral (substàncies produïdes en el subsòl a partir de l'acumulació de grans quantitats de residus d'éssers vius, des de fa milions d'anys).

Procés de combustió: Quan el combustible i l'oxigen entren en contacte, els electrons que formen part dels enllaços dels primers tendeixen espontàniament a cercar els nivells de menor energia que els subministra l'oxigen, alliberant-se energia en forma de calor.

- **Energia nuclear:** S'allibera en processos de desintegració d'àtoms pesants (isòtops de l'urani i plutoni) per a obtenir àtoms més petits (fissió nuclear). En aquest procés es produeix una transformació d'una petita part de la massa inicial en energia tèrmica, d'acord amb l'equació $E=m \cdot c^2$. Atès que el factor de proporcionalitat entre la massa i l'energia és la velocitat de la llum al quadrat, una mínima transformació de massa dóna lloc a l'emissió d'una quantitat molt gran d'energia, la qual pot transformar-se en electricitat.

Problemes derivats de l'ús d'energies no renovables

- Problemes mediambientals.
- Problemes de sostenibilitat.
- Problemes socials i polítics.

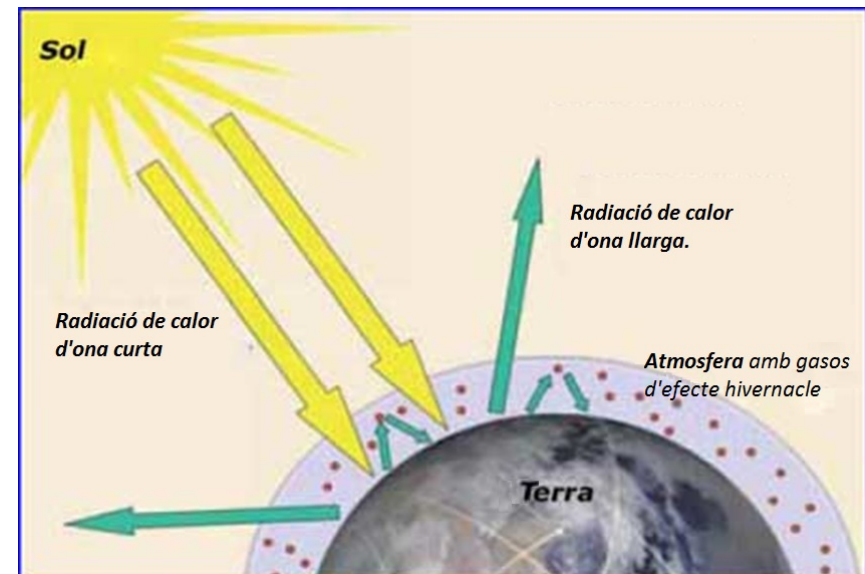
Problemes mediambientals (I)

- ✓ **Escalfament global (efecte hivernacle):** l'increment de la concentració de CO_2 en l'atmosfera com a resultat de la combustió dels combustibles fòssils està correlacionat amb l'augment de la temperatura del planeta.
- ✓ **Pluja àcida:** Els gasos (SO_2 i NO_2) resultat de la combustió dels combustibles fòssils provoquen danys en la vida animal i vegetal, deterioren boscos, erosiona terrenys i edificis i desencadenen o acceleren la corrosió de metalls.
En concret el SO_2 reacciona amb l' O_2 de l'aire formant SO_3 , que amb l'aigua de pluja forma l'àcid sulfúric, que en caure diluït sobre el terra provoca els danys abans esmentats.
- ✓ **Contaminació** dels mars amb residus del petroli i dels rius i aigües subterrànies a causa de les mines de carbó.
- ✓ Els **residus** radioactius relacionats amb l'ús de l'energia nuclear suposen una amenaça per al medi ambient.

Problemes mediambientals (II)

Efecte hivernacle: L'atmosfera és pràcticament transparent a la radiació solar d'ona curta, que és absorbida per la superfície de la Terra. Gran part d'aquesta radiació es torna a emetre cap a l'espai exterior amb una longitud d'ona corresponent als rajos infrarojos, però part d'aquesta és reflectida per gasos com el CO_2 , el metà, l'òxid nítrós, etc., presents en l'atmosfera.

Els gasos d'efecte hivernacle estan presents en concentracions molt xicotetes en l'atmosfera. Qualsevol emissió de CO_2 deguda bé a activitats industrials o bé a l'agricultura és capaç de canviar aquesta proporció significativament, alterant la composició atmosfèrica i la temperatura terrestre.



engormix.com

Problemes de sostenibilitat

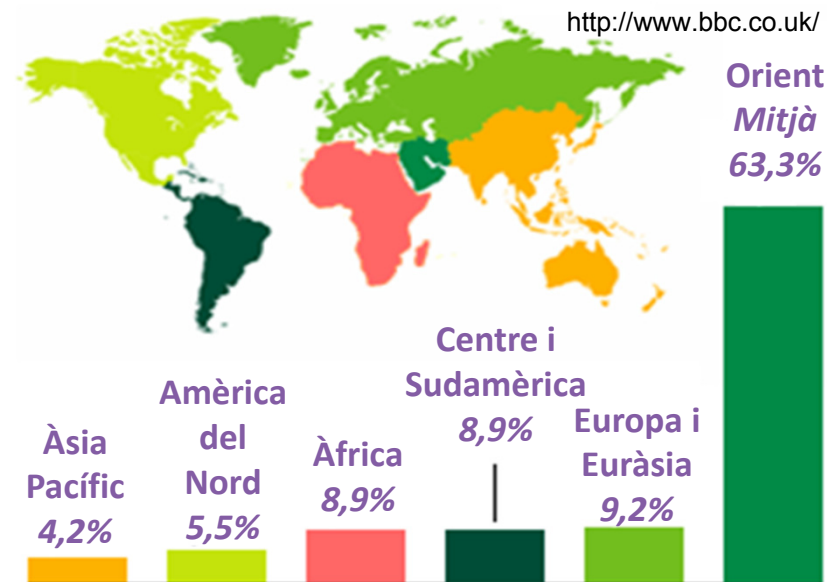
L'ús continuat de combustibles fòssils pot portar a l'esgotament de les seues reserves.

Càlcul estimatiu del nombre d'anys que tardarien a esgotar-se les reserves comprovades de:

- petroli \approx 40 anys
- gas natural \approx 60 anys
- carbó \approx 147 anys

Problemes socials i polítics

- Tensions polítiques i econòmiques en concentrar-se les reserves petrolíferes en determinades àrees del planeta.



- Vulnerabilitat dels grans centres de producció energètica (com centrals tèrmiques, refineries, tancs petrolers, etc.) davant d'atacs militars o terroristes.
- Risc que països conflictius puguin accedir a materials que els permeten fabricar bombes nuclears amb el pretext de generar energia.

Activitat 2

A Espanya es produeix energia elèctrica a un ritme de 114 GW . Si el consum fóra igual a la producció:

- a) Quanta energia expressada en joules es consumiria anualment?
- b) Si cada habitatge tinguera un consum anual de 1000 m³ de gas natural i de 3000 kWh en forma d'electricitat i, suposant que el nombre aproximat d'habitatges a Espanya fóra de 13 milions, calculeu l'energia que es consumiria en el sector domèstic.
- c) Quin percentatge de despesa total nacional d'energia procediria del sector domèstic?

Nota: El poder calorífic del gas natural és de 38,4 MJ/m³ a la pressió de subministrament.

Activitat 3

Una determinada bateria d'automòbil (12 V), quan es troba en la seua màxima càrrega, pot subministrar 40 Ah.

- a) Calculeu en joules i en kWh la quantitat d'energia que pot alliberar i, suposant que té una massa de 10 kg, determineu la seua densitat d'energia.
- b) Els vehicles elèctrics utilitzen bateries en comptes de gasolina com a font d'energia. Calculeu quantes bateries, del model indicat en l'enunciat, serien necessàries per a emmagatzemar la mateixa quantitat d'energia que subministren 40 litres de petroli, tenint en compte que el seu poder energètic és de 36 MJ per cada litre.

Nota: la densitat de petroli és de 0,86 kg/l.

Fonts d'energia renovable

Les fonts on s'originen les energies renovables són:

- El sol (radiació solar).
- La gravetat conjuntament amb la rotació de la Terra.
- La calor interna de la Terra.
- L'hidrogen.

Classificació de les energies renovables

- a) D'origen solar directe:
 - ✓ Energia solar tèrmica.
 - ✓ Energia solar fotovoltaica.

- b) D'origen solar indirecte:
 - ✓ Energia eòlica.
 - ✓ Energia hidràulica.
 - ✓ Energia de l'onatge.
 - ✓ Energia dels corrents marins.
 - ✓ Biomassa, biocarburants i altres combustibles biològics.

- c) Originades per la gravetat i la rotació de la terra: energia mareomotriu.

- d) Originades per la calor interna de la terra: energia geotèrmica.

- e) Hidrogen (piles de combustible).

Breu descripció de les energies renovables

➤ Energia solar tèrmica de baixa temperatura:

La radiació solar calfa un fluid caloportador (generalment aigua) per a proporcionar calefacció o aigua calenta.



➤ Energia solar tèrmica de mitjana-alta temperatura:

La radiació solar genera vapor d'aigua o gas a pressió capaç de fer girar una turbina per a generar energia elèctrica.



➤ Energia solar fotovoltaica:

La radiació solar es transforma directament en energia elèctrica mitjançant dispositius fotovoltaics.

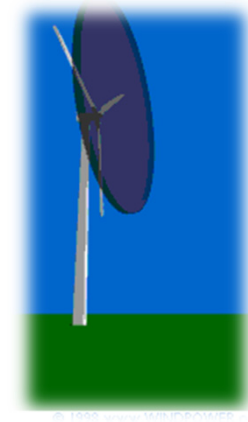


Breu descripció de les energies renovables

➤ Energia eòlica:

La radiació solar calfa de manera diferent les diferents zones de la terra → Aquesta diferència de temperatura és la que provoca el moviment de l'aire.

L'aerogenerador obté la seua potència d'entrada convertint la força del vent en un parell (força de gir) actuant sobre les pales del rotor. L'energia transferida és proporcional al cub de la velocitat del vent i la seua màxima transferència d'energia a les pales és de l'ordre del 59% de l'energia eòlica incident.



- ✓ Els aerogeneradors han passat en tan sols uns anys de tenir una potència de 25 kW als 6.000 kW d'alguns models destinats a eòlica *off-shore*, també anomenada eòlica marina.
- ✓ Per a potències inferiors als 100 kW (àrea de pala inferior a 200 m²) parlem d'**energia minieòlica**.

Breu descripció de les energies renovables

➤ Energia hidràulica:

La radiació solar calfa l'aigua generant núvols que donen lloc a les precipitacions que formen dipòsits d'aigua a diferents altures. S'utilitza l'energia potencial de l'aigua emmagatzemada per a convertir-la, primer en energia mecànica de rotació i després en elèctrica, mitjançant l'ús d'una turbina.



Existeixen fonamentalment dos tipus de centrals hidroelèctriques:

- ✓ **Centrals d'aigua fluent:** Mitjançant una obra de presa, capten una part del cabal circulant pel riu i el condueixen cap a la central per a ser turbinat. Després, aquest cabal és retornat al llit del riu. Aquestes centrals es caracteritzen per tenir un salt útil pràcticament constant, i un cabal turbinat molt variable, dependent de la hidrologia. Per tant, en aquest tipus de central, la potència instal·lada està directament relacionada amb el cabal que passa pel riu.
- ✓ **Centrals de peu de presa,** són aquelles situades aigües avall dels embassaments destinats a usos hidroelèctrics o a altres finalitats (com el proveïment d'aigua a poblacions o regs), i que són susceptibles de produir energia elèctrica. Tenen l'avantatge d'emmagatzemar l'energia (l'aigua) i poder emprar-la en els moments en què més es necessita. Normalment són les que regulen la capacitat del sistema elèctric i amb les quals s'aconsegueix de millor manera el balanç consum/producció.

Breu descripció de les energies renovables

➤ Biomassa:

Utilització de la **matèria orgànica** com a font energètica.

Els **recursos biomàssics** poden agrupar-se de forma general en agrícoles i forestals (la matèria combustible que es considera biomassa està fixada en el RD 661/2007). També es considera biomassa la matèria orgànica de les aigües residuals i els llots de depuradora, així com la fracció orgànica dels residus sòlids urbans (FORSU), i altres residus derivats de les indústries.

Processos per a la **transformació de biomassa en calor i electricitat:**

combustió, digestió anaeròbia, gasificació i piròlisi.



Breu descripció de les energies renovables

➤ **Biocarburants:** combustibles líquids o gasosos per a automoció produïts a partir de biomassa (matèria orgànica biodegradable procedent de cultius energètics i residus agrícoles, forestals, industrials i urbans). En l'actualitat es produeixen a escala industrial tres tipus de biocarburants:

- Biodièsel
- Bioetanol
- Biogàs

Pot ser utilitzat en motors dièsel; es comercialitza a Espanya en estat pur o en mescles amb gasoil entre el 10% i el 30%.



www.appa.com

Breu descripció de les energies renovables

- **Biodièsel:** Produït a partir de la reacció d'olis vegetals o greixos animals amb un alcohol.

Els olis més utilitzats són la “colza”, la soia i el gira-sol, així com els olis usats. L'alcohol més utilitzat en la UE és el metanol, encara que també es pot utilitzar etanol, com es fa majoritàriament al Brasil.

- **Bioetanol:** Es produeix a partir de la fermentació de matèria orgànica amb alts continguts en midó com els cereals i la remolatxa, comunament utilitzats a Europa i els EUA, i la canya de sucre, especialment usada al Brasil.

- **Biogàs:** Gas compost principalment per metà (en un 80–92%) format per la degradació de matèria orgànica en atmosfera lliure (o pobra) d'oxigen, procés conegut com a digestió anaeròbia o metanització. Generalment, les seues característiques de combustió són assimilables a les del gas natural, i poden tenir fins i tot una puresa més gran que aquest.

Breu descripció de les energies renovables

➤ ENERGIES MARINES (I)

○ Energia dels corrents marins:

El desigual escalfament de diferents zones de l'oceà provoca desplaçaments massius d'aigua (corrents marins) que poden convertir-se en electricitat emprant turbines.



consumer.es

○ Energia mareomotriu (marea):

L'efecte conjunt de la gravitació i el moviment del sistema Terra-Lluna-Sol produeix les mareas. S'aprofita l'energia potencial alliberada per l'aigua del mar en els seus moviments d'ascens (plenamar) i descens (baixamar) de les mareas, per a moure unes turbines i produir electricitat en centrals mareomotrius.



renovables-energia.com

Avantatge: Les mareas són molt predictibles.

Inconvenient: es requereixen mareas de més de 6 m.

○ Energia de l'onatge o undimotriu (ones):

Els vents generen ones en mars i oceans que s'utilitzen per a generar electricitat.



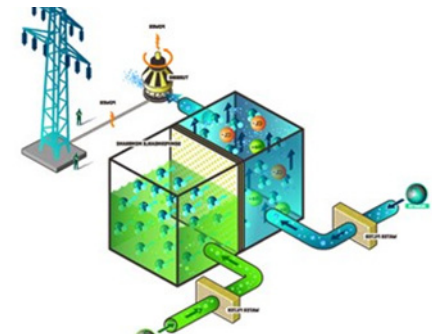
eco13.net

Breu descripció de les energies renovables

➤ ENERGIES MARINES (II)

○ Gradient de salinitat:

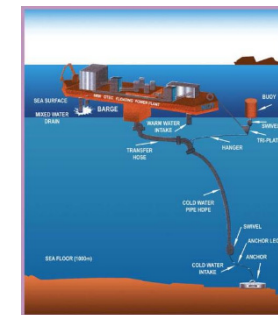
L'energia obtinguda a causa de les diferències de pressió osmòtica (salinitat) entre els rius que desemboquen en el mar i l'aigua salada del mar es denomina energia del gradient salí. Per al seu ús es col·loca una membrana semipermeable en la desembocadura del riu.



<http://greeneconomy.myblog.it>

○ Energia tèrmica oceànica:

Generació d'energia a partir de la diferència de temperatura de l'aigua entre la superfície i les profunditats del mar. Per al seu aprofitament ha d'existir una diferència de com a mínim 20 °C.



www.farodevigo.es

Breu descripció de les energies renovables

➤ Energia geotèrmica:

És l'energia emmagatzemada en forma de calor que es troba sota la superfície de la Terra. Aquesta energia pot aprofitar-se per a la producció directa de calor o per a la generació d'electricitat. És una energia renovable i de producció contínua les 24 hores del dia i, per tant, administrable.



Planta de producció d'energia geotèrmica en les Filipines per: www.wikipedia.com

➤ La pila de combustible:

Dispositiu electroquímic de conversió d'energia similar a una bateria, però es diferencia en el fet que està dissenyat per a permetre l'abastiment continu dels reactius consumits (hidrogen i oxigen) i produir electricitat (i aigua).



nauticaseleamar.com

1.3. Repercussió en el medi ambient.



Diferències entre energies renovables i convencionals

RENOVABLES

- ✓ Netes
- ✓ Inesgotables
- ✓ Autòctones
- ✓ Sense residus
- ✓ Equilibren desajustaments interterritorials

CONVENCIONALS

- ✓ Contaminen
- ✓ Limitades
- ✓ Provoquen dependència exterior
- ✓ Generen residus
- ✓ Utilitzen tecnologia o recursos importats

Avantatges mediambientals de les energies renovables

- Les energies renovables són **inesgotables**, siga per la magnitud del recurs o per la seua regeneració natural.

Fonts d'energia renovable estimades sobre la superfície de la Terra		
Font	Quantitat total	Quantitat recuperable
Radiació solar	90.000 TW	1.000 TW
Vent	1.200 TW	10 TW
Onatge	3 TW	0,5 TW
Marees	30 TW	0,1 TW
Flux geotèrmic	30 TW	-
Collita permanent de biomassa	450 TW any	-
Calor geotèrmica emmagatzemada	10 ¹¹ TW any	> 50 TW any
Energia cinètica emmagatzemada en circulació atmosfèrica i oceànica	32 TW any	-

Nota d'orientació: L'energia primària es consumeix en el món a un ritme d'uns 13 TW.

Avantatges mediambientals de les energies renovables

- L'impacte **mediambiental és mínim** (energies netes) i no generen residus de difícil (i costós) tractament.
- Les energies renovables no produeixen emissions de CO₂ i altres gasos contaminants a l'atmosfera.
En el cas de la bioenergia, la planta en el seu creixement absorbeix el CO₂ que posteriorment emet en la seua combustió.

Comparació de l'impacte ambiental de les diferents maneres de produir electricitat

(Emissions de contaminants per a tot el cicle de combustible. En tones per GWh produït)

FONT	CO ₂	NOX	SO ₂	PARTÍCULES SÒLIDES EN SUSPENSÍO	CO	HIDRO- CARBURS	RESIDUS NUCLEARS	TOTAL
Carbó	1.058,2	2,986	2,971	1,626	0,267	0,102	-	1.066,1
Gas natural (**)	824,0	0,251	0,336	1,176	TR(*)	TR	-	825,8
Nuclear	8,6	0,034	0,029	0,003	0,018	0,001	3,641	12,3
Fotovoltaica	5,9	0,008	0,023	0,017	0,003	0,002	-	5,9
Biomassa	0,0	0,614	0,154	0,512	11,361	0,768	-	13,4
Geotèrmica	56,8	TR	TR	TR	TR	TR	-	56,8
Eòlica	7,4	TR	TR	TR	TR	TR	-	7,4
Solar tèrmica	3,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	3,6
Hidràulica	6,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	6,6

(*) Traces. (**) Gas natural en cicle combinat

L'emissió de la biomassa pressuposa la regeneració anual de la quantitat consumida, la qual cosa succeeix rares vegades.

Font : US Department of Energy, Council for Renewable Energy Education i Worldwatch Institute.

Avantatges estratègics i socioeconòmics

- Les energies renovables són **autòctones**. A diferència dels combustibles fòssils que només existeixen en unes zones limitades, les energies renovables estan disponibles, en major o menor mesura, en tot el planeta.
- Les energies renovables **eviten la dependència exterior**. D'aquesta manera es redueixen les **pèrdues en transport** i es garanteix un subministrament propi de l'energia.
- Les energies renovables **contribueixen decisivament a l'equilibri interterritorial** perquè solen instal·lar-se en zones rurals.
- **Les energies renovables** creen cinc vegades més **llocs de treball** que les convencionals.

Repercussions econòmiques i estalvi energètic

L'ús d'energies renovables permet una “independència energètica” d'empreses i particulars, la despesa de les quals es limita a sufragar la instal·lació i el seu manteniment.

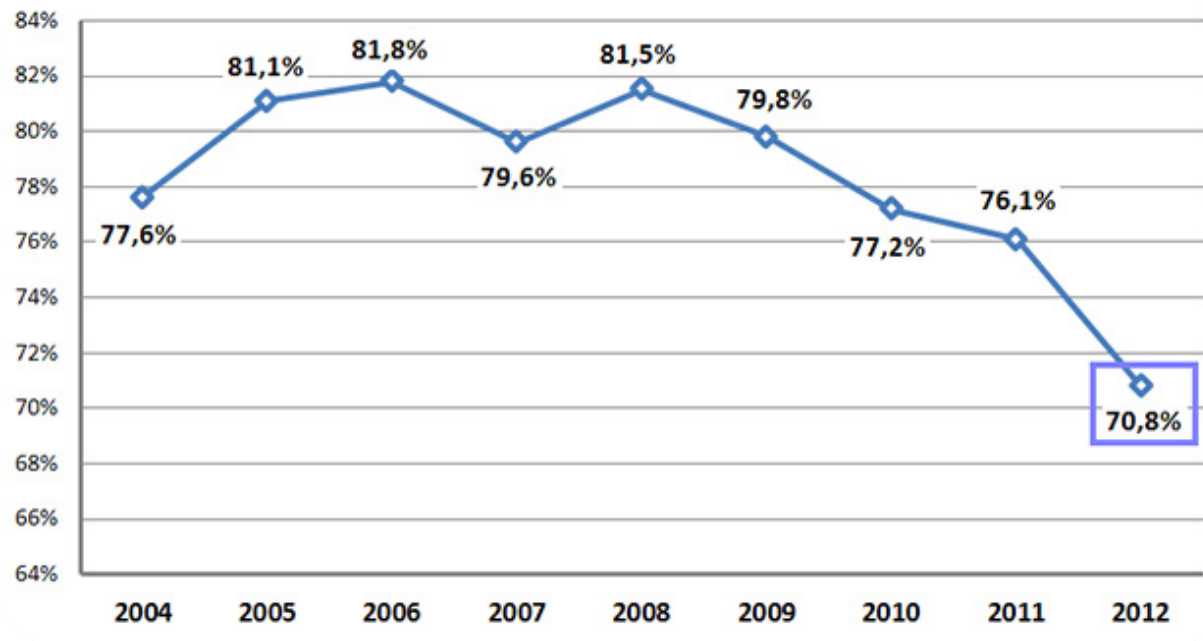
Les instal·lacions d'energies renovables comencen a ser rendibles quan l'estalvi en “energia convencional” iguala el cost de la instal·lació, cosa que requereix un temps de 5 a 7 anys.

Aquest termini d'amortització es redueix per les següents raons:

- a) Les energies renovables tenen el suport de les administracions públiques mitjançant subvencions directes, exempcions fiscals i altres modalitats d'ajuda econòmica.
- b) L'energia convencional és cada vegada més cara: tant directament (preu del petroli) com indirectament (impostos sobre les emissions de CO₂).
- c) L'obligatorietat de les energies renovables en habitatges de nova construcció multiplica el seu nombre i, per tant, en redueix els costos.
- d) Les millores tecnològiques allarguen la vida útil de les instal·lacions.

L'energia a Espanya: Producció nacional i autoabastiment.

- Segons les dades oficials publicades pel Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme (MINETUR) al tancament del 2012, **Espanya depenia de les importacions energètiques per a satisfer el 70,8% de les seues necessitats energètiques.** Aquesta enorme dependència energètica llastra la nostra economia perquè tota la indústria està subjecta als preus marcats pels països exportadors.

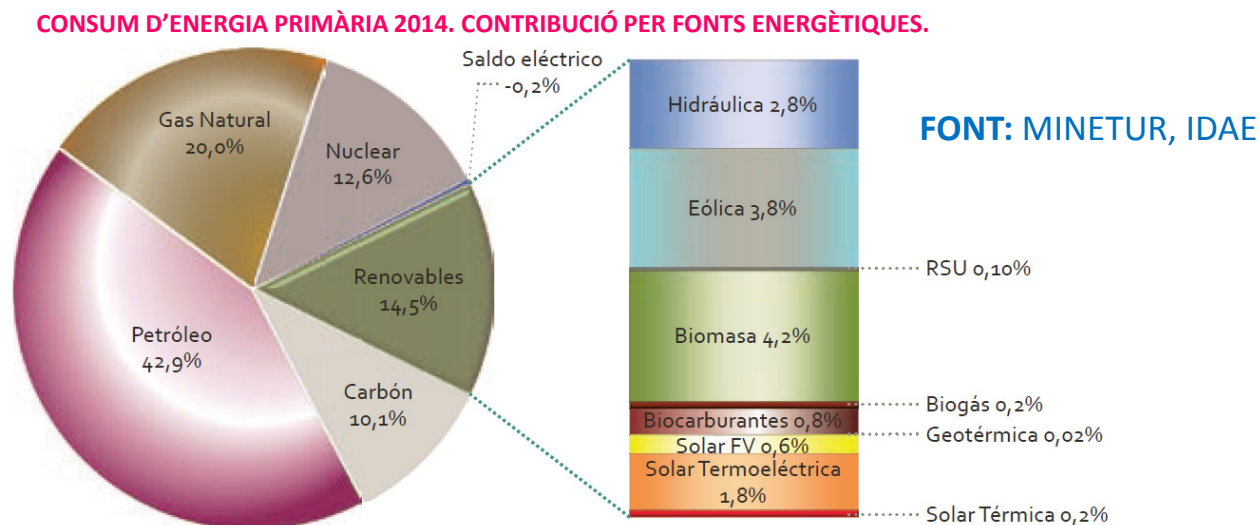


Font: Balanç energètic 2012 MINETUR

⁽¹⁾L'energia primària és tota forma d'energia disponible en la natura abans de ser convertida o processada.

L'energia a Espanya: energia primària.

- L'energia primària⁽¹⁾ utilitzada a Espanya prové, en la seua major part, de combustibles fòssils (petroli, carbó i gas natural); per això és altament contaminant i ens allunya dels compromisos mediambientals.

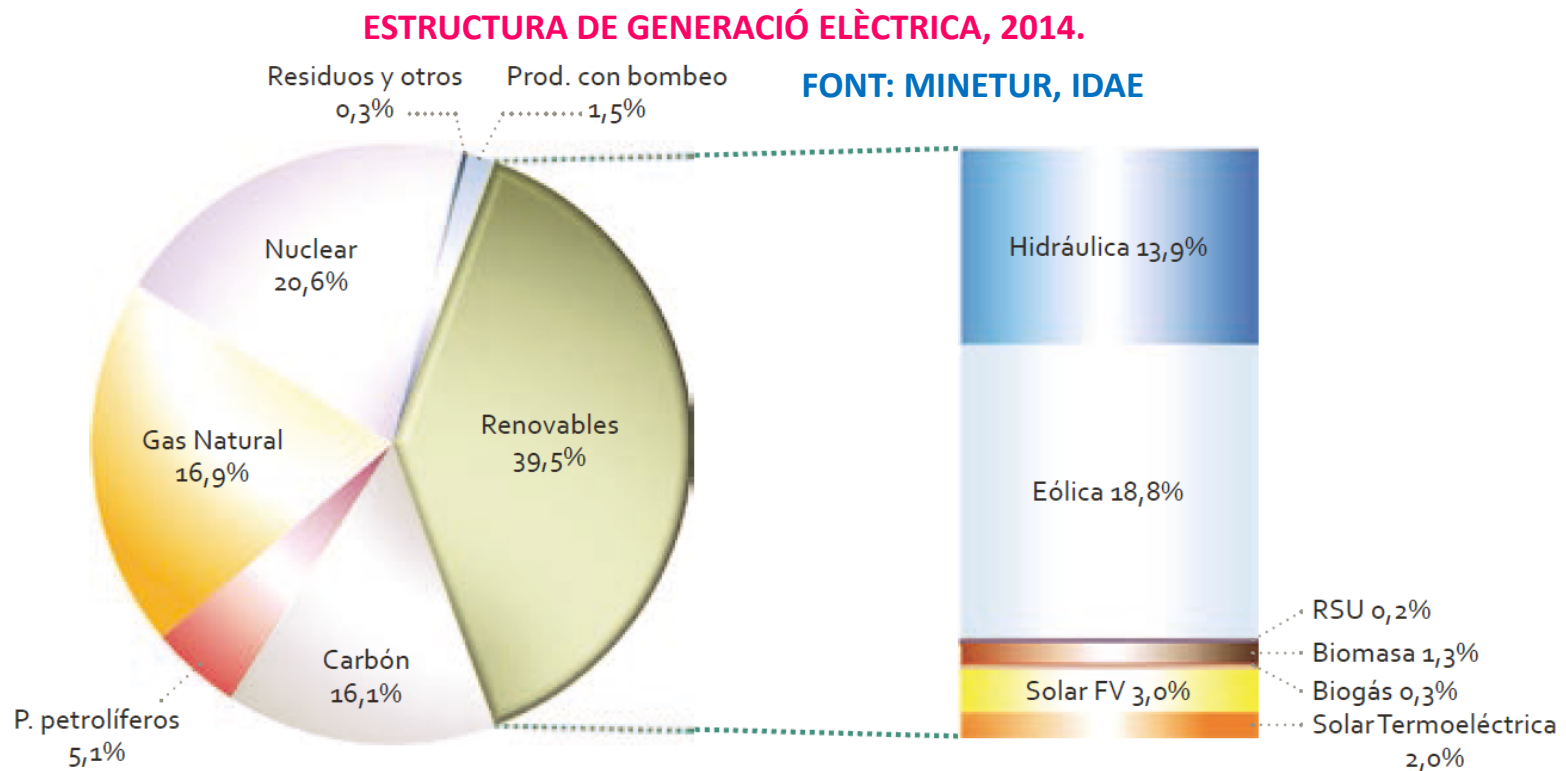


- Per a invertir la tendència, la Unió Europea ha fixat en el 20% el percentatge de consum energètic que ha de procedir de fonts renovables per a l'any 2020. Per a fer-ho realitat, estan en marxa el **Pla d'energies renovables 2011-2020** i el **Pla d'acció d'estalvi i eficiència energètica 2011-2020 (E4)**.

El Govern d'Espanya estima que la participació de les energies renovables en el nostre país l'any 2020 serà del 22,7%, superant així els objectius del 20%.

L'energia a Espanya: producció elèctrica.

Dins del *mix* elèctric espanyol el 2014, les energies renovables estaven al capdavant amb un 39,5% de la generació elèctrica. Hi destaca l'energia eòlica amb un 18,8%.



L'objectiu marcat per la Unió Europea per a la producció d'energia elèctrica procedent d'energies renovables l'any 2020 és del 40%.

Legislació aplicable

- **Directiva 2009/28/CE** del Parlament Europeu i del Consell de 23 d'abril de 2009. Estableix un marc comú per al foment de l'energia procedent de fonts renovables. Aquesta directiva és recollida en la legislació espanyola:
 - Pla d'energies renovables (PER) 2011-2020.
 - Pla d'acció d'estalvi i eficiència energètica 2011-2020.
- Reial decret 314/2006, de 17 de març, en el qual s'aprova el **Codi Tècnic de l'Edificació (CTE)**. Ordre FOM/1635/2013, de 10 de setembre, per la qual s'actualitza el Document Bàsic DB-HE "Estalvi d'Energia", del Codi Tècnic de l'Edificació.
- Més informació sobre legislació de renovables en:
 - <http://www.appa.es/01energias/05legislacionre.php>
 - http://europa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/index_es.htm

Directiva 2009/28/CE del Parlament Europeu i del Consell de 23 d'abril de 2009

Pretén establir un marc comú relatiu a la producció i el foment d'energia procedent de fonts renovables, amb la finalitat de limitar les emissions de gasos d'efecte hivernacle i fomentar un transport més net.

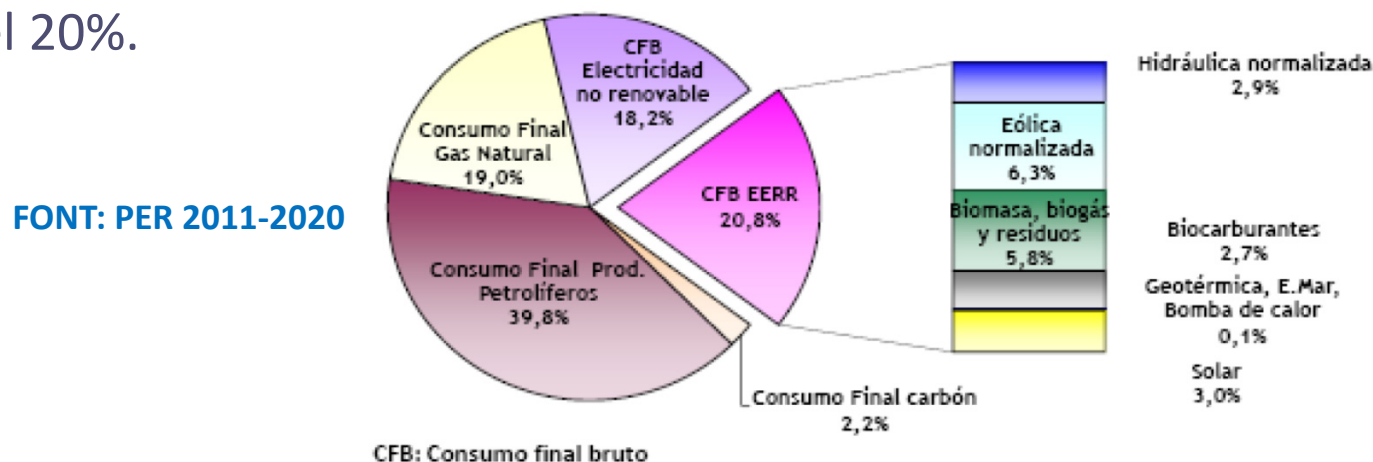
Objectius:

- Cada Estat membre té fixat un objectiu relatiu a la quota d'energia obtinguda de fonts renovables en el consum final brut d'energia per al 2020. Aquest objectiu s'ajusta a l'objectiu **global "20-20-20"** pel qual els Estats membres s'han compromès a **reduir per al 2020 el consum d'energia primària en un 20%**.
- D'altra banda, abans de 2020, la quota d'energia **procedent de fonts renovables en el sector del transport** ha d'arribar a ser **almenys el 10%** del consum final d'energia en aquest sector.

Pla d'energies renovables (PER) 2011-2020

Conclusions principals:

- El PER estima una **aportació de les energies renovables al consum final brut d'energia del 20,8% en 2020** enfront d'un objectiu fixat per la UE del 20%.

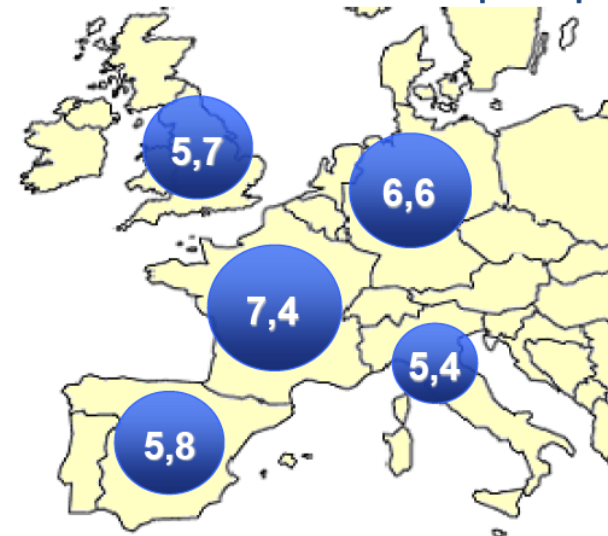


- Preveu una **contribució de les energies renovables a la generació bruta d'electricitat en 2020 del 38,1%** enfront de l'objectiu del 40% fixat per la UE. Planteja la necessitat de canvis substancials en la gestió dels sistemes elèctrics i un major desenvolupament de les interconnexions elèctriques amb Europa per aconseguir l'objectiu de la UE.
- Preveu també un increment del pes de les renovables en la generació elèctrica en un 30%, en un 57% en els usos tèrmics i en un 125% en el transport respecte al 2010.

Pla d'acció d'estalvi i eficiència energètica 2011-2020

Espanya té el mateix consum elèctric per càpita que el Regne Unit, malgrat tenir més hores de llum i una menor renda per càpita, i un consum elèctric per càpita major que Itàlia, tenint similars condicions climàtiques i similar renda per càpita.

Consumo eléctrico MWh per càpita



Fuente: AIE 2008

Con este Plan se alcanzará un:

▶ **Objetivo de Ahorro**
Energía Primaria en 2020 = **20%** = **35.585 ktep anual**
 (respecto a la senda tendencial sin
 medidas de eficiencia) **en 2020**

▶ **Objetivo de Ahorro**
Energía Primaria = **133.000 ktep**
2011-2020 (965 millones de
barriles)

“Presentació MITyC Pla d'Acció d'Estalvi i Eficiència Energètica 2011-2020”

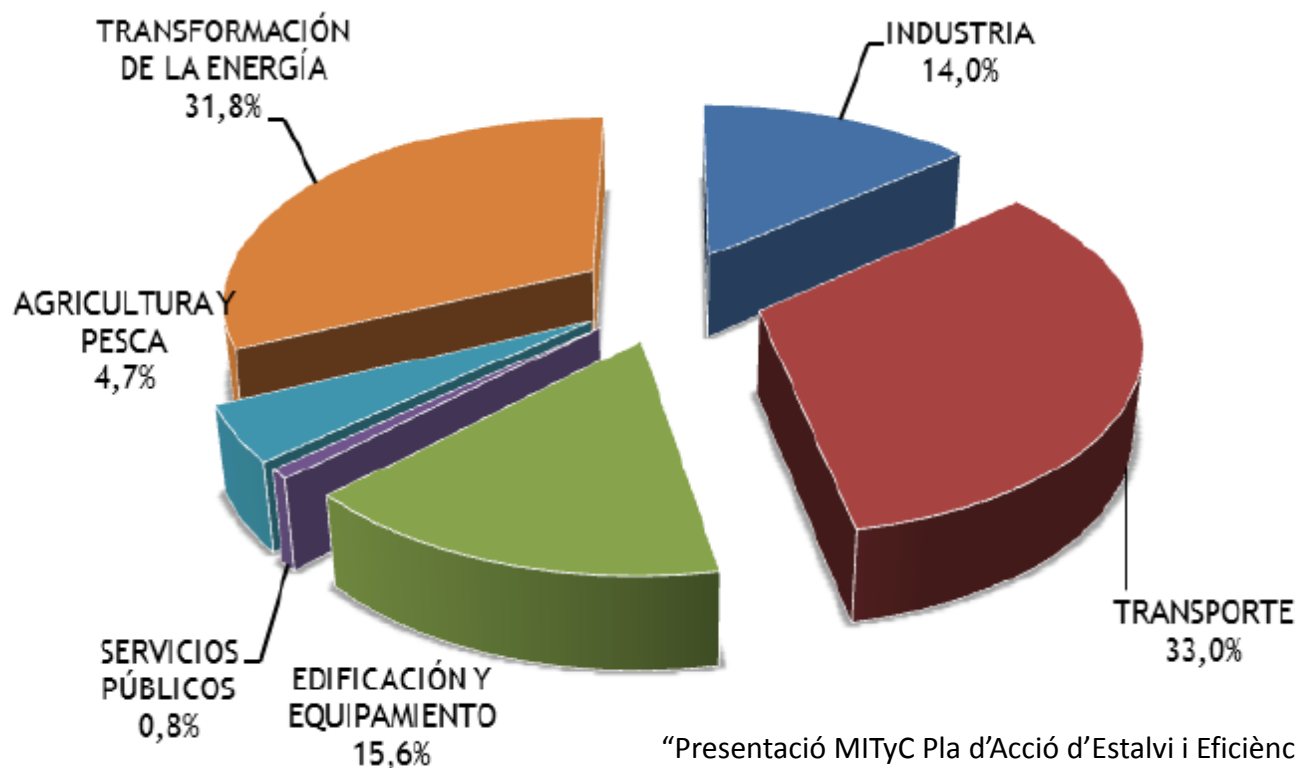
Madrid, 2 d'agost de 2011

www.idae.es

Pla d'acció d'estalvi i eficiència energètica 2011-2020

Per sectors, els estalvis d'energia estaran basats en transport, generació d'electricitat i edificació.

OBJECTIUS D'ESTALVI D'ENERGIA PRIMARIA PER SECTORS (2020)



“Presentació MITyC Pla d'Acció d'Estalvi i Eficiència Energètica 2011-2020”

Madrid, 2 d'agost de 2011

www.idae.es

Codi tècnic de l'edificació (CTE)

- ✓ El **Codi tècnic de l'edificació (CTE)** és el marc normatiu que estableix les exigències que han de complir els edificis en relació amb els requisits bàsics de seguretat i habitabilitat establits en la Llei 38/1999 de 5 de novembre, d'ordenació de l'edificació (LOE).
- ✓ Les **exigències bàsiques** de qualitat que han de complir els edificis es refereixen a matèries de seguretat: seguretat estructural, seguretat contra incendis, seguretat d'utilització; i habitabilitat: salubritat, protecció enfront del soroll i **estalvi d'energia**.
- ✓ El **Document bàsic “DB HE Estalvi d'energia”** especifica els paràmetres, objectius i procediments que s'han de complir per a assegurar la satisfacció del requisit bàsic d'“estalvi d'energia”. Aquest requisit consisteix a **aconseguir un ús racional de l'energia utilitzada en els edificis, reduint-la a límits sostenibles i promovent l'ús d'energies renovables**.

Codi tècnic de l'edificació (CTE)

➤ Els criteris que cal seguir per a cada edifici a projectar es plasmen en les anomenades “exigències bàsiques”:

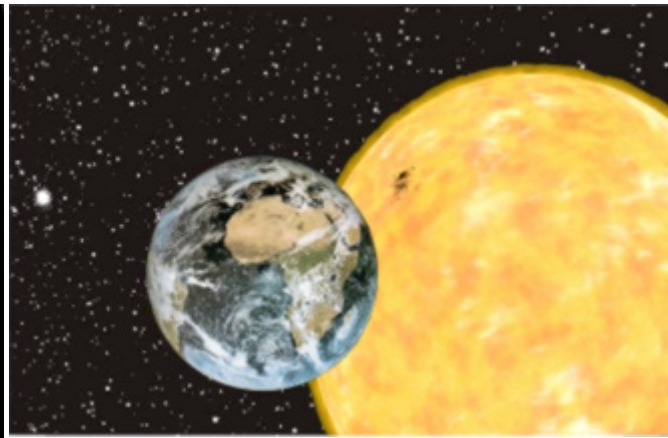
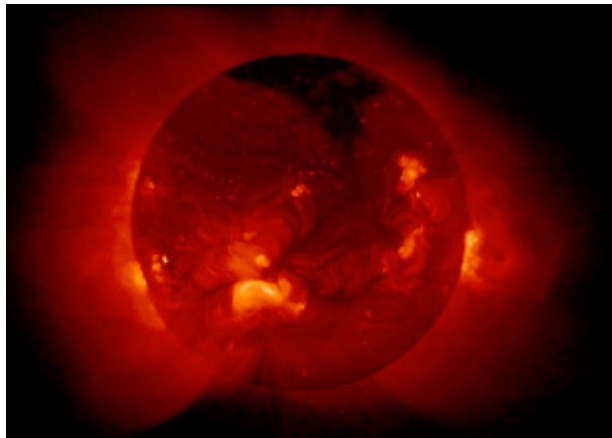
- 1) Exigència bàsica HE 1: Limitació de demanda energètica.
- 2) Exigència bàsica HE 2: Rendiment de les instal·lacions tèrmiques.
- 3) Exigència bàsica HE 3: Eficiència energètica de les instal·lacions d'il·luminació.
- 4) Exigència bàsica HE 4: Contribució solar mínima d'ACS.

“En els edificis, amb previsió de demanda d'aigua calenta sanitària o de climatització de piscina coberta, en els quals així s'establisca en aquest CTE, **una part de les necessitats energètiques tèrmiques derivades d'aquesta demanda es cobrirà mitjançant la incorporació en els edificis de sistemes de captació, emmagatzemament i utilització d'energia solar de baixa temperatura, adequada a la radiació solar global del seu emplaçament i a la demanda d'aigua calenta de l'edifici o de la piscina.** Els valors derivats d'aquesta exigència bàsica tindran la consideració de mínims, sense perjudici de valors que puguin ser establits per les administracions competents i que contribuïsquen a la sostenibilitat, atenent les característiques pròpies de la seua localització i àmbit territorial.

- 5) Exigència bàsica HE 5: Contribució fotovoltaica mínima d'energia elèctrica.

“En els edificis que així s'establisca en aquest CTE **s'incorporaran sistemes de captació i transformació d'energia solar en energia elèctrica per procediments fotovoltaics per a ús propi o subministrament a la xarxa.** Els valors derivats d'aquesta exigència bàsica tindran la consideració de mínims, sense perjudici de valors més estrictes que puguin ser establits per les administracions competents i que contribuïsquen a la sostenibilitat, atenent les característiques pròpies de la seua localització i el seu àmbit territorial.”

Tema 2: La radiació solar.



Tema 2: La radiació solar.

Estimació: 3 hores presencials i 3 hores no presencials

- 2.1. La radiació solar. Espectre de la radiació solar.
- 2.2. Radiació solar en la superfície de la Terra.
 - 2.2.1. Variació de la radiació.
 - 2.2.2. Coordenades terrestres.
 - 2.2.3. Moviments de la terra.
 - 2.2.4. Radiació sobre una superfície plana.
 - 2.2.5. Radiació sobre un pla inclinat.
- 2.3. Aparells de mesura.

Objectius

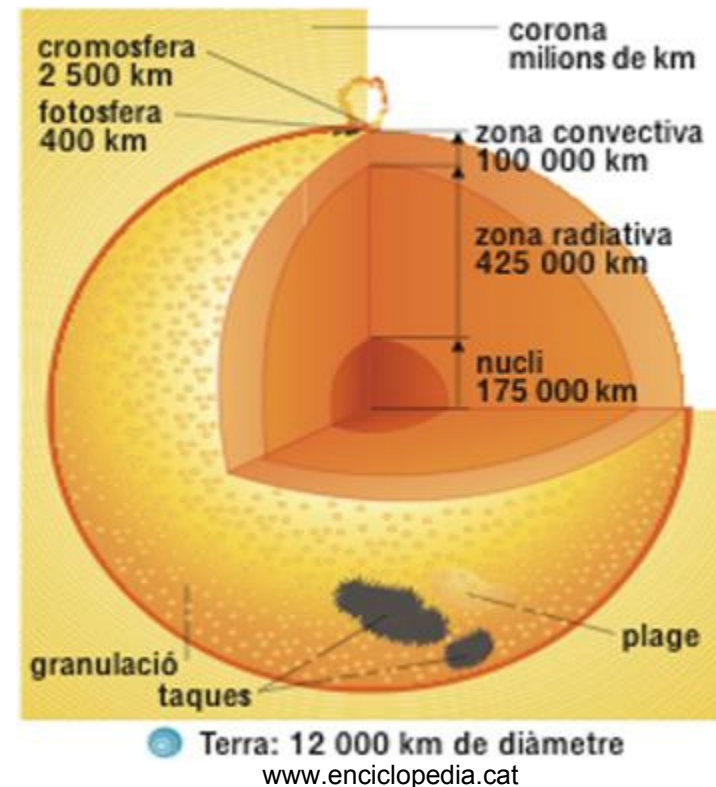
- Descriure el Sol com a font d'energia.
- Conèixer l'efecte atmosfèric sobre la radiació solar.
- Identificar la posició del Sol i el seu efecte sobre la radiació solar.
- Mesura de la radiació solar incident sobre una superfície.
- Estudiar l'efecte de les ombres sobre la radiació solar incident en una superfície plana i inclinada.

2.1. La radiació solar. Espectre de la radiació solar.

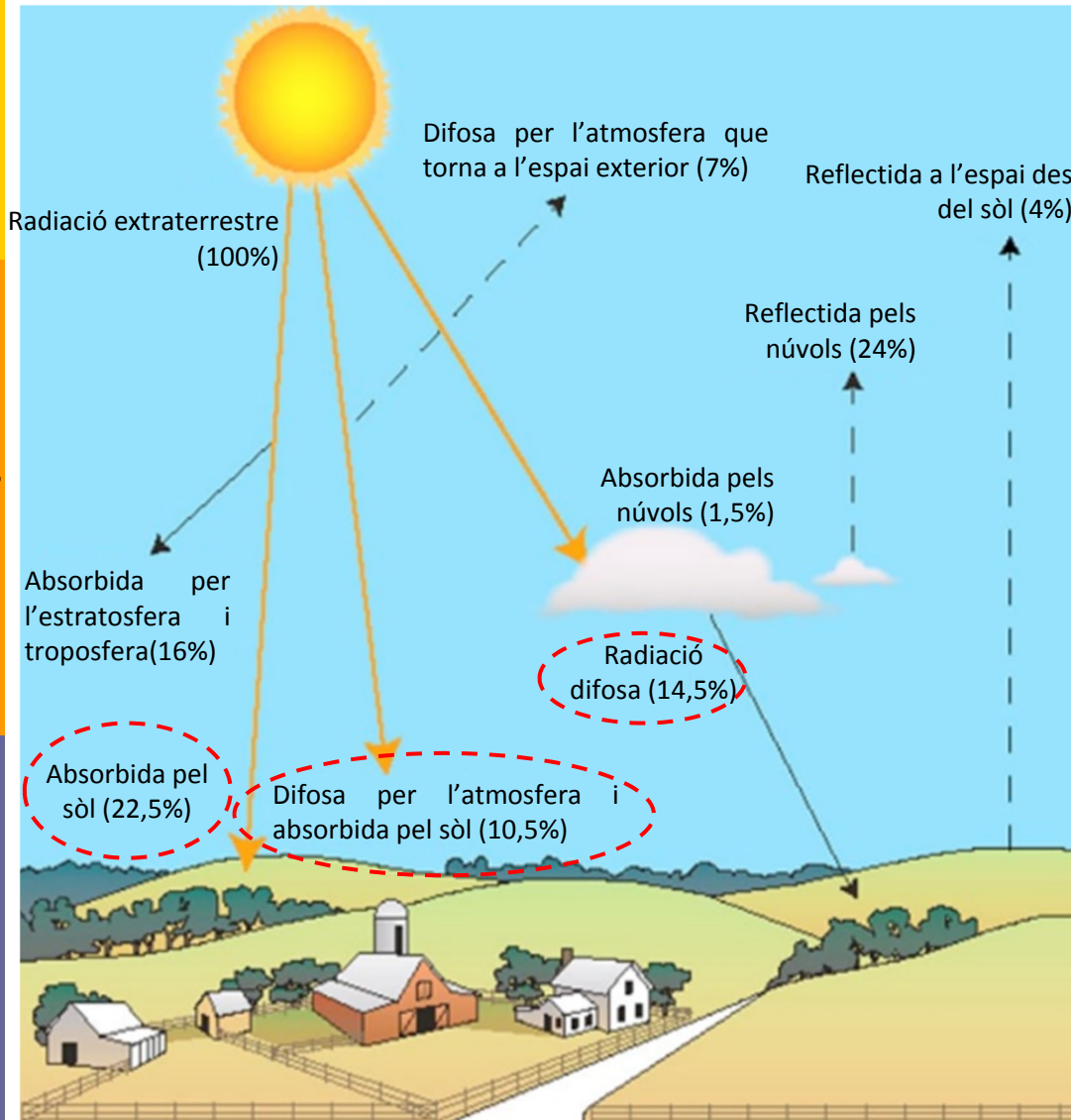


El Sol

- El Sol és una esfera incandescent, constituïda per una mescla gasosa d'hidrogen i heli.
- A l'interior (nucli) la T és d'uns 20 milions de °C i es va reduint fins als 6000 °C en la superfície (fotosfera).
- El seu radi és de 696.000 km (= 109 radis terrestres) i dista uns 149.500.000 km de la Terra (8 min. de viatge a la velocitat de la llum).
- La seua massa és d' $1,98 \times 10^{30}$ kg (333 mil vegades la massa de la Terra) i la seua densitat d' $1,41 \text{ g/cm}^3$ (0,26 la de la Terra).
- Font inesgotable d'energia: El Sol és un enorme reactor nuclear que transforma part de la seua massa en energia ($E=mc^2$) i emet a l'espai una enorme quantitat de radiació electromagnètica, de la qual una part arriba a l'atmosfera terrestre. Aquesta radiació està composta per partícules anomenades fotons que viatgen en el buit a la velocitat de la llum.



La radiació solar



- Cada any la Terra rep al voltant d' $1,5 \times 10^{18}$ kWh d'energia solar, cosa que correspon a 10.000 vegades el consum mundial d'energia en aquest període.
- Per tant, la radiació solar presenta un enorme potencial d'utilització per mitjà de sistemes de captació i conversió en una altra forma d'energia (tèrmica, electricitat, etc.).
- De la radiació que arriba a l'atmosfera terrestre només el 47,5% arriba a la superfície de la Terra.

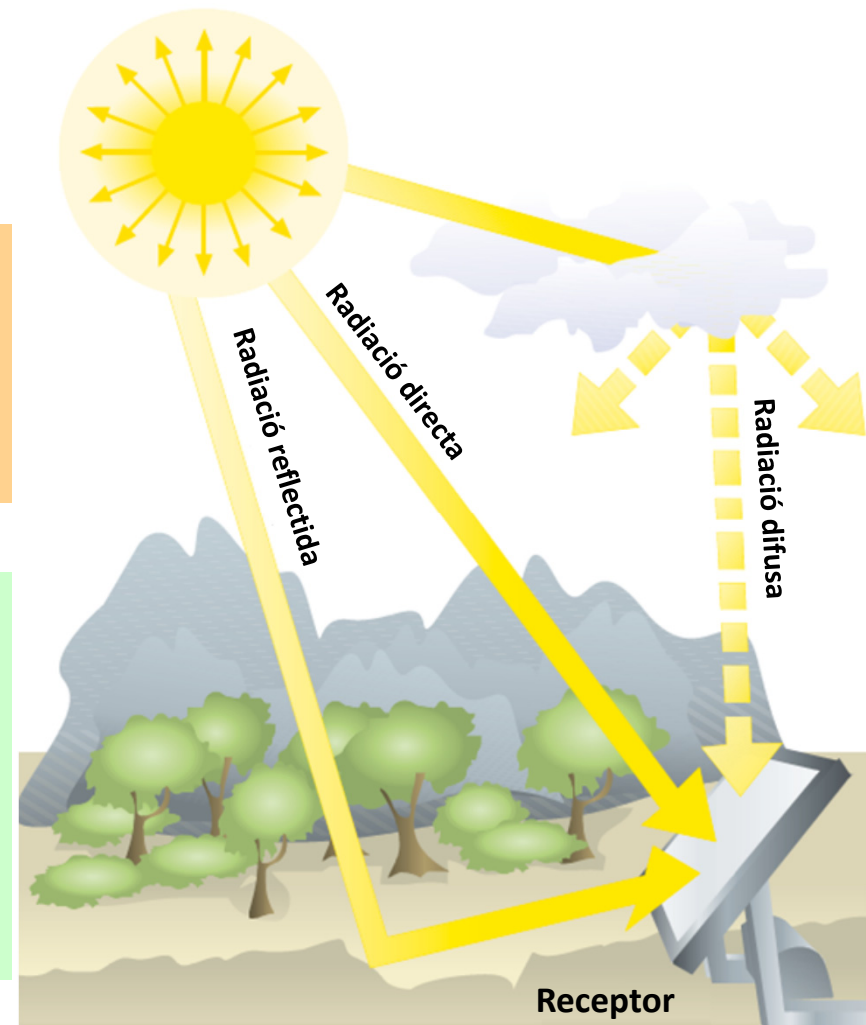
La radiació solar

La radiació que arriba a la superfície d'un receptor pot fer-ho per 3 vies:

1) Radiació directa: La que incideix sobre els objectes il·luminats sense haver interaccionat amb res i sense desviar-se. És la més rellevant en un dia assolellat.

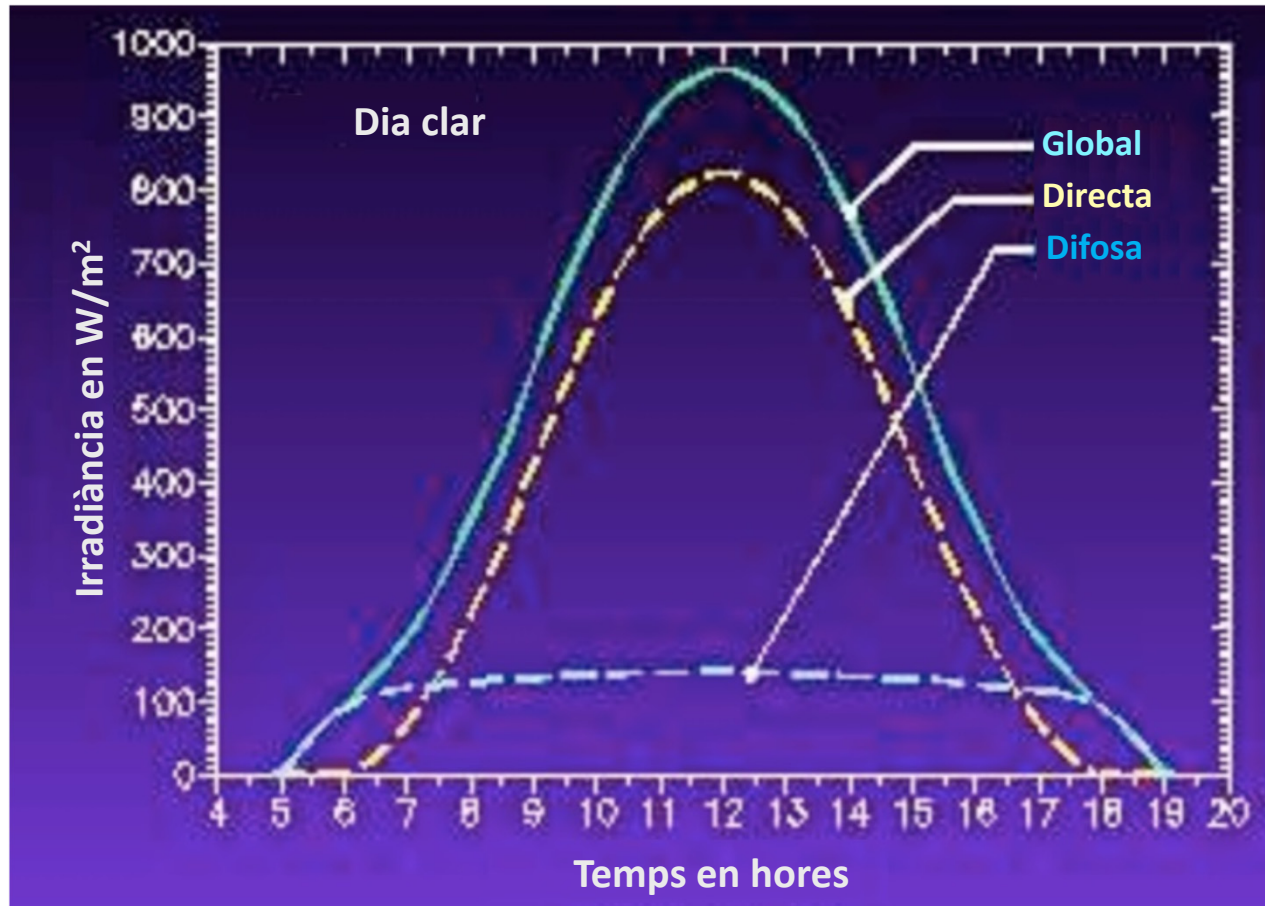
2) Radiació difusa: La que incideix indirectament, en desviar-se els rajos solars a causa de les partícules sòlides i molècules (com el vapor d'aigua) que existeixen en l'atmosfera. És important en dies ennuvolats.

3) Radiació reflectida o albedo: És la radiació directa o difusa que es rep per reflexió en el terra o superfícies pròximes.



La radiació solar

Irradiància en un dia clar per a una superfície plana horitzontal



Radiació
GLOBAL

=

Radiació
Directa

+

Radiació
Difusa

+

Radiació
Reflectida

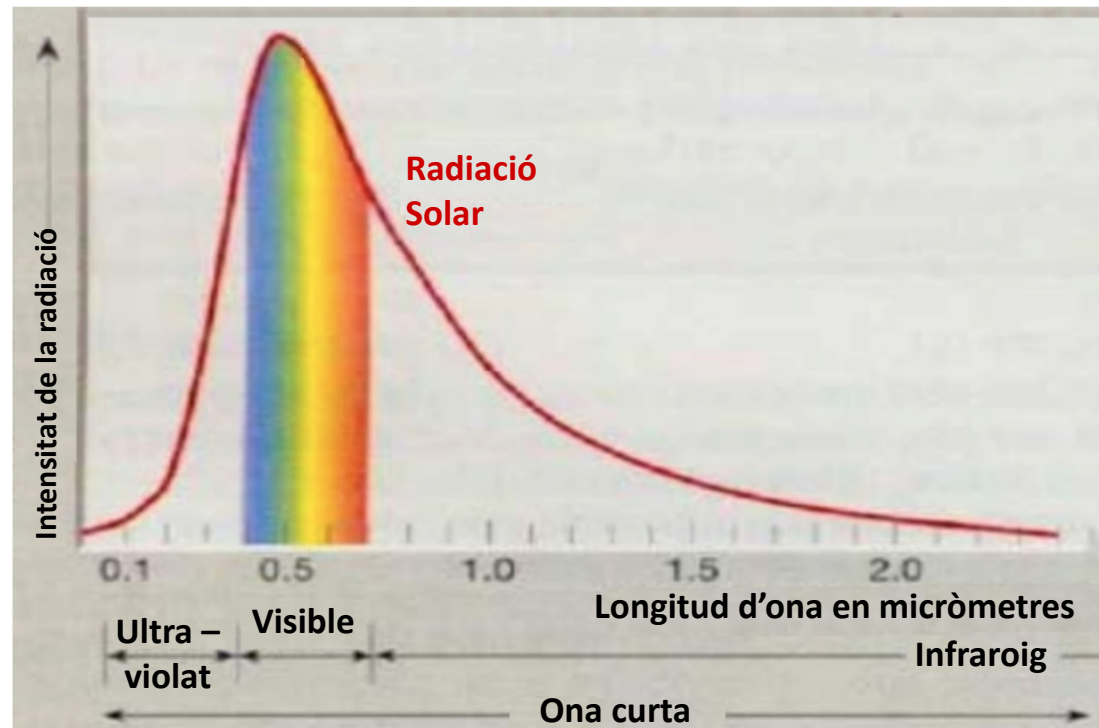
La radiació solar

- Coeficient de reflexió o albedo: $r = \frac{\text{Radiació solar reflectida}}{\text{Radiació solar incident}}$

SUPERFÍCIE	ALBEDO (%)
Neu fresca	80 a 95
Neu vella	42 a 70
Llacs coberts de gel	10 a 46
Solc sorrenc sec	25 a 45
Sòl nu fosc	16 a 17
Sòl argilenc sec	20 a 35
Superfície del mar	7 a 14
Pastura	24
Plantació de dacsa	22
Pastures	25
Bosc caducifoli	18
Bosc de coníferes	16
Bosc d'eucaliptus	19
Bosc tropical	13
Plantació de tarongers	16

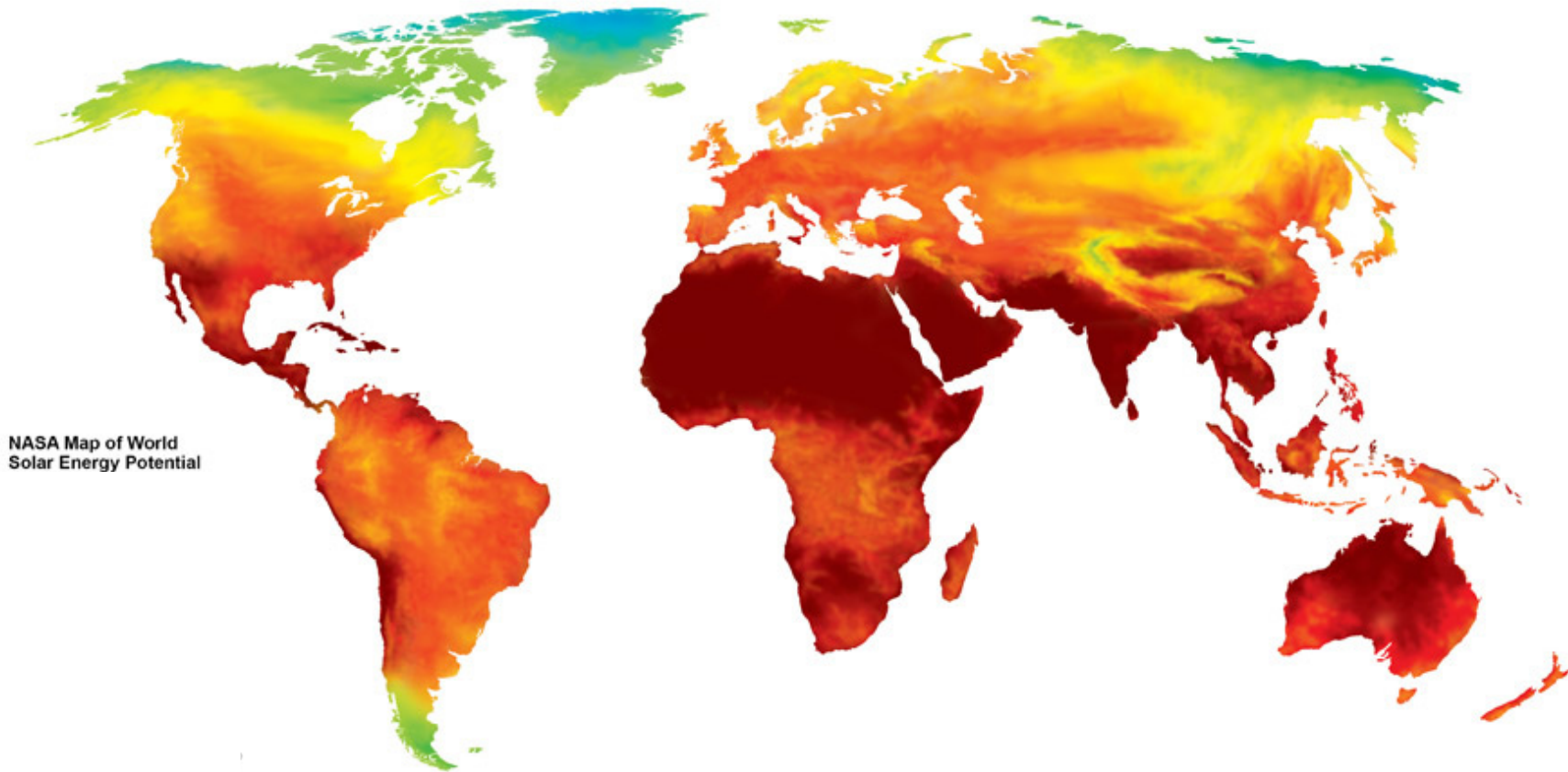
Distribució espectral de la radiació solar

- L'espectre de la llum solar en l'exterior de l'atmosfera sembla al d'un cos negre de $T = 5780 \text{ K}$.
- Conté fotons a totes les energies d'acord amb una distribució de potència en funció de la longitud de l'ona des de l'infraroig (molt abundants 46%, però poc energètics) fins a l'ultraviolat (molt poc abundants 7%, però molt energètics); aproximadament **el 47% de l'energia està en la zona visible de l'espectre**.



Definicions

- **Irradiància:** Potència de la radiació solar rebuda per unitat de superfície. S'expressa en W/m^2 .



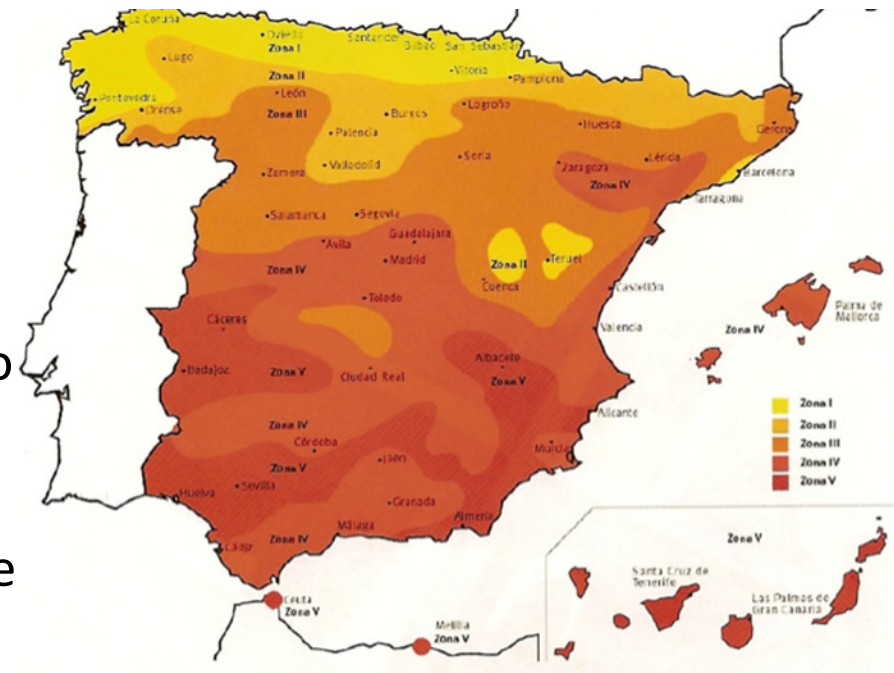
Definicions

- **Irradiació:** Energia que incideix per unitat de superfície en un temps determinat. Correspon al valor acumulat de la irradiància en un interval de temps determinat.

$$\text{Irradiació} = \text{Irradiància} \cdot t$$

Unitats més utilitzades: kWh/m² o MJ/m² (recordeu que 1 kWh = 3,6 MJ.)

Al llarg d'un dia tindrà unitats de kWh/m²/dia o MJ/m²/dia.



ZONA CLIMÀTICA	I	II	III	IV	V
IRRADIACIÓN MEDIA DIARIA (kWh/m ²)	<3,8	3,8 - 4,2	4,2 - 4,6	4,6 - 5,0	>5,0

Irradiació mitjana diària en Espanya segons zones climàtiques. Font: INM. Generat a partir d'isolinies de radiació solar anual sobre superfície horitzontal.

Definicions

Nomenclatura:

- S'utilitza la lletra G sense subíndex per a la **irradiància global** i amb subíndex per a la **irradiació global**.
- El primer subíndex indica el període de temps d'integració de la irradiació:
 - horària (h), diària (d), mensual (m) o anual (a).
- El segon subíndex indica un valor mitjà de la irradiació (m):
- Entre parèntesis, després de la lletra G, s'especifica l'orientació i inclinació de la superfície captadora $G(\alpha, \beta)$

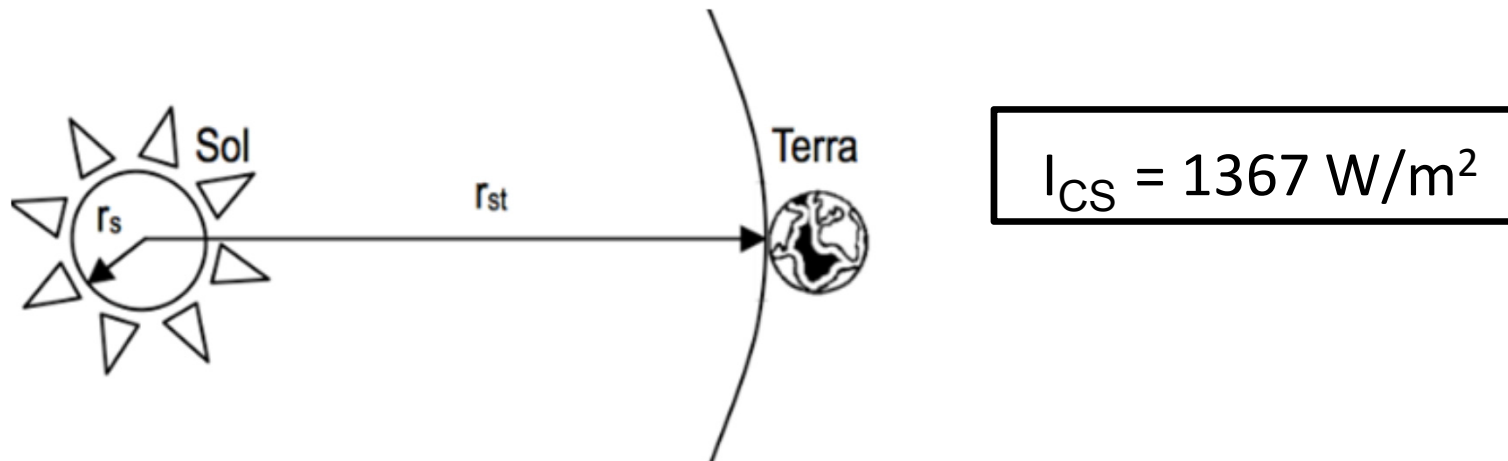
Valor mitjà mensual de la radiació global diària horitzontal [G _{dh} (0)] [kW·h/(m ² ·dia)]														
Localitat	Latitud [°]	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	Anual*
Albacete	39,00	2,01	2,96	3,43	4,88	5,45	6,15	6,64	5,82	4,54	4,31	1,88	1,61	4,14
Alacant	38,35	2,60	3,76	4,51	5,76	6,59	7,19	7,25	6,24	5,15	3,72	2,57	2,08	4,78
Almeria	36,85	2,48	3,37	4,65	5,68	6,50	6,68	6,82	6,16	4,99	3,83	2,72	2,13	4,67
Asturias	43,37	1,49	2,09	2,90	3,58	4,24	4,62	4,50	3,94	3,36	2,23	1,56	1,19	2,98
Àvila	40,65	1,82	2,83	3,35	4,52	5,48	5,90	6,78	6,30	4,61	3,08	1,79	1,39	3,99
Badajoz	38,88	1,85	2,64	3,65	4,89	5,91	6,48	6,64	5,87	4,58	3,23	2,19	1,55	4,12
Balears	39,57	2,32	3,53	4,02	4,95	6,37	6,92	7,12	6,17	4,89	3,59	2,49	1,80	4,51
Barcelona	41,40	1,72	2,78	3,78	5,05	5,91	6,32	6,21	5,27	4,22	3,27	1,92	1,63	4,01
Burgos	42,33	1,03	2,22	2,99	4,00	5,03	5,95	6,38	5,58	4,01	2,79	1,44	0,81	3,52
Càceres	39,48	1,68	2,67	4,16	5,63	6,43	7,47	8,82	8,12	6,20	3,54	2,14	1,63	4,87
Cádiz	36,47	2,33	3,68	4,57	6,19	7,12	7,59	7,56	7,14	5,70	4,05	2,71	2,19	5,07
Canàries	28,18	2,71	3,25	4,13	4,89	4,96	4,43	4,27	4,16	4,62	3,38	2,68	2,05	3,79
Castelló	39,98	2,11	3,45	4,34	5,14	5,88	6,40	6,49	5,64	4,77	3,37	2,16	1,89	4,30
C. Real	38,98	1,65	2,90	3,51	4,61	5,76	6,40	7,16	6,38	4,84	3,05	1,80	1,28	4,11
Córdoba	37,88	2,06	3,08	3,93	4,78	5,28	6,74	7,15	6,50	5,00	3,30	2,29	1,73	4,32
Cuenca	40,08	1,68	2,56	3,28	4,24	5,19	5,81	6,61	5,96	4,44	3,08	1,78	1,38	3,83
Girona	41,98	2,01	2,83	3,78	4,43	4,99	4,74	6,13	5,02	3,79	2,95	2,06	1,56	3,69
Granada	37,18	1,91	2,69	3,40	4,41	5,17	5,84	6,58	5,22	4,29	3,11	2,06	1,53	3,85
Guadalajara	40,63	1,39	2,13	2,76	3,61	4,52	5,10	6,55	5,69	4,04	2,79	1,44	1,16	3,43
Gulpiuzcoa	43,32	1,32	1,94	2,65	2,81	4,01	4,12	4,15	3,36	3,21	2,52	1,45	1,06	2,72
Huelva	37,27	2,10	3,29	4,39	5,78	6,68	7,12	7,50	6,90	5,73	3,64	2,41	1,86	4,78
Huesca	42,13	1,79	3,19	4,17	4,89	5,72	6,20	6,64	5,76	4,28	3,16	1,88	1,38	4,09
Jaén	37,77	1,74	2,75	4,08	5,02	5,61	6,78	7,45	6,75	5,46	3,23	2,16	1,75	4,40
A. Coruña	43,37	1,44	2,12	3,08	4,08	4,17	4,69	5,05	4,15	3,71	2,29	1,74	1,09	3,13
León	42,58	1,56	2,98	3,79	4,81	5,32	6,55	6,89	6,02	4,28	2,95	1,94	1,17	4,02
Lleida	41,68	1,69	3,38	4,33	5,34	6,10	6,74	6,84	5,93	4,65	3,33	1,75	1,11	4,27
Logroño	42,47	1,66	2,68	3,78	5,07	5,90	6,55	7,01	5,94	4,59	3,28	1,87	1,40	4,14
Lugo	43,00	1,07	2,01	2,39	3,77	3,84	4,65	4,73	4,23	3,14	2,54	1,48	0,88	2,80
Madrid	40,42	1,77	2,72	3,93	5,43	5,88	6,54	7,19	6,39	4,48	2,99	2,04	1,74	4,26
Málaga	36,72	2,28	3,21	4,92	5,25	6,34	6,91	7,20	6,20	5,15	3,62	2,82	1,73	4,63
Murcia	37,98	2,65	3,33	4,78	5,93	7,02	7,15	7,48	6,57	5,29	3,86	2,69	2,15	4,91
Ourense	42,33	0,78	1,89	3,91	3,36	2,46	5,33	4,49	5,05	3,49	1,99	1,47	0,68	2,91
Palència	42,00	1,20	2,81	3,35	4,31	5,59	6,24	6,72	6,07	4,24	3,12	1,76	1,02	3,87
Pamplona	42,81	1,17	1,21	3,06	3,14	4,77	5,55	5,91	4,93	3,73	2,76	1,29	0,90	3,20
Pontevedra	42,43	1,48	2,46	3,35	4,98	4,72	6,40	6,41	5,67	4,02	3,13	1,94	1,37	3,83
Salamanca	40,97	1,62	2,49	3,45	4,86	5,79	6,32	6,41	5,79	4,32	2,97	1,70	1,35	3,92
Santander	43,47	1,31	2,02	2,68	3,15	4,21	4,37	4,20	3,34	3,19	2,50	1,45	0,99	2,78
Segovia	40,95	1,43	2,43	3,08	4,06	4,76	5,72	6,67	6,02	4,30	2,95	1,52	1,16	3,67
Sevilla	37,38	1,99	3,11	4,29	5,48	6,22	6,53	6,61	6,01	4,87	3,35	2,31	1,88	4,39
Soria	41,77	1,46	2,20	2,94	3,85	4,94	5,82	6,49	5,52	3,90	2,52	1,44	1,19	3,52
Tarragona	41,12	2,06	3,21	3,66	4,60	5,13	5,71	5,90	5,05	3,86	3,10	2,04	1,66	3,83
Tenerife	28,47	2,66	3,34	4,42	5,49	6,05	6,72	7,00	6,36	5,19	3,68	2,62	1,99	4,63
Teruel	40,35	1,70	2,59	3,19	4,00	5,20	5,68	6,28	5,63	4,00	2,93	1,67	1,16	3,68
Toledo	39,85	1,77	2,96	3,43	4,77	5,47	6,12	6,90	6,19	4,48	3,07	1,78	1,27	4,02
València	39,48	2,59	3,00	3,85	5,13	6,02	6,07	6,41	6,68	4,45	3,12	2,09	1,84	4,27
Valladolid	41,65	1,24	2,88	3,59	4,71	5,40	6,33	6,93	6,32	4,45	3,03	1,69	1,01	3,97
Vitòria	42,85	1,24	2,34	2,78	3,17	4,25	4,69	4,90	4,07	3,21	2,58	1,37	0,89	2,96
Vizcaya	43,30	1,06	1,67	2,45	2,77	3,77	3,73	3,92	3,14	2,98	2,28	1,22	0,85	2,49
Zamora	41,50	1,20	2,92	3,61	4,84	5,49	6,40	6,98	6,16	4,44	2,98	1,74	1,00	3,98
Zaragoza	41,65	1,80	3,14	4,06	4,96	6,06	6,52	6,82	6,20	4,40	3,24	1,82	1,36	4,20

* Valor mitjà anual de la irradiació global diària horitzontal $G_{dh}(0)$

Definicions

La irradiància que genera el sol és d'aproximadament $6,35 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$ i només una petita part d'aquesta radiació arriba a l'exterior de l'atmosfera terrestre: 1367 W/m^2 aproximadament.

- **Constant solar:** Irradiància sobre una superfície unitària orientada de forma perpendicular a la direcció dels rajos solars i situada fora de l'atmosfera terrestre a una distància astronòmica unitat (distància Terra-Sol: $1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$).



No és una vertadera constant, ja que varia lleugerament (entre un 0,1% i un 0,2%) respecte al seu valor central.

Definicions

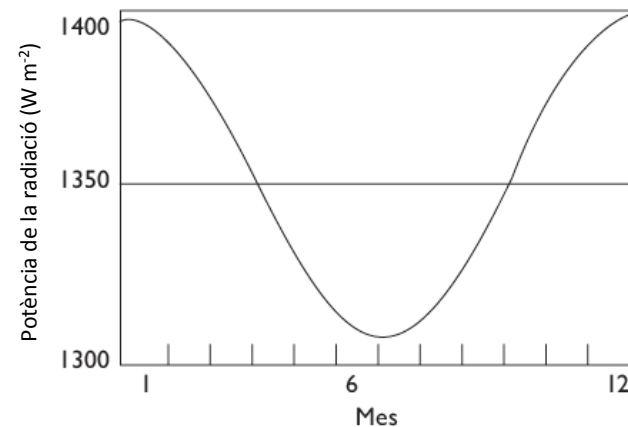
La petita excentricitat de l'òrbita el·líptica de la Terra al voltant del Sol fa que la distància entre la Terra i el Sol varie segons el dia de l'any. Valor aproximat:

$$r_{ST} \cong r_0 \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot d_n}{365}\right) \right]; \quad 1 < d_n < 365 \quad \text{y} \quad r_0 = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

Per aquesta raó la irradiància solar **extraterrestre** varia segons el dia de l'any de la forma:

$$I_{\text{ext}} \cong I_{\text{CS}} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot d_n}{365}\right) \right] \text{ W/m}^2; \quad 1 < d_n < 365$$

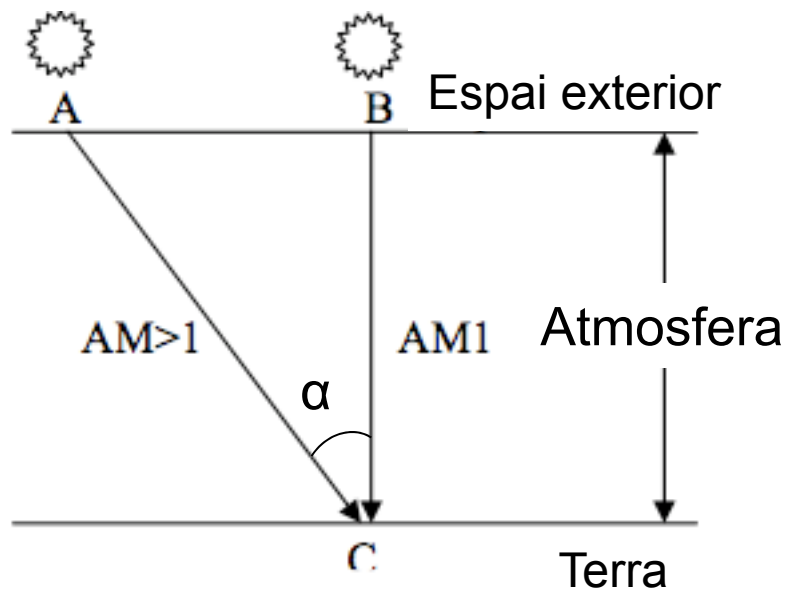
Variació del 3,3% amb un **màxim** de 1412 W/m² l'1 de **gener** i un **mínim** de 1322 W/m² l'1 de **juliol**.



Definicions

- **Massa d'aire (AM: "air mass"):** *Ens dóna una idea de la distància que recorren els rajos solars entre la part exterior de l'atmosfera i l'horitzontal del lloc. Si el Sol està en el zenit (perpendicular a la terra), $AM = 1$, és a dir, la radiació recorre una atmosfera.*

Depenent de la posició relativa del Sol respecte a l'horitzontal del lloc AM s'incrementa, és a dir, la radiació ha de recórrer una major distància fins a arribar a terra.

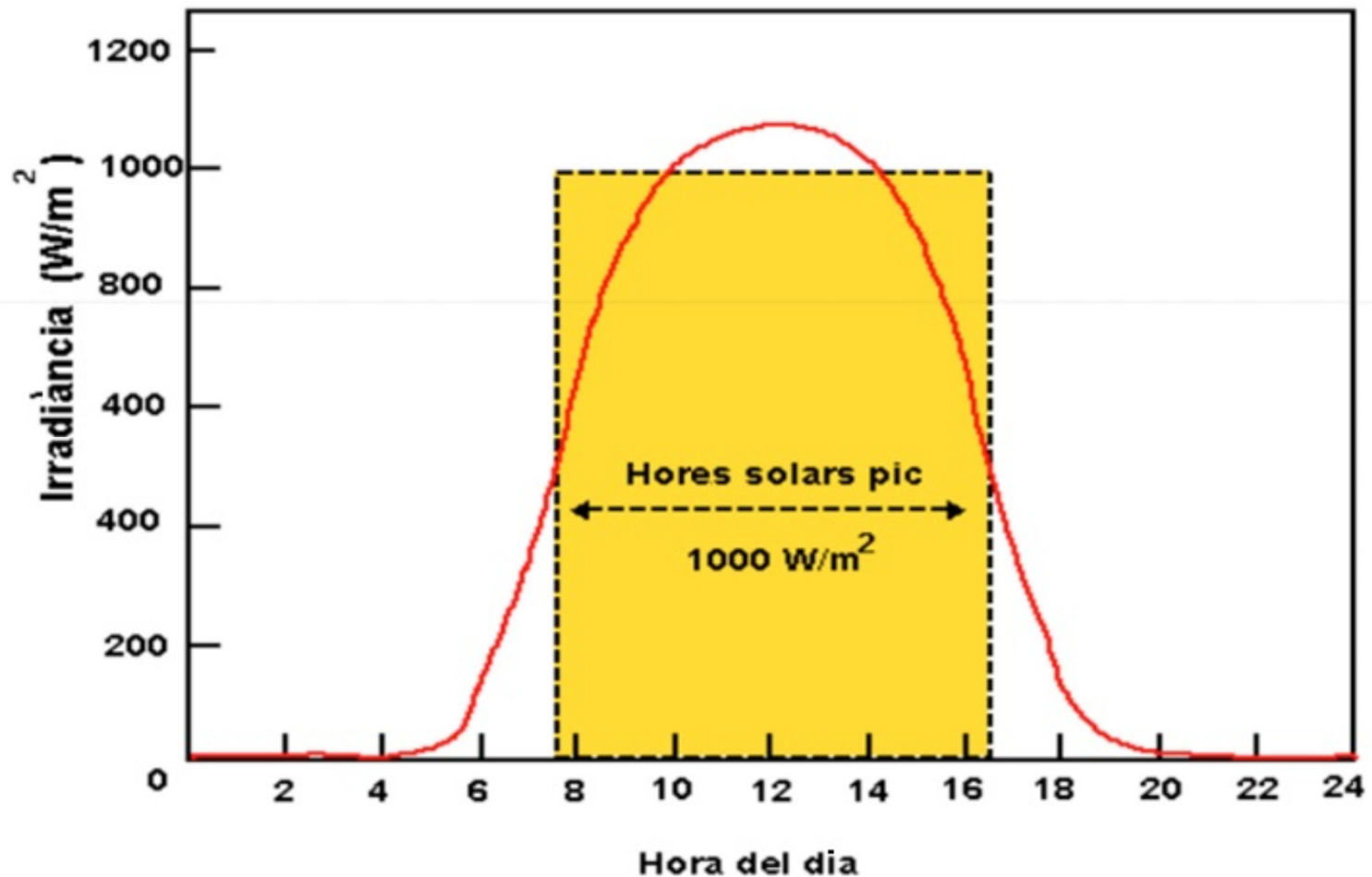


L'angle α d'incidència respecte al Zenit, variable entre 0 i 90°, determina la massa d'aire:

$$AM = \frac{1}{\cos \alpha}$$

Definicions

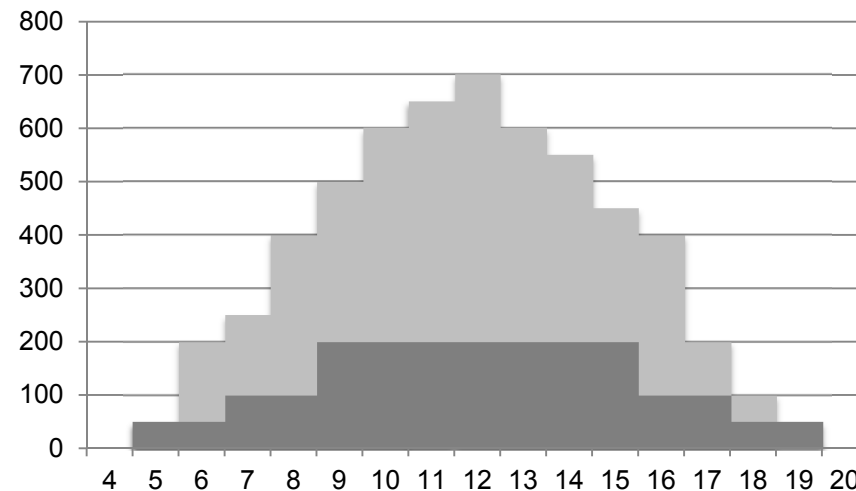
- **Hores solars de pic (HSP):** Nombre d'hores d'un dia amb una irradiància fictícia de 1000 W/m^2 que tindria la mateixa irradiació total que la real d'aquest dia. S'obté dividint la irradiació d'un determinat dia per 1000 W/m^2 .



Exemple 1

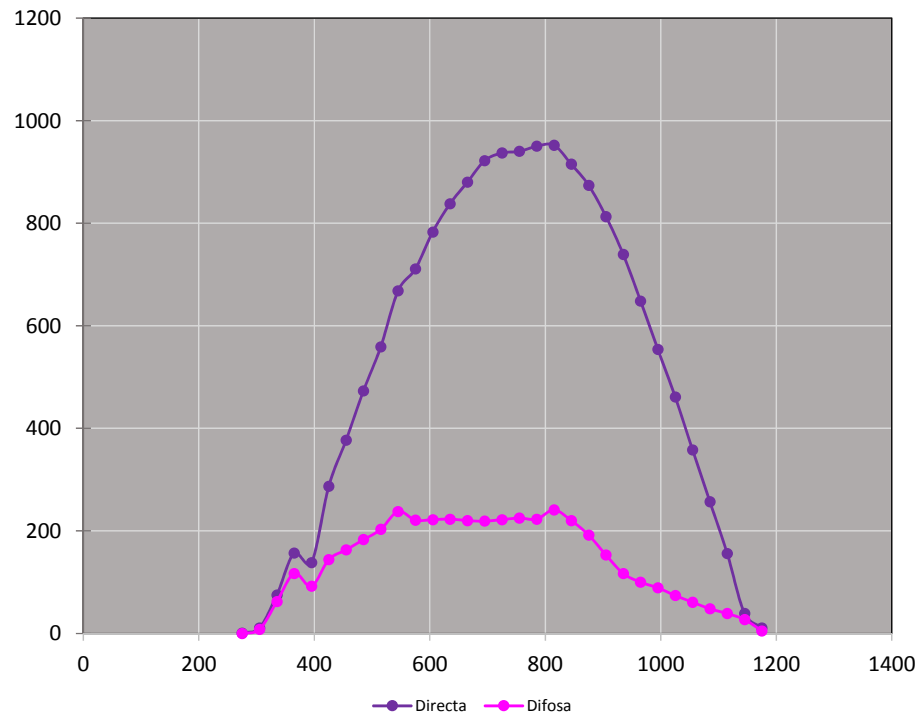
- En un determinat dia del mes de juliol s'han mesurat hora a hora i al llarg de tot el dia les dades d'irradiància directa i difusa que incideixen sobre una determinada superfície. Suposant negligible la reflectivitat del sòl o albedo, es demana: determinar la irradiació global d'aquest dia, així com les hores solars de pic.

Hora(h)	Irradiància directa (W/m ²)	Irradiància difosa (W/m ²)
4	0	0
5	50	50
6	200	50
7	250	100
8	400	100
9	500	200
10	600	200
11	650	200
12	700	200
13	600	200
14	550	200
15	450	200
16	400	100
17	200	100
18	100	50
19	10	50
20	0	0



Exemple 2

- En una determinada localitat s'han mesurat les següents dades d'irradiància directa i difusa (en W/m^2), mesurades des de l'eixida del sol fins a la posta, en intervals de mitja hora, per al dia 27 de juny del 2013. Tenint en compte que la reflectivitat de la superfície o albedo és del 25%, calculeu la irradiació que absorbeix aquesta superfície.



Directa	Difosa
1	0
11	8
75	62
157	117
138	92
287	144
377	163
473	183
559	203
668	238
711	221
783	222
838	223
880	220
922	219
937	222
940	225
950	223
952	241
915	220
874	192
813	153
739	117
648	100
554	89
461	74
358	61
257	48
156	39
39	27
11	5

Exemple 2

Directa	Difosa	Directa +difosa	Acumulació
1	0	1	
11	8	19	18000
75	62	137	140400
157	117	274	369900
138	92	230	453600
287	144	431	594900
377	163	540	873900
473	183	656	1076400
559	203	762	1276200
668	238	906	1501200
711	221	932	1654200
783	222	1005	1743300
838	223	1061	1859400
880	220	1100	1944900
922	219	1141	2016900
937	222	1159	2070000
940	225	1165	2091600
950	223	1173	2104200
952	241	1193	2129400
915	220	1135	2095200
874	192	1066	1980900
813	153	966	1828800
739	117	856	1639800
648	100	748	1443600
554	89	643	1251900
461	74	535	1060200
358	61	419	858600
257	48	305	651600
156	39	195	450000
39	27	66	234900
11	5	16	73800
			37487700

$$Acum_i = \sum_{i=1}^N \left(\frac{R_{is}(i+1) + R_{is}(i)}{2} \right) \cdot 1800s = 37,49 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$$

$$\text{Reflectida} = 0,25 \cdot (\text{Directa} + \text{Difusa})$$

$$\text{Reflectida} = 0,25 \cdot 37,49 = 9,37 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$$

$$\begin{aligned} \text{Absorbida} &= (\text{Directa} + \text{Difusa}) - \text{Reflectida} = \\ &= 0,75 \cdot 37,49 = 28,12 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dia} \end{aligned}$$

2.2. Radiació solar en la superfície de la Terra.



Variació de la radiació solar

La radiació solar que arriba a un pla captador situat en la superfície de la Terra és molt irregular i varia segons una sèrie de factors (alguns relacionats entre si):

- 1) Interacció de la llum amb l'atmosfera: condicions climatològiques (grau de nuvolositat), grau de terbolesa atmosfèrica (conseqüència de la presència de partícules sòlides o líquides en suspensió)...
- 2) Coordenades geogràfiques del lloc.
- 3) Època de l'any (estació).
- 4) Hora de mesurament (dia-nit).
- 5) Orientació i inclinació de la superfície receptora.
- 6) Presència d'obstacles que causen ombres.

Interacció de la llum amb l'atmosfera

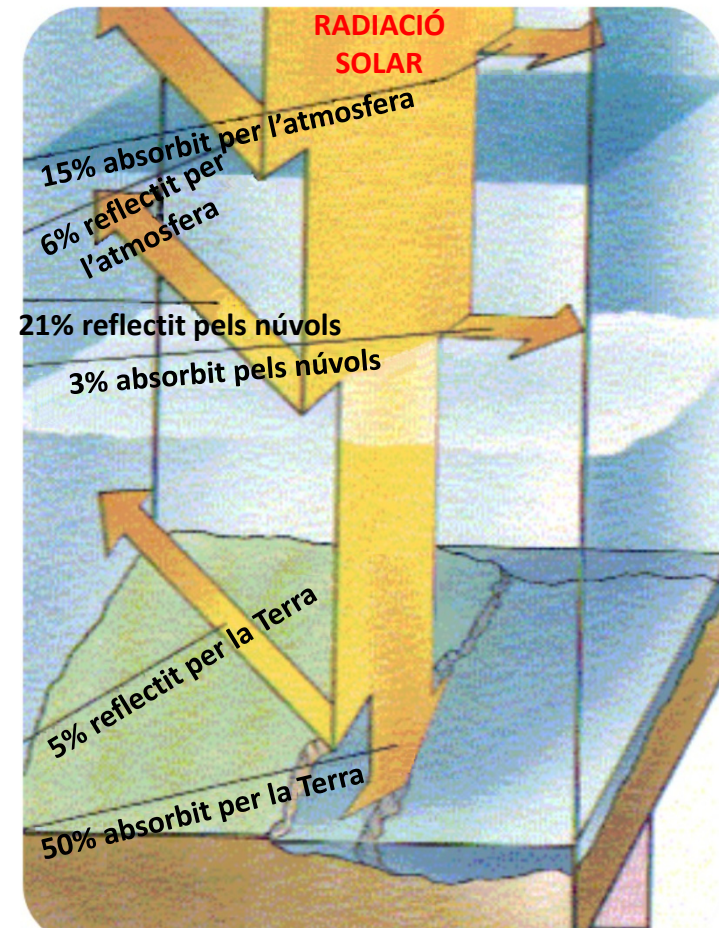
- La radiació que arriba a la superfície terrestre depèn de les **condicions meteorològiques**: com més ennuvolat és el dia més important és la radiació difusa i, per contra, en dies clars la component directa representa el percentatge majoritari.

Irradiància global i difusa en diferents condicions

Condicions climatològiques	Irradiància (W/m ²)	Component difusa (%)
Cel clar	750 - 1000	10 - 20
Parcialment ennuvolat	200 - 500	20 - 90
Completament cobert	50 - 150	90 - 100

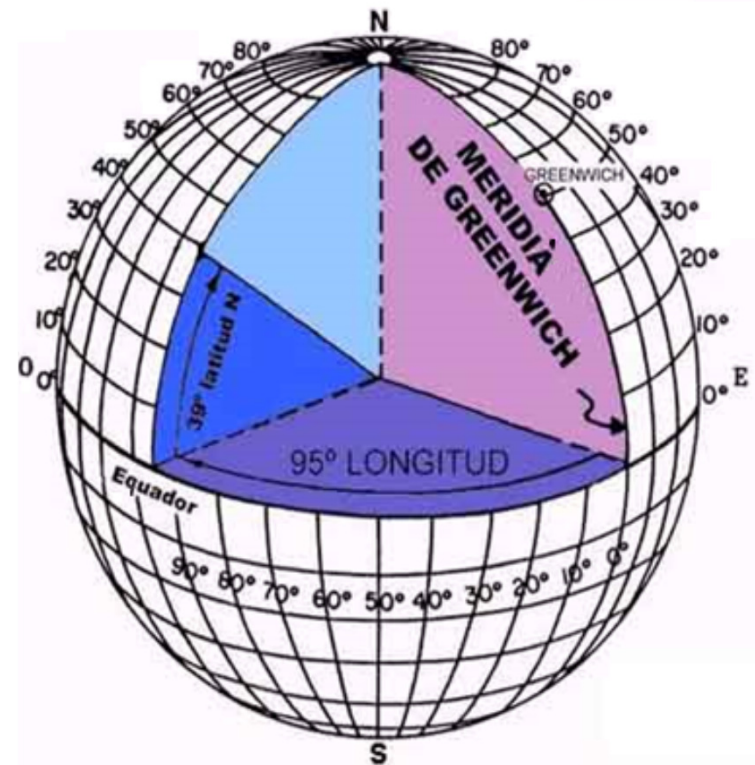
Interacció de la llum amb l'atmosfera

- L'atmosfera terrestre està constituïda per gasos, núvols i partícules sòlides en suspensió, que provoquen l'atenuació de la radiació.
- Hi ha tres tipus de processos atmosfèrics que modifiquen l'entrada de radiació solar quan interactua amb gasos i partícules suspeses:
 - Absorció
 - Reflexió
 - Dispersió
- En terme mitjà el 47% de la radiació incident sobre l'atmosfera terrestre aconsegueix la superfície del planeta. El 31% ho fa directament i l'altre 16% després de ser dispersada per partícules en suspensió, vapor d'aigua i molècules de l'aire. L'energia restant, un 53% és reflectida cap a l'espai exterior o absorbida per l'atmosfera.



Coordenades terrestres

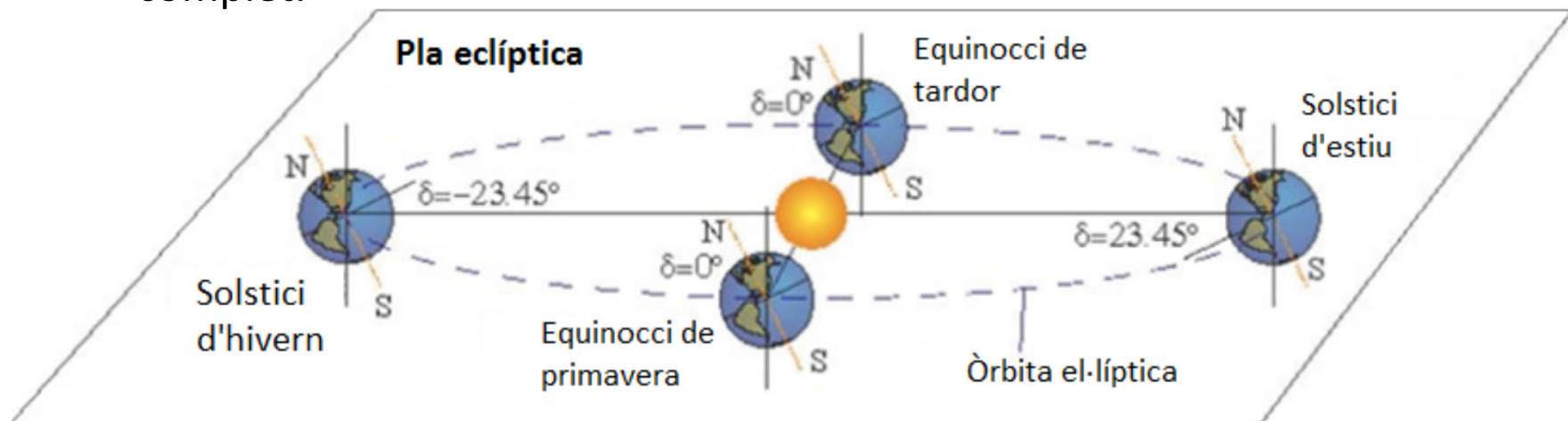
- **Meridians i paral·lels:** Les circumferències definides sobre la superfície terrestre per plans perpendiculars a l'eix de rotació de la Terra i, per tant, paral·leles a l'Equador es denominen **paral·lels**. Les semicircumferències definides pels cercles màxims de l'esfera terrestre que passen pels pols es denominen **meridians**.
- Per a localitzar un punt sobre la superfície terrestre s'empra:
 - ❑ **Latitud:** distància angular que existeix entre un punt qualsevol de la superfície terrestre i l'equador, mesura sobre el meridià que passa per aquest punt. De 0° a 90° cap al nord, i de 0° a 90° cap al sud. No s'ha de confondre amb altitud.
 - ❑ **Longitud:** la distància angular que existeix entre un punt qualsevol de la superfície terrestre i el meridià de Greenwich, mesurada sobre el paral·lel que passa per aquest punt. De 0° a 180° cap a l'est, i de 0° a 180° cap a l'oest.



Els moviments de la Terra (I)

Un altre factor que determina la incidència de la radiació solar sobre un captador solar és el moviment de la terra. La Terra orbita al voltant del Sol amb dos moviments diferents que duu a terme al mateix temps:

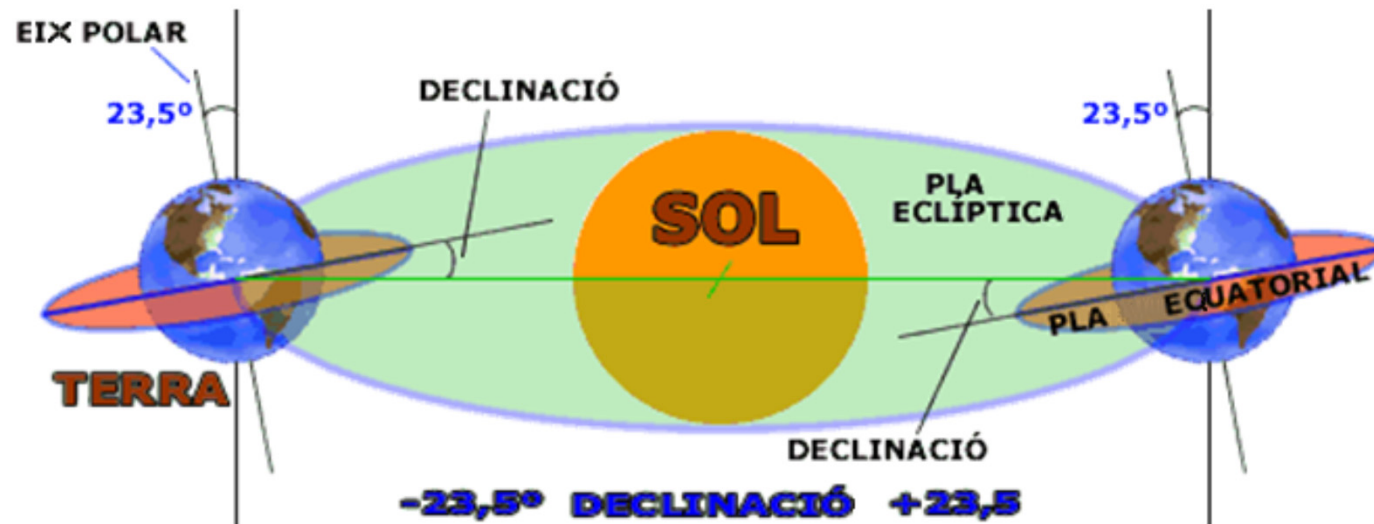
- Un de **rotació**, al voltant d'un eix que passa pels pols anomenat eix polar, i amb una velocitat aproximada d'una volta per dia.
- I un altre de **translació**, al voltant del Sol descrivint una òrbita el·líptica en la qual aquest ocupa un dels focus. El pla que conté aquesta òrbita s'anomena **pla de l'eclíptica** i la terra tarda un any a fer el recorregut complet.



L'eclíptica i les estacions

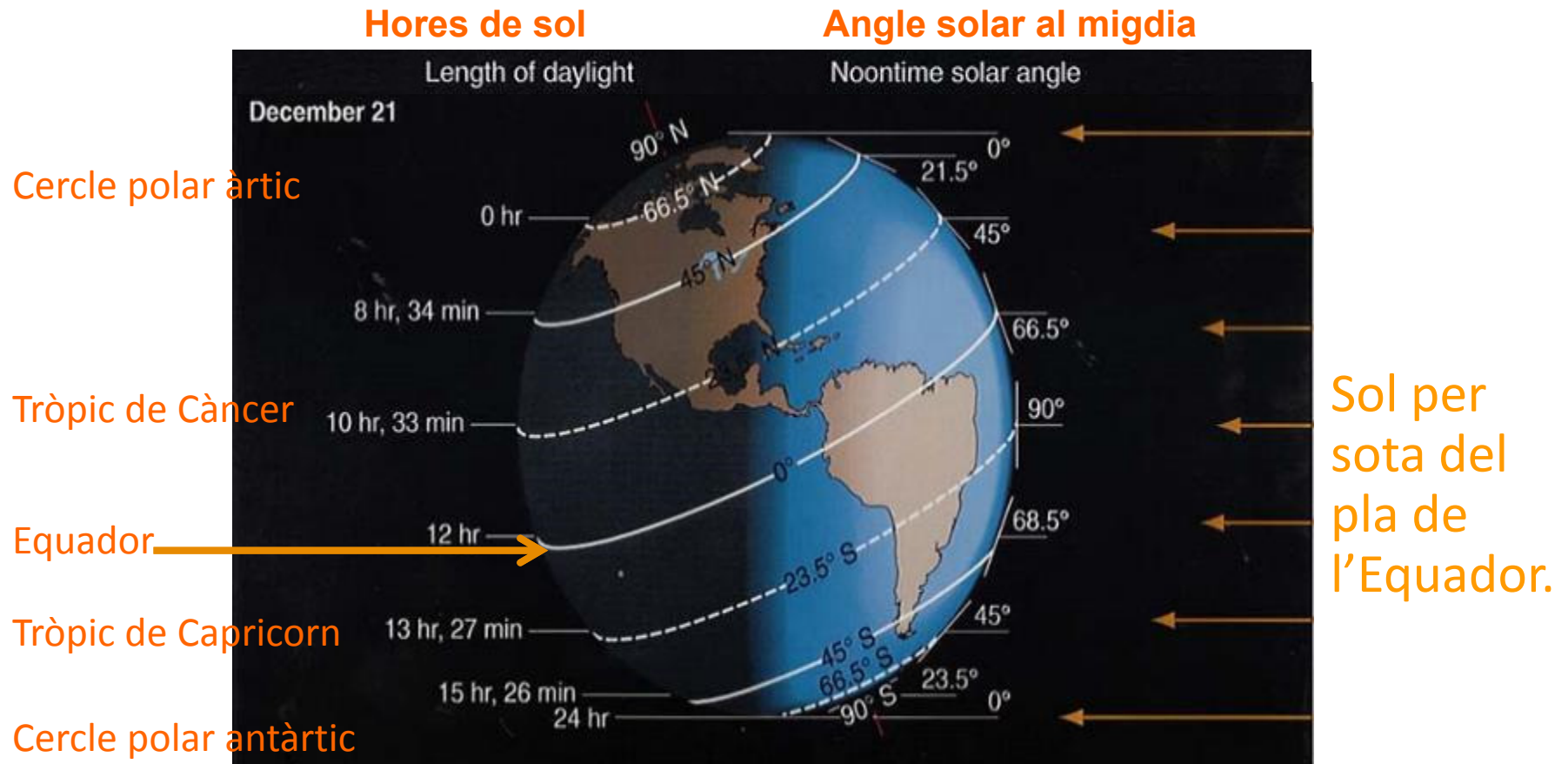
Els moviments de la terra: Declinació solar.

L'eix polar o eix de rotació terrestre sobre el qual gira la Terra, manté una direcció aproximadament constant i forma un angle de $23,45^\circ$ amb la normal al pla de l'eclíptica, denominat **obliquïtat de l'eclíptica**. A causa d'aquesta obliquïtat, l'angle format pel pla equatorial de la Terra amb l'eclíptica està canviant permanentment entre $+23.45^\circ$ i -23.45° . Aquest angle s'anomena **declinació solar (δ)**.



L'obliquïtat de l'eclíptica permet explicar els canvis estacionals, les diferents durades de les nits i els dies a l'estiu i a l'hivern, i també fa que el Sol estiga més amunt a migdia, a l'estiu que a l'hivern.

Solstici d'hivern ($\delta=-23.45^\circ$)

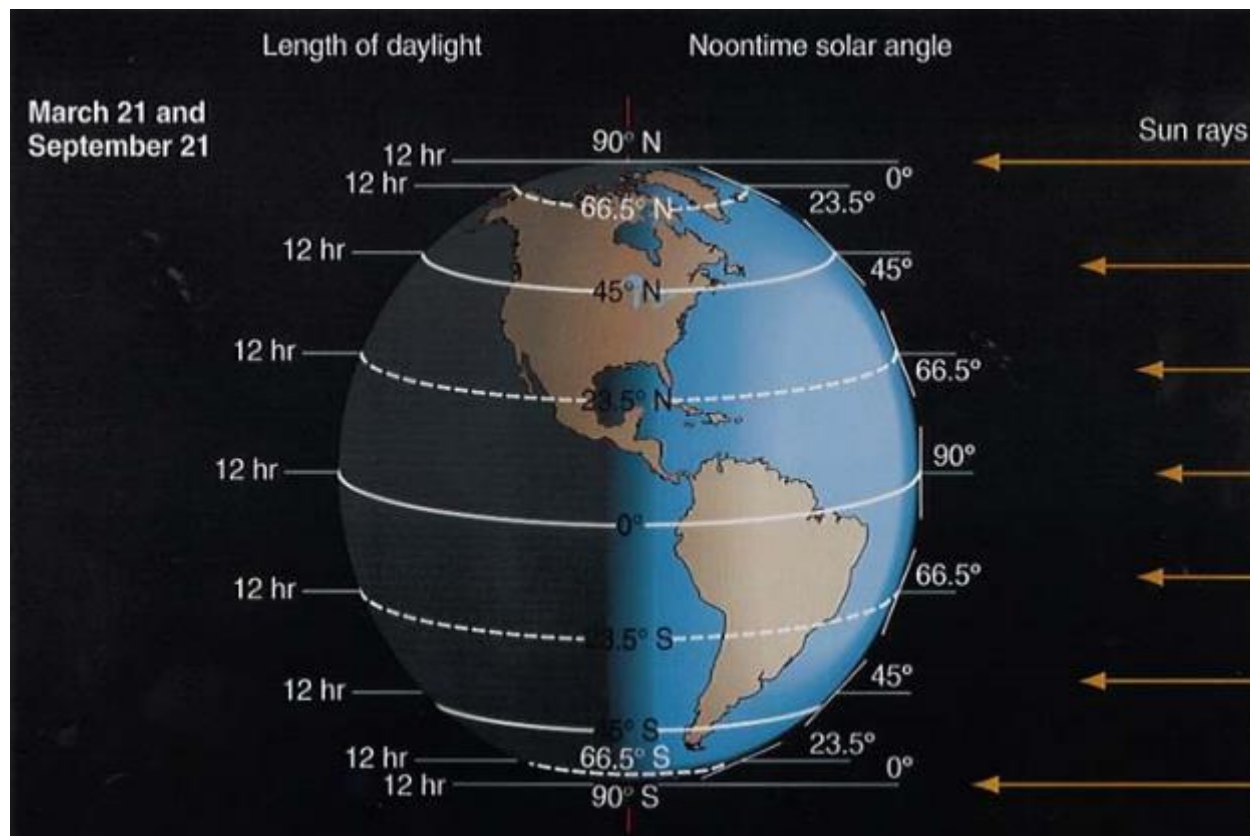


- En el solstici d'hivern (21/22 de desembre) la declinació és de -23.45° i el Sol es troba en el tròpic de Capricorn el que es tradueix en l'hemisferi nord en el dia més curt i la nit més llarga de l'any. En l'hemisferi sud ocorreria el contrari.

Equinoccis ($\delta=0$)

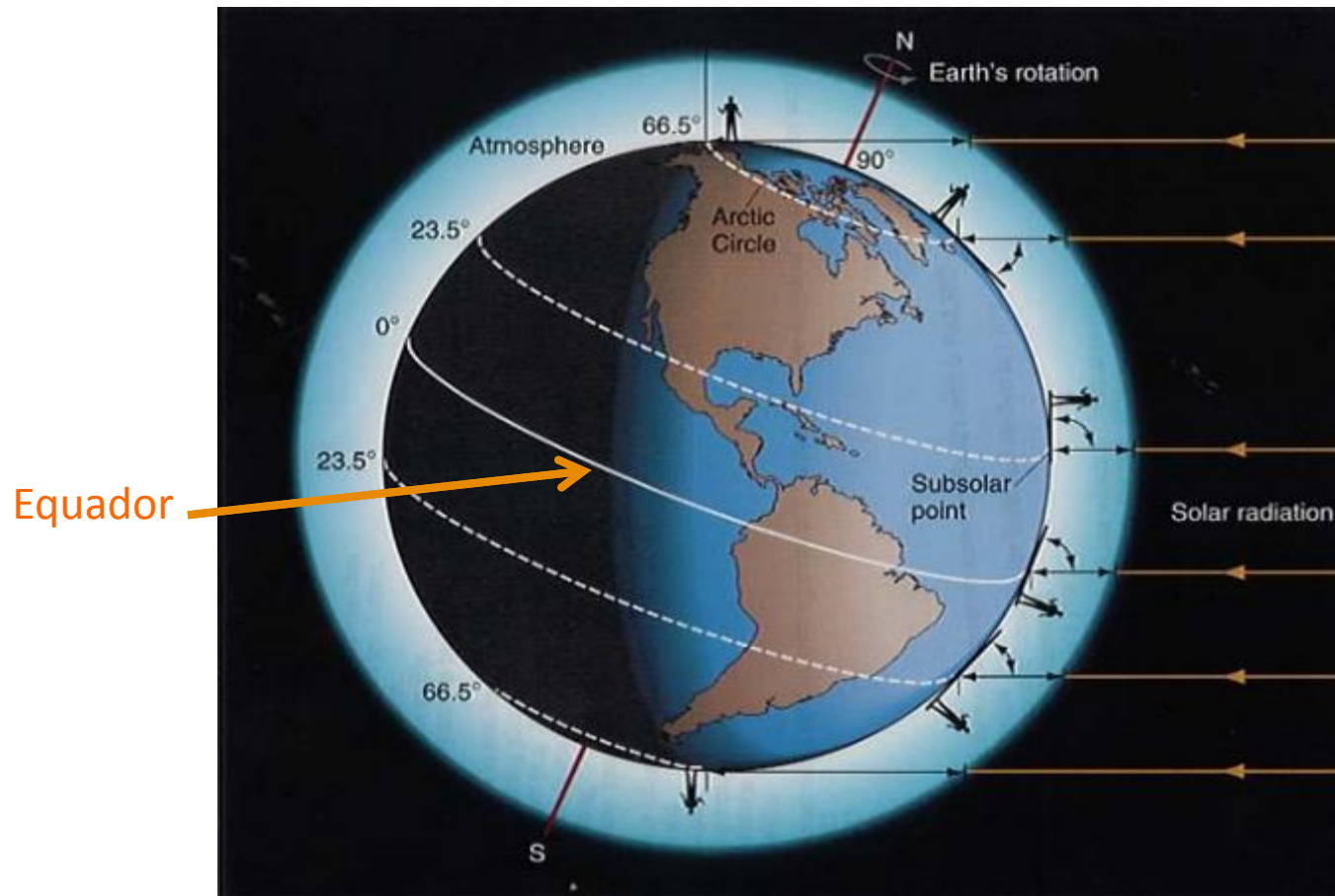
Hores de sol

Angle solar al migdia



- La declinació solar s'anul·la en els equinoccis de tardor (22/23 de setembre) i de primavera (20/21 de març). En aquests dies el Sol es troba en l'Equador, i la durada del dia és igual a la de la nit en tota la Terra, a més, les posicions d'eixida i de posta del sol coincideixen amb l'est i l'oest, respectivament.

Solstici d'estiu ($\delta=23.45^\circ$)

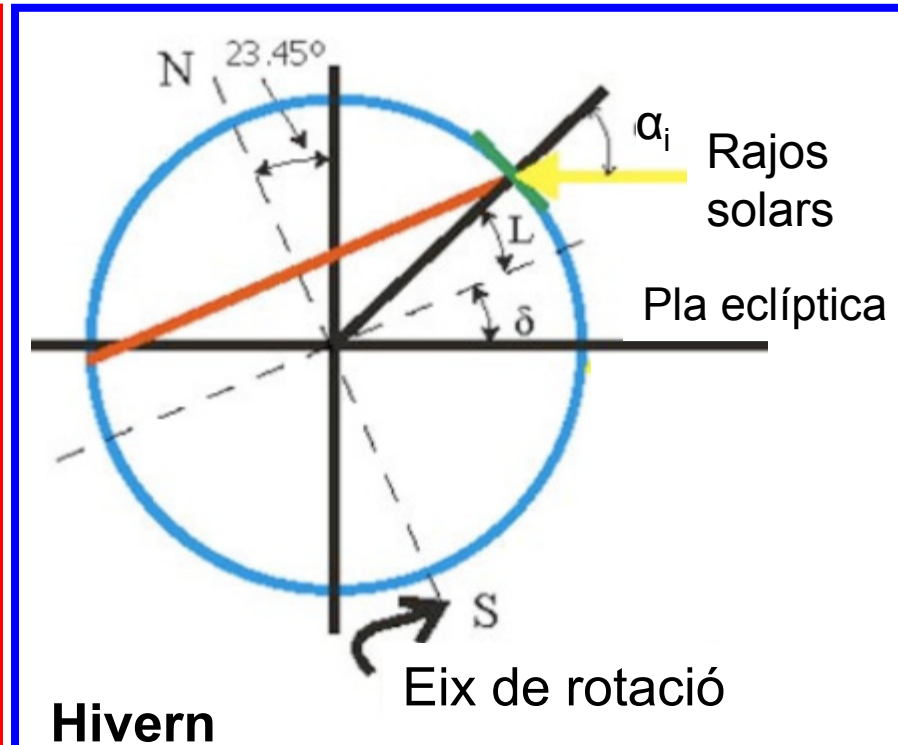
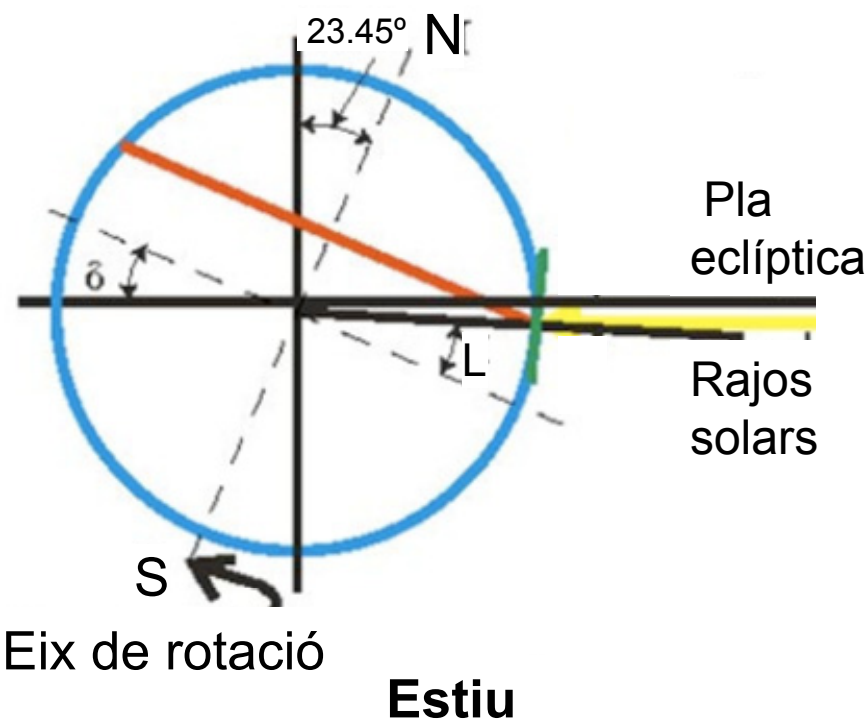


Sol per damunt del pla de l'Equador

- En el solstici d'estiu (21/22 de juny) la declinació és de $+23.45^\circ$ i el Sol es troba en el tròpic de Càncer, cosa que en l'hemisferi nord es tradueix en el dia més llarg i la nit més curta.

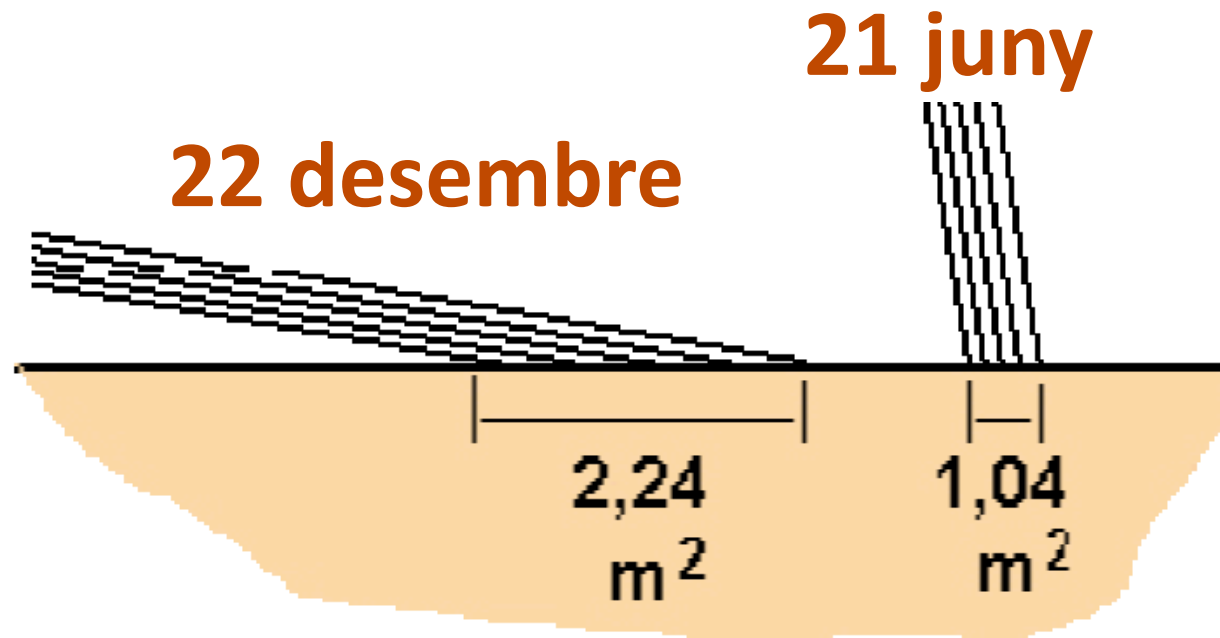
Efectes derivats de la declinació solar

- A causa de la variació de la declinació solar, **l'angle amb què els rajos solars incideixen sobre un pla tangent** a la superfície terrestre serà major o menor depenent de l'època de l'any i de la latitud del lloc.
- Per a una mateixa latitud L , la perpendicularitat dels rajos solars és major a l'estiu que a l'hivern ($\alpha_v \ll \alpha_i$). Per aquest motiu, l'energia total incident és molt superior a l'estiu que a l'hivern.



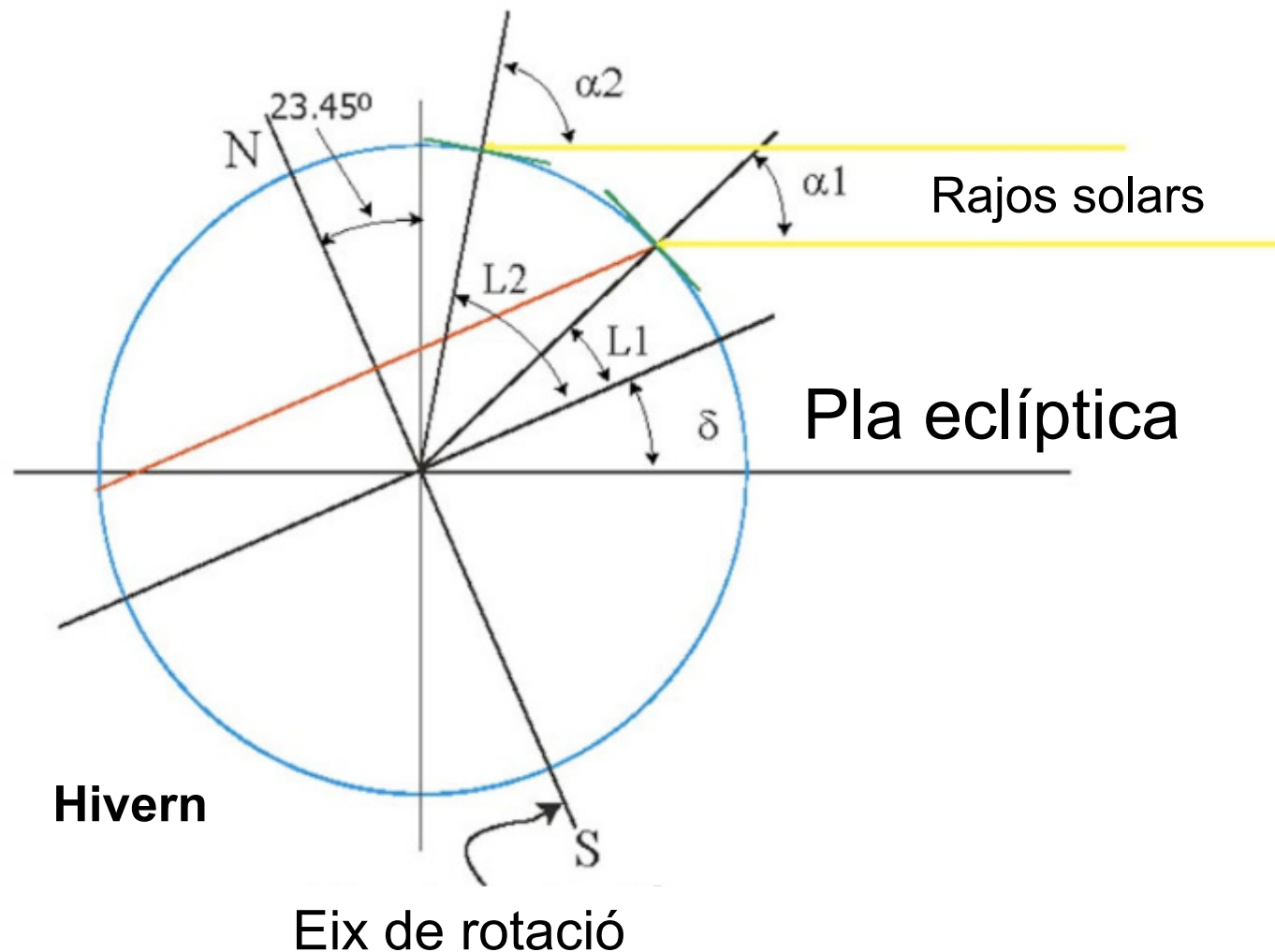
Efectes derivats de la declinació solar

Quan un feix d'energia solar amb una secció d' 1 m^2 arriba a terra durant el solstici d'estiu es reparteix sobre una àrea d' $1,04 \text{ m}^2$, mentre que durant el solstici d'hivern ho fa sobre una àrea de $2,24 \text{ m}^2$. És a dir que durant l'hivern 1 m^2 de superfície terrestre rep menys de la meitat de l'energia que rep durant l'estiu, raó per la qual l'ambient resulta més fred.



Efectes derivats de la declinació solar

Així mateix, els rajos incideixen amb menor perpendicularitat a mesura que augmenta, en valor absolut, la latitud del lloc.

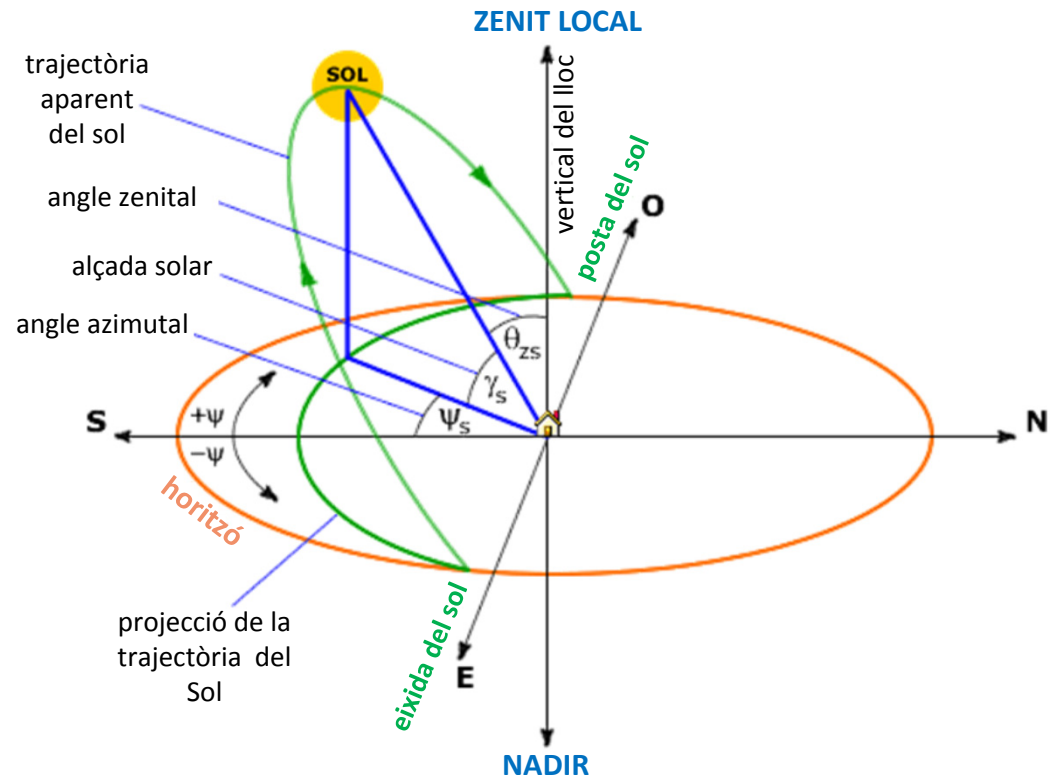


Posició del Sol vist des d'un punt de la Terra

Des del punt de vista d'un **observador sobre la superfície de la terra**, el Sol descriu un **arc de cercle** des de la seua eixida (orto) fins a la seua posta (ocàs):

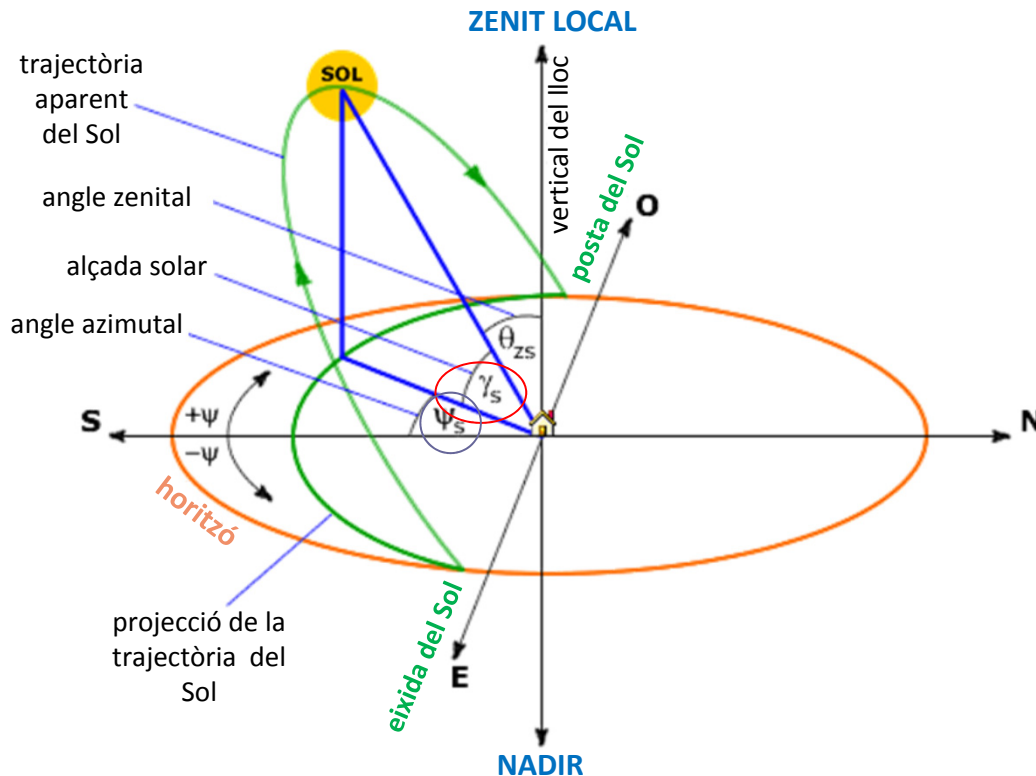
- Un observador sobre una superfície plana anomenada **horitzó**, veu el desplaçament del Sol descrivint òrbites circulars paral·leles, al llarg de l'any, sobre una esfera transparent denominada **esfera celeste**.

- La vertical de l'observador sobre la superfície terrestre interseca amb l'esfera celeste en un punt anomenat **zenit** (nadir és el punt oposat).



Posició del Sol vist des d'un punt de la Terra

- Per a localitzar el Sol en l'esfera celeste, s'empren les **coordenades horitzontals o celestes**, per mitjà de les quals es refereix la posició del Sol al pla de l'horitzó i al meridià de l'observador:



- Alçada solar (γ_s): Distància en graus des del pla de l'horitzó fins a la posició del Sol.
- Azimut del Sol (ψ_s): Angle format per la projecció del Sol sobre el pla horitzó amb la direcció sud. Positiu (0 a 180°) cap a l'oest i negatiu cap a l'est (0 a 180°).

Posició del Sol vist des d'un punt de la Terra

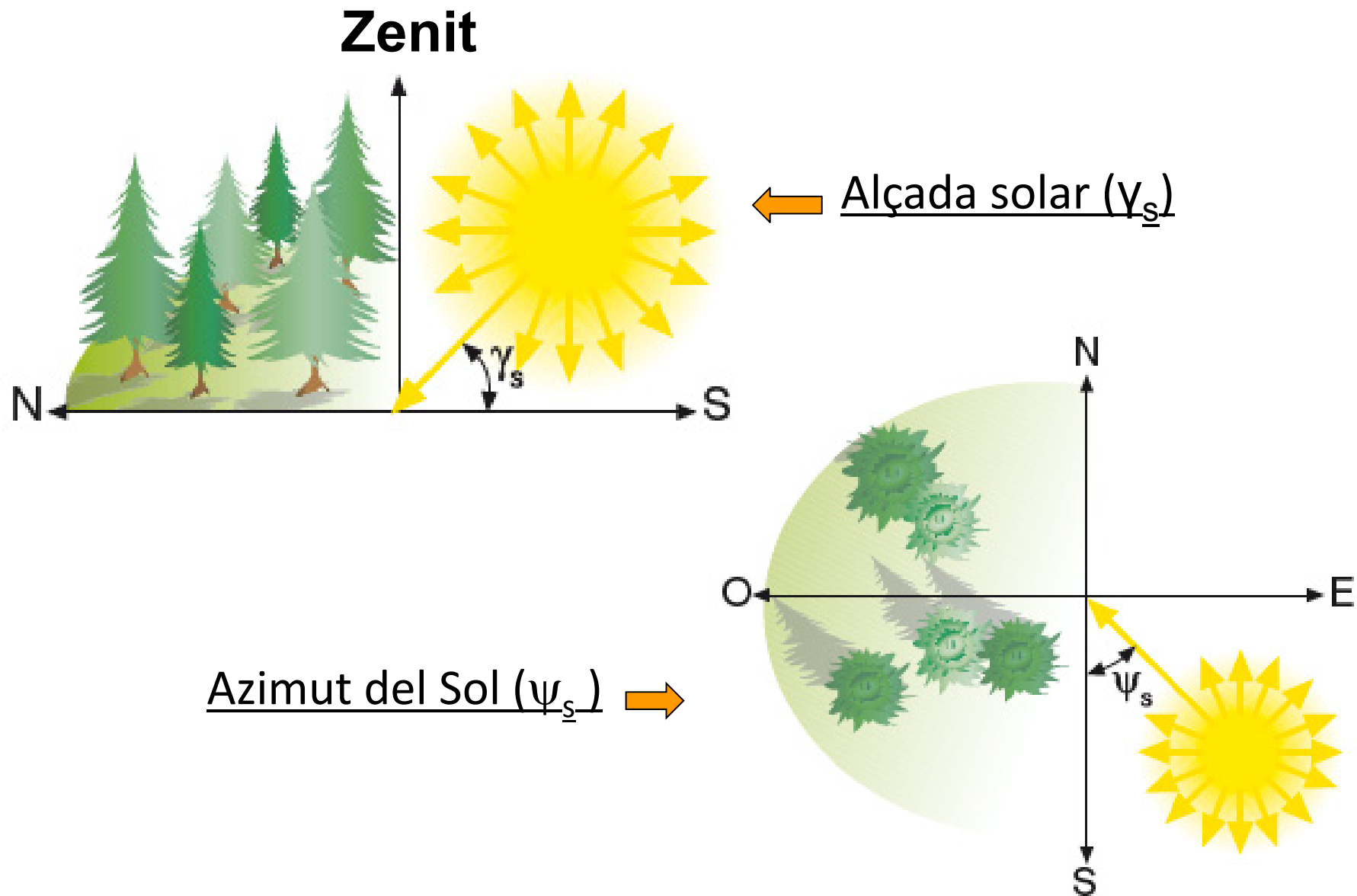


Diagrama de trajectòries del Sol

Carta Solar Cilíndrica: basada en la projecció del recorregut solar en un cilindre que envolte l'observador. En ser tallat el cilindre pel nord es pot desplegar una projecció plana del recorregut solar, **amb lectura directa de l'alçada i azimuth solar.**

Depèn del lloc geogràfic (latitud)

Solstici d'estiu (juny)

Equinoccis de primavera i tardor (març/setembre)

Solstici d'hivern (desembre)

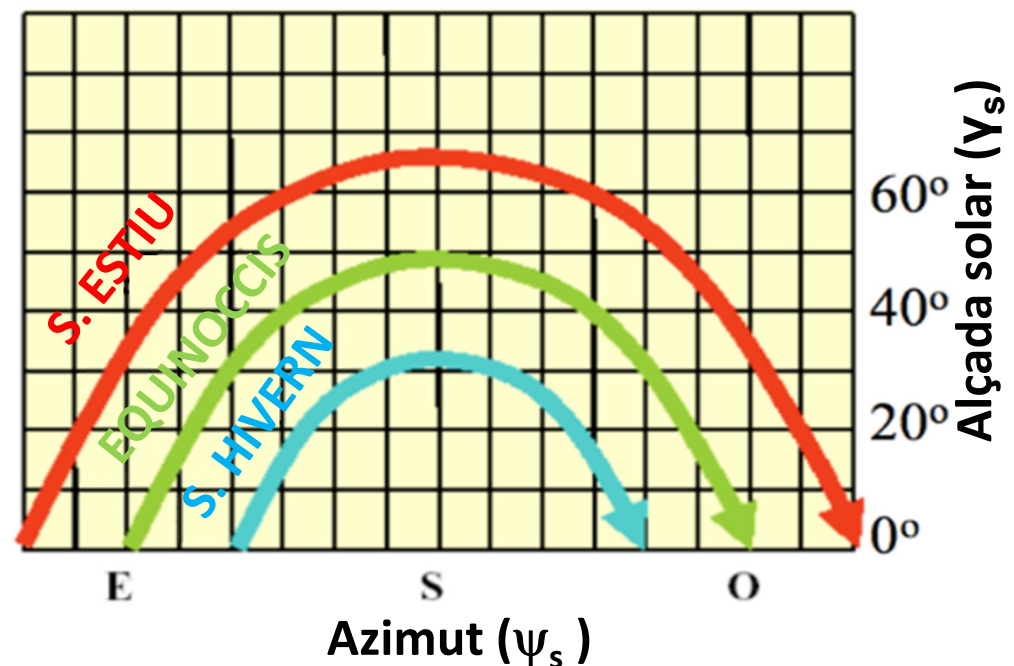
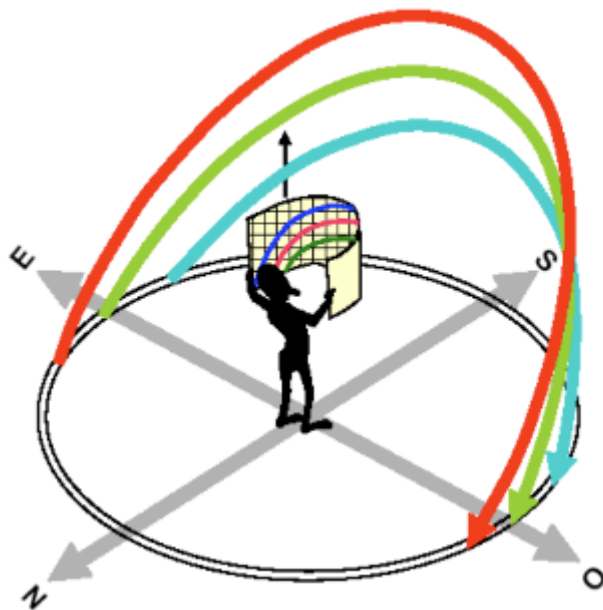
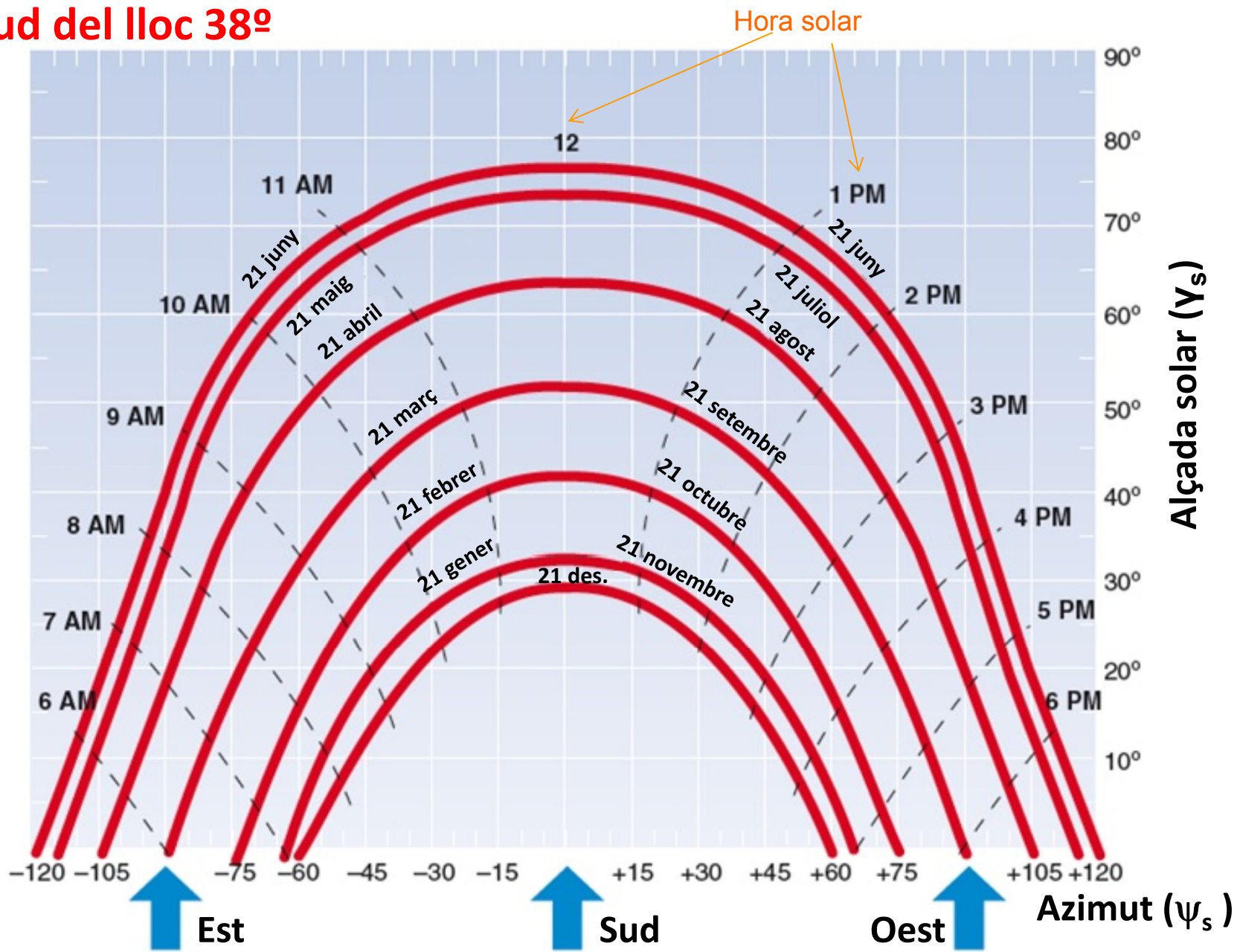


Diagrama de trajectòries del Sol

Latitud del lloc 38°

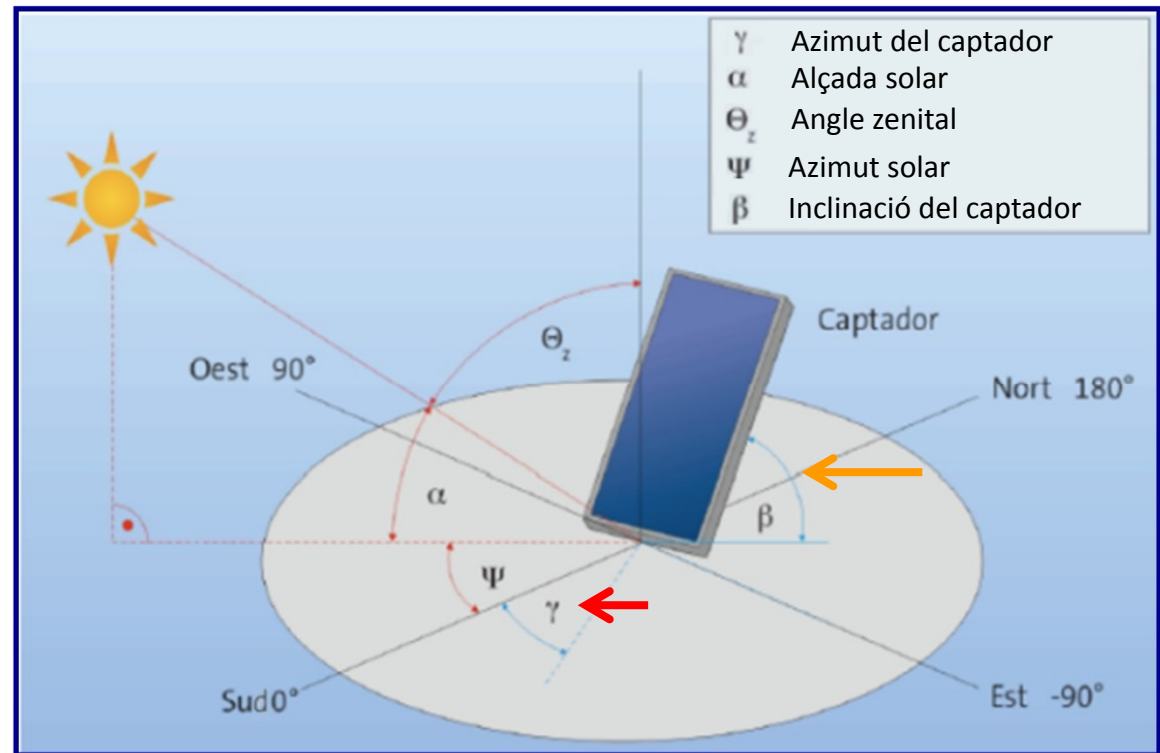


Orientació i inclinació del captador

L'orientació d'un captador es defineix mitjançant coordenades angulars, similars a les emprades per a definir la posició del Sol:

Azimut del captador (γ): Defineix l'orientació del captador. És l'angle que forma la projecció horitzontal de la normal a la superfície captadora i la direcció sud, considerant l'orientació sud amb $\gamma = 0^\circ$, els angles entre el sud i el sud-est negatius i entre el sud i el sud-oest positius.

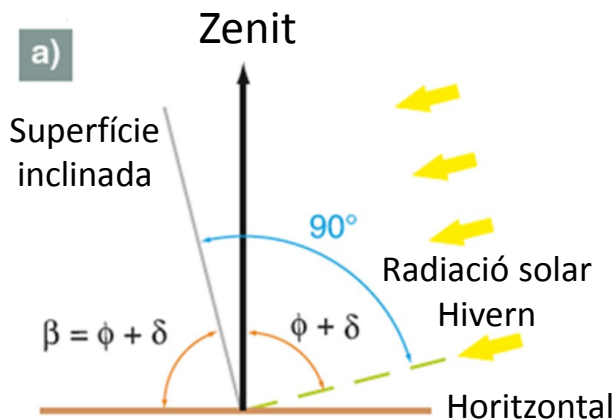
Inclinació del pla captador (β): angle que forma la superfície del captador amb el pla horitzontal. El seu valor és 0° si el mòdul es col·loca horitzontal i 90° si es col·loca vertical.



Orientació i inclinació del captador

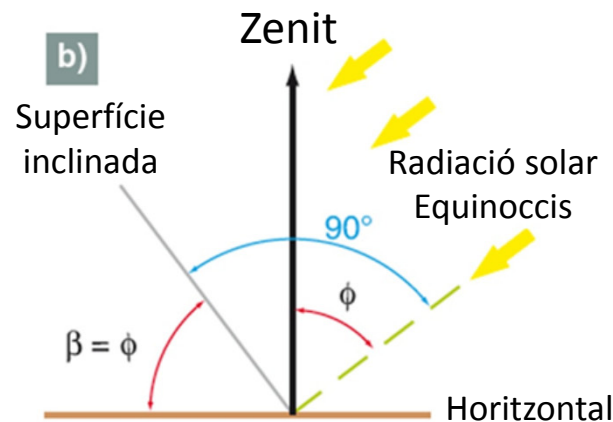
- La direcció de la radiació solar incident sobre la terra varia en funció de la declinació (δ , angle variable que forma l'Equador amb el pla de l'eclíptica).
- Perquè una **superfície reba la radiació solar perpendicularment** haurem d'inclinar la superfície un angle β amb l'horitzontal igual al que forma la vertical del lloc amb la radiació solar.

Migdia del solstici
d'hivern

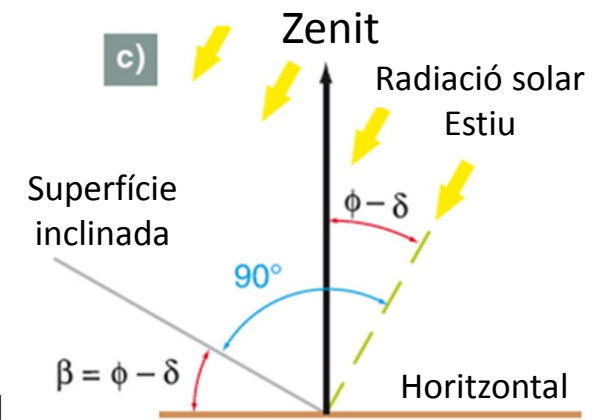


ϕ = latitud del lloc

Migdia dels
equinoccis



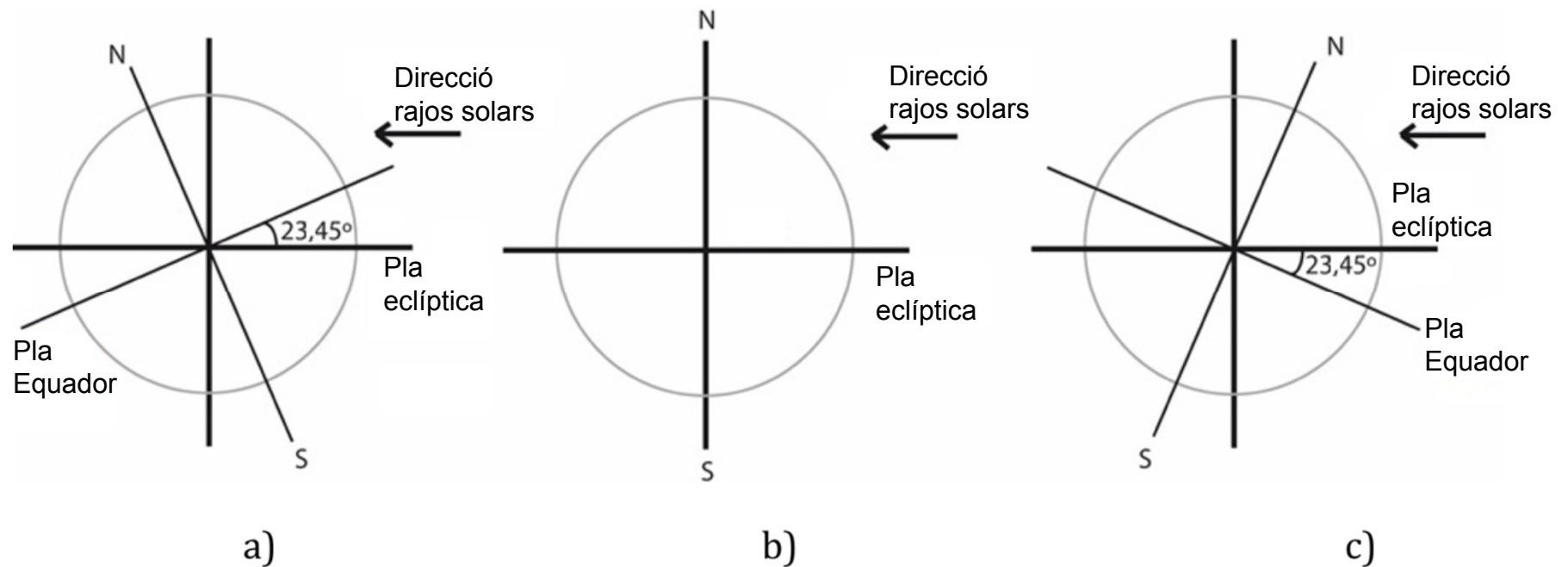
Migdia del solstici
d'estiu



Activitat

Determineu quina seria la inclinació òptima d'un captador situat en la ciutat de València (latitud = $39,47^\circ$ N) en cadascun dels casos següents:

- Solstici d'hivern.
- Equinoccis de primavera i tardor.
- Solstici d'estiu.



Orientació i inclinació del captador

- Si l'orientació i la inclinació del panell són fixes, **per a maximitzar la captació d'energia solar**, la superfície haurà d'estar **orientada cap al sud** (en l'hemisferi nord) i, per tant, l'angle d'azimut ($\gamma = 0^\circ$) ha de ser nul.
- El CTE recomana les següents inclinacions òptimes, depenent del període d'utilització:

- a) Demanda constant anual: la latitud geogràfica.
- b) Demanda preferent a l'hivern: la latitud geogràfica $+10^\circ$.
- c) Demanda preferent a l'estiu: la latitud geogràfica -10° .

Radiació solar sobre superfície horitzontal

Valor mitjà mensual de la radiació global diària horitzontal [$G_{dh}(0)$] [kW-h/(m ² ·dia)]														
Institut	Latitud [°]	Gen	Febrer	Marg	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre	Anual*
Albacete	39,00	2,01	2,96	3,43	4,88	5,45	6,15	6,64	5,82	4,54	4,31	1,88	1,61	4,14
Alicant	38,35	2,60	3,76	4,51	5,76	6,59	7,19	7,25	6,24	5,15	3,72	2,57	2,08	4,78
Almería	36,85	2,48	3,37	4,65	5,68	6,50	6,68	6,82	6,16	4,99	3,83	2,72	2,13	4,67
Asturias	43,37	1,49	2,09	2,90	3,58	4,24	4,62	4,50	3,94	3,36	2,23	1,56	1,19	2,98
Àvila	40,65	1,82	2,83	3,35	4,52	5,48	5,90	6,78	6,30	4,61	3,08	1,79	1,39	3,99
Badajoz	38,88	1,85	2,64	3,65	4,89	5,91	6,48	6,64	5,87	4,58	3,23	2,19	1,55	4,12
Balears	39,57	2,32	3,53	4,02	4,95	6,37	6,92	7,12	6,17	4,89	3,59	2,49	1,80	4,51
Barcelona	41,40	1,72	2,78	3,78	5,05	5,91	6,32	6,21	5,27	4,22	3,27	1,92	1,63	4,01
Burgos	42,33	1,03	2,22	2,99	4,00	5,03	5,95	6,38	5,58	4,01	2,79	1,44	0,81	3,52
Caceres	39,48	1,68	2,67	4,16	5,63	6,43	7,47	8,82	8,12	6,20	3,54	2,14	1,63	4,87
Cádiz	36,47	2,33	3,68	4,57	6,19	7,12	7,59	7,56	7,14	5,70	4,05	2,71	2,19	5,07
Canàries	28,18	2,71	3,25	4,13	4,89	4,96	4,43	4,27	4,16	4,62	3,38	2,68	2,05	3,79
Castelló	39,96	2,11	3,45	4,34	5,14	5,88	6,40	6,49	5,64	4,77	3,37	2,16	1,89	4,30
C. Real	28,98	1,65	2,90	3,51	4,61	5,76	6,40	7,16	6,38	4,84	3,05	1,80	1,28	4,11
Córdoba	37,88	2,06	3,08	3,93	4,78	5,28	6,74	7,15	6,50	5,00	3,30	2,29	1,73	4,32
Cuenca	40,08	1,68	2,56	3,28	4,24	5,19	5,81	6,61	5,96	4,44	3,08	1,78	1,38	3,83
Girona	41,98	2,01	2,83	3,78	4,43	4,99	4,74	6,13	5,02	3,79	2,95	2,06	1,56	3,69
Granada	37,18	1,91	2,69	3,40	4,41	5,17	5,84	6,58	5,22	4,29	3,11	2,06	1,53	3,85
Guadajara	40,63	1,39	2,13	2,76	3,61	4,52	5,10	6,55	5,69	4,04	2,79	1,44	1,16	3,43
Gipuzkoa	43,32	1,32	1,94	2,65	2,81	4,01	4,12	4,15	3,36	3,21	2,52	1,45	1,06	2,72
Huelva	37,27	2,10	3,29	4,39	5,78	6,68	7,12	7,50	6,90	5,73	3,64	2,41	1,86	4,78
Huesca	42,13	1,79	3,19	4,17	4,89	5,72	6,20	6,64	5,76	4,28	3,16	1,88	1,38	4,09
Jàen	37,77	1,74	2,75	4,08	5,02	5,61	6,78	7,45	6,75	5,46	3,23	2,16	1,75	4,40
A Coruña	43,37	1,44	2,12	3,08	4,08	4,17	4,69	5,05	4,15	3,71	2,29	1,74	1,09	3,13
León	42,58	1,56	2,98	3,79	4,81	5,32	6,55	6,89	6,02	4,28	2,95	1,94	1,17	4,02
Lleida	41,68	1,69	3,38	4,33	5,34	6,10	6,74	6,84	5,93	4,65	3,33	1,75	1,11	4,27
Logroño	42,47	1,66	2,68	3,78	5,07	5,90	6,55	7,01	5,94	4,59	3,28	1,87	1,40	4,14
Lugo	43,00	1,07	2,01	2,39	3,77	3,84	4,65	4,73	4,23	3,14	2,54	1,48	0,88	2,89
Madrid	40,42	1,77	2,72	3,93	5,43	5,88	6,54	7,19	6,39	4,48	2,99	2,04	1,74	4,26
Málaga	36,72	2,28	3,21	4,92	5,25	6,34	6,91	7,20	6,20	5,15	3,62	2,82	1,73	4,63
Murcia	37,98	2,65	3,33	4,78	5,93	7,02	7,15	7,48	6,57	5,29	3,86	2,69	2,15	4,91
Ourense	42,33	0,78	1,89	3,91	3,36	2,46	5,33	4,49	5,05	3,49	1,99	1,47	0,68	2,91
Palencia	42,00	1,20	2,81	3,35	4,31	5,59	6,24	6,72	6,07	4,24	3,12	1,76	1,02	3,87
Pamplona	42,81	1,17	1,21	3,06	3,14	4,77	5,55	5,91	4,93	3,73	2,76	1,29	0,90	3,20
Pontevedra	42,43	1,48	2,46	3,35	4,98	4,72	6,40	6,41	5,67	4,02	3,13	1,94	1,37	3,83
Salamanca	40,97	1,62	2,49	3,45	4,86	5,79	6,32	6,41	5,79	4,32	2,97	1,70	1,35	3,92
Santander	43,47	1,31	2,02	2,68	3,15	4,21	4,37	4,20	3,34	3,19	2,50	1,45	0,99	2,78
Segovia	40,95	1,43	2,43	3,08	4,06	4,76	5,72	6,67	6,02	4,30	2,95	1,52	1,16	3,67
Sevilla	37,38	1,99	3,11	4,29	5,48	6,22	6,53	6,61	6,01	4,87	3,35	2,31	1,88	4,39
Soria	41,77	1,46	2,20	2,94	3,85	4,94	5,82	6,49	5,52	3,90	2,52	1,44	1,19	3,52
Tarragona	41,12	2,06	3,21	3,66	4,60	5,13	5,71	5,90	5,05	3,86	3,10	2,04	1,66	3,83
Tenerife	28,47	2,66	3,34	4,42	5,49	6,05	6,72	7,00	6,36	5,19	3,68	2,62	1,99	4,63
Tenual	40,35	1,70	2,59	3,19	4,00	5,20	5,68	6,38	5,63	4,00	2,93	1,67	1,16	3,68
Toledo	39,85	1,77	2,96	3,43	4,77	5,47	6,12	6,90	6,19	4,48	3,07	1,78	1,27	4,02
València	39,48	2,59	3,00	3,85	5,13	6,02	6,07	6,41	6,68	4,45	3,12	2,09	1,84	4,27
Valladolid	41,65	1,24	2,88	3,59	4,71	5,40	6,33	6,93	6,32	4,45	3,03	1,69	1,01	3,97
Vitona	42,85	1,24	2,34	2,78	3,17	4,25	4,69	4,90	4,07	3,21	2,58	1,37	0,89	2,96
Vizcaya	43,30	1,06	1,67	2,45	2,77	3,77	3,73	3,92	3,14	2,98	2,28	1,22	0,85	2,49
Zamora	41,50	1,20	2,92	3,61	4,84	5,49	6,40	6,98	6,16	4,44	2,98	1,74	1,00	3,98
Zaragoza	41,65	1,80	3,14	4,06	4,96	6,06	6,52	6,82	6,20	4,40	3,24	1,82	1,36	4,20

Quanta energia solar arriba a la superfície d'un captador?

- Donat el caràcter aleatori que té el clima, caldrà fer una predicció basada en dades històriques.
- Els valors de radiació solar poden ser obtinguts recurrent a taules o a programes especialitzats.
- De les taules existents en diverses publicacions (com CENSOLAR o PVGIS) podem obtenir l'energia mitjana incident en MJ (o kWh) sobre un m² de superfície horitzontal en un dia de cada mes.

* Valor mitjà anual de la irradiació global diària horitzontal $G_{dh}(0)$

Zones climàtiques a Espanya

El CTE les defineix tenint en compte la radiació solar global mitjana diària anual sobre superfície horitzontal (H):

Font: CTE



Radiació solar sobre superfícies inclinades

Quan es tracta de superfícies inclinades cal aplicar un **factor corrector k** que **depèn de la latitud i la inclinació**. El Plec de condicions tècniques de l'IDAE recull les taules amb el factor corrector que s'ha d'aplicar:

Inclin.	Latitud = 40° (orientació sud)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,07	1,06	1,05	1,03	1,02	1,01	1,02	1,03	1,05	1,08	1,09	1,09
10	1,14	1,11	1,08	1,05	1,03	1,02	1,03	1,06	1,10	1,14	1,17	1,16
15	1,20	1,16	1,12	1,07	1,03	1,02	1,04	1,08	1,14	1,21	1,25	1,24
20	1,25	1,20	1,14	1,08	1,03	1,02	1,03	1,09	1,17	1,26	1,32	1,30
25	1,30	1,23	1,16	1,08	1,02	1,00	1,02	1,09	1,19	1,30	1,38	1,36
30	1,34	1,26	1,17	1,07	1,01	0,98	1,01	1,09	1,20	1,34	1,43	1,41
35	1,37	1,28	1,17	1,06	0,98	0,95	0,98	1,07	1,21	1,37	1,47	1,45
40	1,39	1,29	1,16	1,04	0,95	0,92	0,95	1,05	1,21	1,39	1,50	1,48
45	1,40	1,29	1,15	1,01	0,91	0,88	0,92	1,03	1,20	1,39	1,52	1,50
50	1,41	1,28	1,13	0,98	0,87	0,83	0,87	0,99	1,18	1,39	1,54	1,52
55	1,40	1,27	1,10	0,94	0,82	0,78	0,82	0,95	1,15	1,38	1,54	1,52
60	1,39	1,24	1,07	0,89	0,77	0,72	0,77	0,90	1,12	1,36	1,53	1,51
65	1,37	1,21	1,03	0,84	0,71	0,66	0,71	0,85	1,07	1,34	1,51	1,50
70	1,34	1,17	0,98	0,78	0,64	0,59	0,64	0,79	1,02	1,30	1,49	1,47
75	1,30	1,13	0,92	0,72	0,57	0,52	0,57	0,73	0,97	1,25	1,45	1,44
80	1,25	1,08	0,86	0,65	0,50	0,45	0,50	0,66	0,90	1,20	1,41	1,40
85	1,20	1,02	0,80	0,58	0,43	0,37	0,42	0,58	0,84	1,14	1,35	1,35
90	1,14	0,95	0,73	0,50	0,35	0,29	0,34	0,50	0,76	1,07	1,29	1,29

Font: Plec de condicions tècniques de l'IDAE

Radiació solar sobre superfícies inclinades

En algun cas podem obtenir directament taules d'energia mitjana incident en MJ per m² de superfície inclinada en un dia de cada mes. Per exemple, en AVEN (actual IVACE) en el cas de la Comunitat Valenciana o en [PVGIS](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php) (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>).



Font: Guia AVEN

ángulo	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual	invernal
20	12,9	14,7	18,9	21,2	22,1	23,2	24,0	22,3	20,3	16,4	13,2	11,0	6.602	2.624
25	13,7	15,3	19,3	21,2	21,8	22,6	23,5	22,2	20,5	17,0	14,0	11,8	6.694	2.750
30	14,5	15,9	19,7	21,1	21,3	22,0	22,9	21,9	20,7	17,5	14,7	12,5	6.748	2.858
35	15,2	16,4	19,9	20,9	20,7	21,3	22,2	21,5	20,8	18,0	15,4	13,2	6.763	2.948
40	15,8	16,7	20,0	20,6	20,1	20,5	21,4	21,0	20,7	18,3	15,9	13,7	6.740	3.020
45	16,3	17,0	19,9	20,1	19,3	19,5	20,5	20,4	20,5	18,5	16,3	14,2	6.679	3.072
50	16,7	17,2	19,8	19,5	18,5	18,5	19,5	19,7	20,2	18,6	16,6	14,6	6.580	3.105
55	16,9	17,2	19,5	18,8	17,6	17,5	18,5	18,9	19,7	18,5	16,9	14,8	6.444	3.119
60	17,1	17,2	19,1	18,1	16,5	16,3	17,3	18,0	19,2	18,4	17,0	15,0	6.272	3.112
65	17,1	17,0	18,6	17,2	15,5	15,1	16,1	16,9	18,5	18,1	17,0	15,1	6.065	3.086
70	17,1	16,7	18,0	16,2	14,3	13,9	14,8	15,9	17,7	17,8	16,8	15,0	5.827	3.040

Radiació solar de la província de València en MJ/m²·dia (orientació sud).

Radiació solar sobre superfícies inclinades

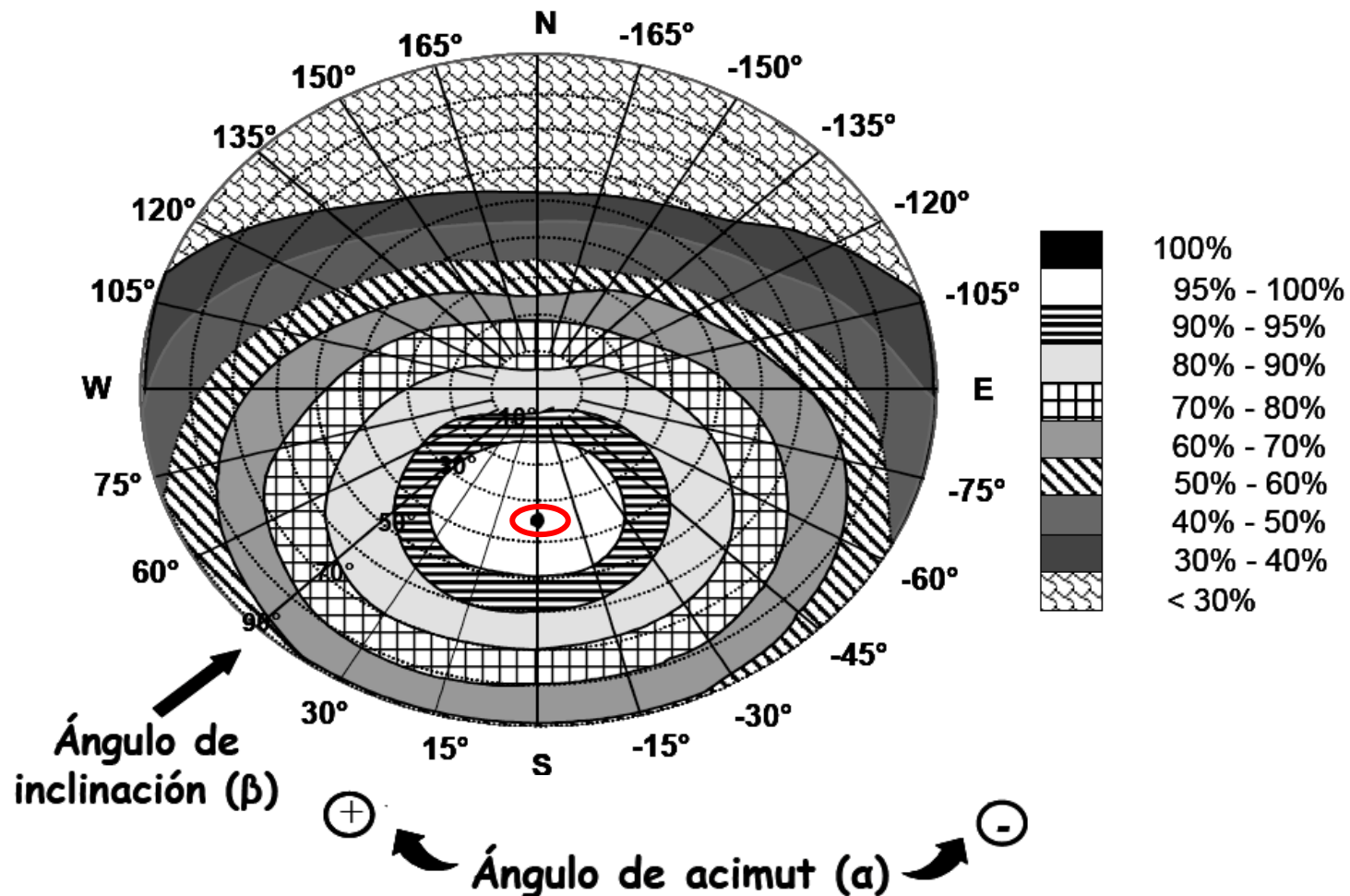
Donades les dades d'irradiació sobre superfície inclinada per a la ciutat de Madrid:

- Indiqueu quina és la inclinació òptima que ha de tenir el captador, si aquest captador ha d'estar funcionant tot l'any.
- I si es decideix prendre una inclinació diferent per als mesos d'hivern i d'estiu?
(hivern: novembre, desembre, gener i febrer; estiu: juny, juliol, agost i setembre)

RADIACIÓ INTERCEPTADA PER UNA SUPERFÍCIE INCLINADA															
Lloc: Madrid															
Latitud: 40,42°															
Orientació: Sud															
	gener	febrer	març	abril	maig	juny	juliol	agost	setembre	octubre	novembre	desembre			
nombre de dies del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31			
Inclinació	Irradiació mitjana diària en cada mes en kJ/(m ² ·dia)												Total anual (kJ/m ² ·any)	Total mesos d'estiu (kJ/m ² ·4mesos)	Total mesos d'hivern (kJ/m ² ·4mesos)
0°	6.362	9.798	14.150	19.552	21.184	23.530	25.874	22.986	16.118	10.762	7.326	6.236	5.604.298	2.704.100	884.662
5°	7.054	10.584	14.868	19.990	21.388	23.614	26.048	23.438	16.790	11.496	8.078	7.088	5.803.292	2.746.186	977.094
10°	7.704	11.316	15.504	20.410	21.480	23.566	26.072	23.754	17.366	12.168	8.782	7.892	5.972.362	2.772.566	1.063.784
15°	8.312	11.982	16.048	20.712	21.444	23.382	25.940	23.970	17.840	12.770	9.440	8.654	6.107.994	2.783.870	1.144.642
20°	8.870	12.576	16.504	20.902	21.298	23.072	25.658	24.064	18.214	13.300	10.042	9.368	6.209.950	2.779.962	1.218.766
25°	9.380	13.098	16.862	20.966	21.072	22.648	25.274	24.018	18.484	13.752	10.582	10.022	6.278.924	2.762.012	1.285.666
30°	9.832	13.544	17.122	20.910	20.726	22.138	24.764	23.826	18.638	14.124	11.060	10.612	6.312.798	2.729.570	1.344.796
35°	10.224	13.904	17.282	20.730	20.270	21.508	24.114	23.496	18.694	14.410	11.472	11.138	6.310.386	2.681.970	1.395.694
40°	10.554	14.184	17.342	20.436	19.702	20.764	23.330	23.024	18.634	14.612	11.814	11.592	6.271.428	2.618.914	1.438.098
45°	10.818	14.378	17.300	20.024	19.026	19.908	22.406	22.420	18.474	14.728	12.082	11.972	6.195.994	2.541.066	1.471.534
50°	11.014	14.482	17.154	19.494	18.250	18.944	21.360	21.688	18.198	14.754	12.274	12.278	6.084.234	2.448.748	1.495.768
55°	11.148	14.498	16.908	18.860	17.380	17.884	20.200	20.828	17.818	14.692	12.390	12.502	5.937.902	2.342.928	1.510.794
60°	11.206	14.428	16.566	18.118	16.424	16.780	18.948	19.852	17.338	14.542	12.430	12.646	5.759.668	2.226.340	1.516.296
65°	11.194	14.266	16.128	17.278	15.432	15.638	17.680	18.768	16.756	14.308	12.394	12.706	5.554.124	2.101.708	1.512.168
70°	11.114	14.022	15.596	16.342	14.384	14.426	16.320	17.586	16.084	13.984	12.278	12.686	5.318.286	1.966.386	1.498.756
75°	10.966	13.686	14.974	15.324	13.266	13.150	14.886	16.366	15.320	13.582	12.084	12.584	5.054.892	1.822.912	1.475.778
80°	10.750	13.274	14.274	14.238	12.094	11.820	13.380	15.062	14.472	13.100	11.820	12.400	4.765.032	1.670.462	1.443.922
85°	10.464	12.782	13.488	13.108	10.874	10.524	11.820	13.682	13.552	12.538	11.480	12.136	4.452.878	1.512.842	1.402.896
90°	10.118	12.212	12.634	11.916	9.650	9.270	10.384	12.244	12.554	11.906	11.068	11.792	4.126.744	1.356.188	1.353.186

Pèrdues per orientació – inclinació

L'anomenada “**Carta d'irradiació**” permet determinar els límits d'inclinació del captador, per a un valor de pèrdues d'inclinació determinat. Aquesta carta és vàlida per a una latitud de 41° .



Font: Plec de condicions tècniques de l'IDAE

Pèrdues per orientació – inclinació

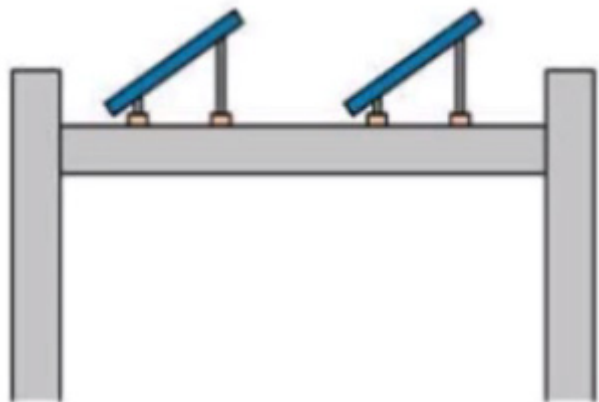
Exigències de CTE: Document HE4

La orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla 2.4.

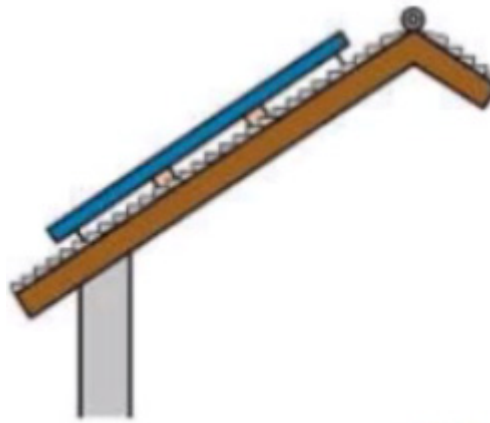
Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Font: CTE

General



Superposició



Integració arquitectònica



Pèrdues per orientació – inclinació

Exemple 1: Avaluar si les pèrdues per orientació i inclinació estan per sota del límit de pèrdues del 10% del cas general per a una superfície captadora instal·lada sobre coberta plana, inclinada 40° respecte a l'horitzontal, orientada 15° cap a l'oest (azimut = $+15^\circ$) i situada a l'arxipèlag canari (latitud de 29°).

El procediment que cal seguir és el següent:

- 1) Conegut l'azimut, determinem gràficament els límits per a la inclinació de la superfície captadora per a una latitud de 41° . Els punts d'intersecció del límit de pèrdues amb la recta de l'azimut ens proporcionen els valors d'inclinació màxima i mínima.
- 2) Corregim per a la latitud del lloc, d'acord amb les expressions:

$$\beta_{\max} = \beta_{\max_{41^\circ}} - (41^\circ - \text{latitud})$$

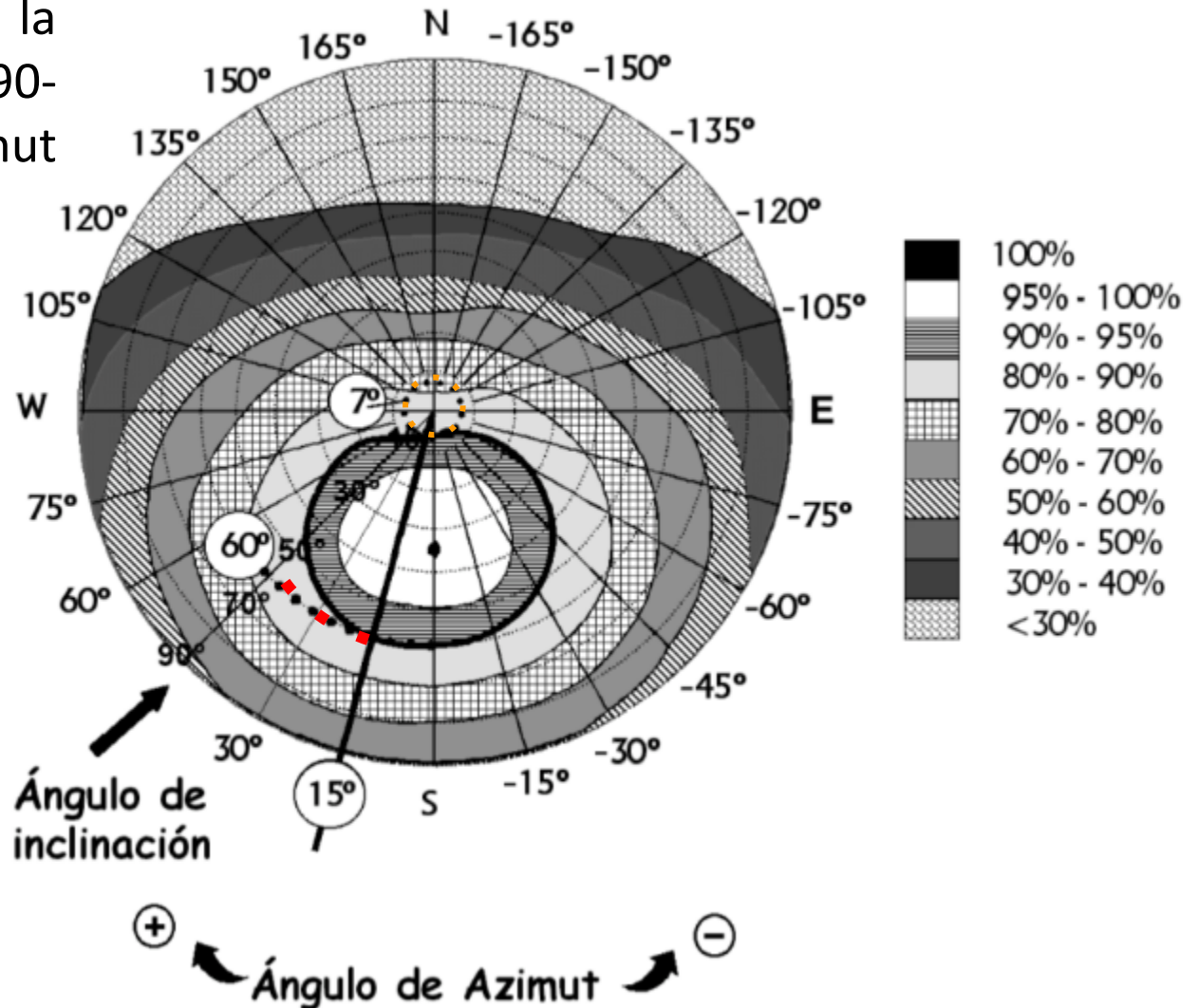
$$\beta_{\min} = \beta_{\min_{41^\circ}} - (41^\circ - \text{latitud}); \text{ sent } 5^\circ \text{ el seu valor mínim}$$

Pèrdues per orientació – inclinació

Resolució de l'exemple (Pas 1):

Els punts d'intersecció de la vora exterior de la regió 90-95% amb la recta d'azimut ens donen:

$$\beta_{\max_{41^\circ}} = 60^\circ$$
$$\beta_{\min_{41^\circ}} = 7^\circ$$



Pèrdues per orientació – inclinació

Resolució de l'exemple (Pas 2):

$$\beta_{\max} = \beta_{\max_{41^\circ}} - (41^\circ - \text{latitud}) = 60^\circ - (41^\circ - 29^\circ) = 48^\circ$$

$$\beta_{\min} = \beta_{\min_{41^\circ}} - (41^\circ - \text{latitud}) = 7^\circ - (41^\circ - 29^\circ) = -5^\circ \rightarrow 5^\circ$$

El resultat de l'expressió per a β_{\min} està fora del rang, i per això agafem com a inclinació mínima 5° .

Per tant, la instal·lació de la superfície captadora, amb una inclinació de 40° , compleix que les seues pèrdues per orientació i inclinació estan per sota del límit de pèrdues del 10%.

LIMITS ADMISSIBLES DE PÈRDUES → CODI TÈCNIC DE L'EDIFICACIÓ.

Pèrdues per orientació – inclinació

Exemple 2: Una instal·lació situada a Sevilla (latitud de $37,4^\circ$) té una desviació respecte al sud de 30° E i una inclinació dels col·lectors de 35° . La instal·lació respon al cas general. Comproveu que no supera el 10% de les pèrdues que indica el CTE.

Sol: $\beta_{\max} = 48,4^\circ$, $\beta_{\min} = 5^\circ$

Exemple 3: Una instal·lació situada a Saragossa (latitud de $41,7^\circ$) té una desviació respecte al sud de 45° O i una inclinació dels col·lectors de 50° . La instal·lació respon al cas de superposició arquitectònica i presenta demanda preferentment a l'estiu. Comproveu que no supera el 20% de pèrdues que indica el CTE.

Sol: $\beta_{\max} = 65,7^\circ$, $\beta_{\min} = 5^\circ$; Pèrdues(%)=11,09%

En casos prop del límit, i com a instrument de verificació, s'utilitzarà la següent fórmula:

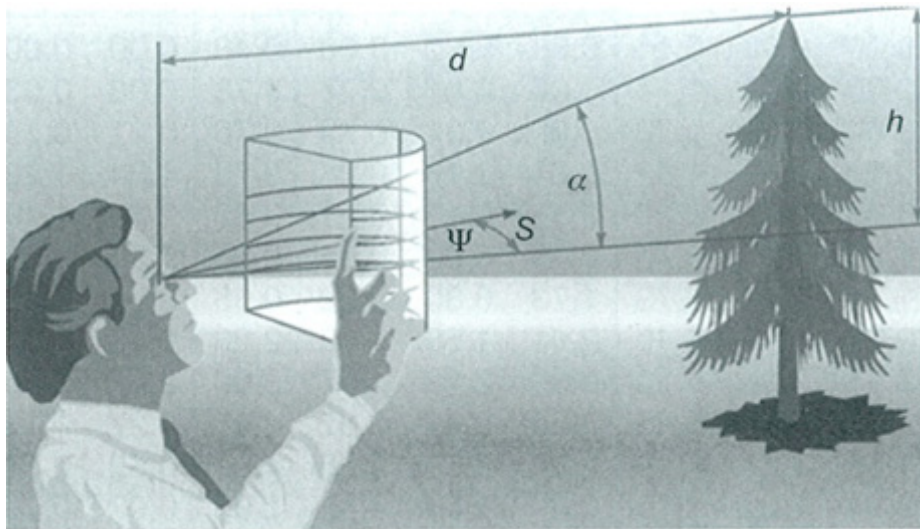
$$\text{Pèrdues (\%)} = 100 \cdot \left[1,2 \cdot 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2 \right] \quad \text{per a } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$\text{Pèrdues (\%)} = 100 \cdot \left[1,2 \cdot 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 \right] \quad \text{per a } \beta \leq 15^\circ$$

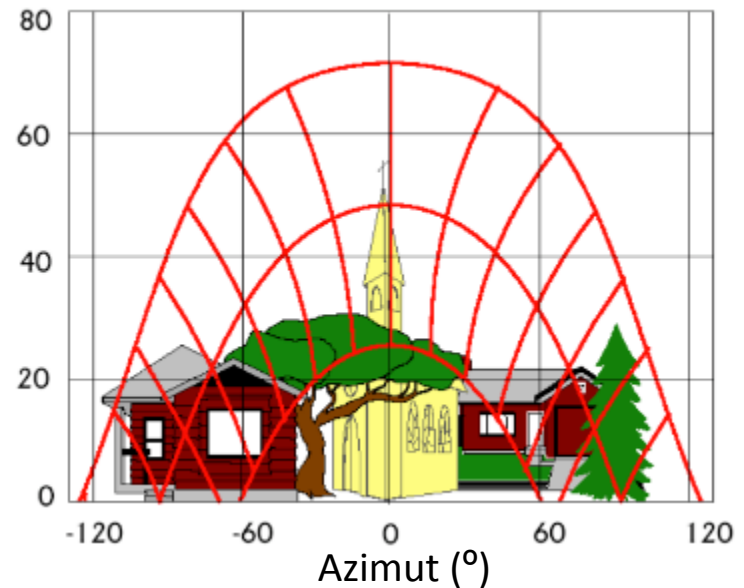
Nota : α i β en graus

Ombres per obstacles en l'horitzó

Per a identificar les pèrdues de radiació a causa de les ombres produïdes per obstacles en l'horitzó, s'ha de tenir en compte el diagrama de trajectòries del Sol i unes taules de referència indicades en el Codi tècnic de l'edificació (CTE):



Alçada (°)

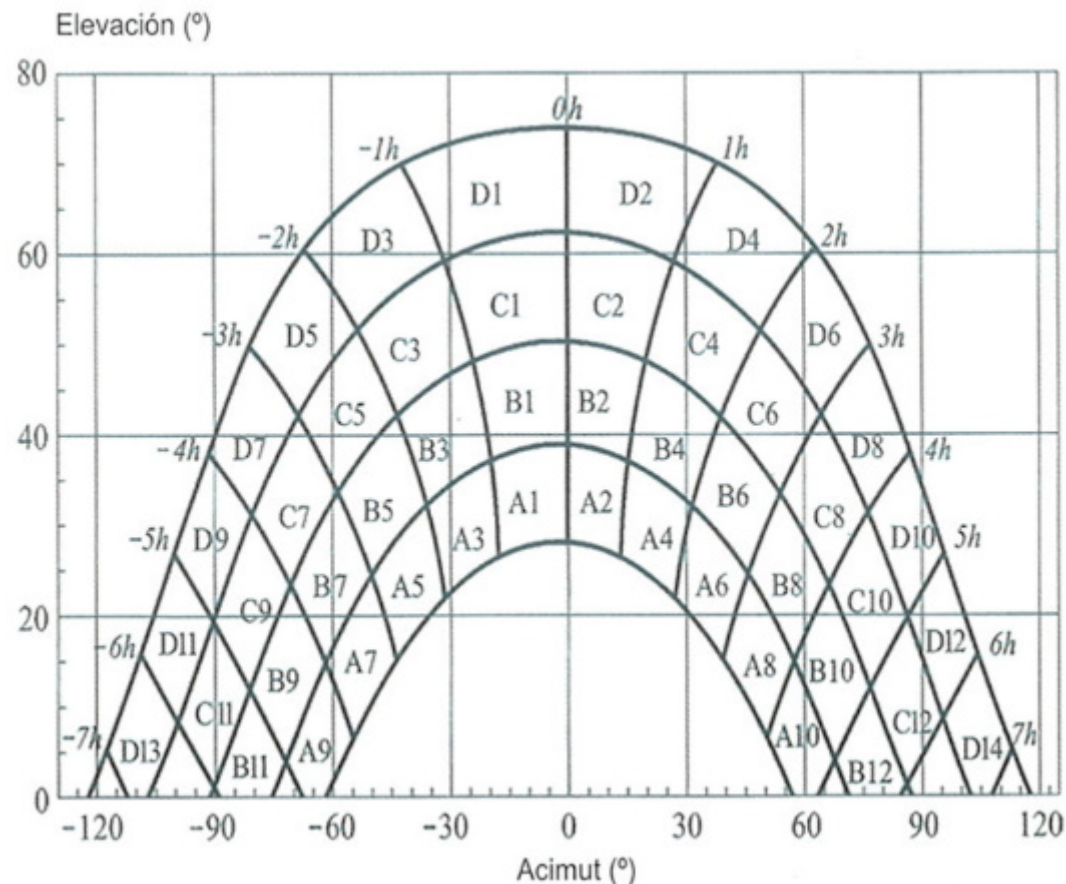


- Sobre la carta solar es representa la panoràmica del paisatge, utilitzant dos senzills instruments: la brúixola, per a determinar l'orientació respecte al sud o azimut de cada punt singular, i l'inclinòmetre, per a determinar la inclinació de la visual, o alçada real de l'obstacle sobre l'horitzó.

Ombres per obstacles en l'horitzó

- El perfil d'obstacles es representa en el diagrama de la figura, que mostra la **banda de trajectòries del Sol al llarg de tot l'any, vàlid per a localitats de la península Ibèrica i Balears** (per a les illes Canàries el diagrama ha de desplaçar-se 12° en sentit vertical ascendent).

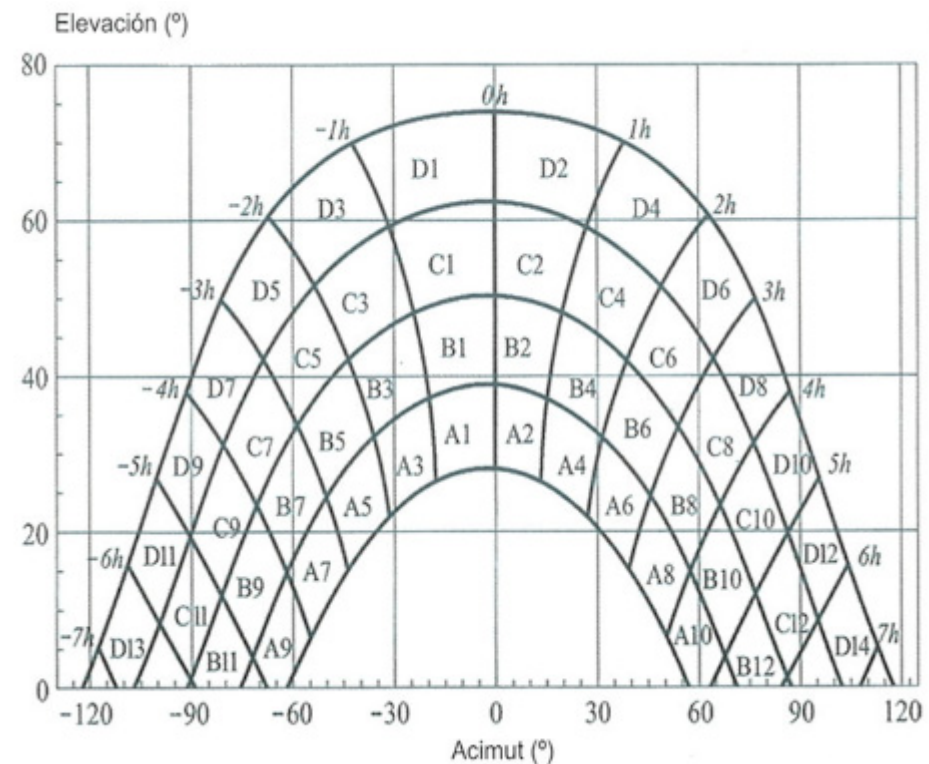
- Aquesta banda està dividida en porcions, delimitades per les hores solars (negatives abans del migdia solar i positives després d'aquest) i identificades per una lletra i un número (A1, A2,... D14).



Font: Plec de condicions tècniques de l'IDAE

Ombres per obstacles en l'horitzó

- Cada porció representa el recorregut del Sol en un cert període de temps (una hora al llarg de diversos dies) i té, per tant, una determinada contribució a la irradiació solar global anual que incideix sobre la superfície d'estudi. Així, el fet que un obstacle cobrisca una de les porcions suposa una certa pèrdua d'irradiació, en particular aquella que resulte interceptada per l'obstacle.
- La comparació del perfil d'obstacles amb el diagrama de trajectòries del Sol permet calcular les pèrdues per ombreig de la irradiació solar global que incideix sobre la superfície, al llarg de tot l'any. Per a obtenir-les s'han de sumar les contribucions d'aquelles porcions que resulten totalment o parcialment ocultes pel perfil d'obstacles representat. **En el cas d'ocultació parcial s'utilitzarà el factor d'ompliment (fracció oculta respecte del total de la porció) més pròxim als valors: 0,25; 0,50; 0,75 o 1.**



Font: Plec de condicions tècniques de l'IDAE

Ombres per obstacles en l'horitzó

Taules de referència del plec de condicions tècniques de l'IDAE:

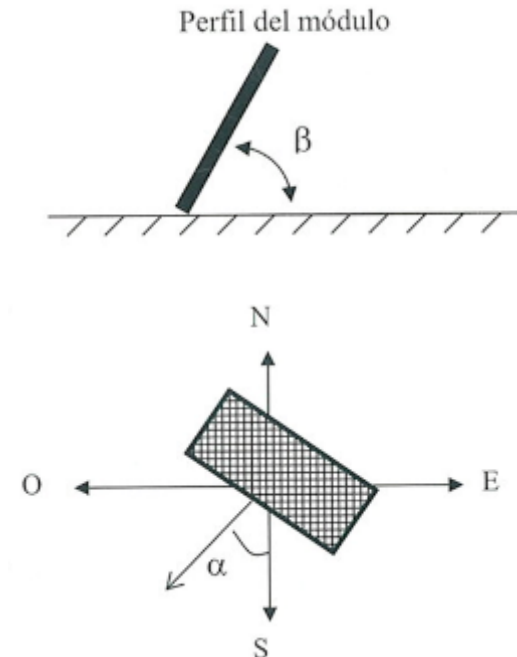
Tabla B.1

	$\beta=35^\circ; \alpha=0^\circ$				$\beta=0^\circ; \alpha=0^\circ$				$\beta=90^\circ; \alpha=0^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,01	0,12	0,44	0,00	0,01	0,18	1,05	0,00	0,01	0,02	0,15	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,13	0,41	0,62	1,49	0,05	0,32	0,70	2,23	0,23	0,50	0,37	0,10	0,02	0,10	0,19	0,56
7	1,00	0,95	1,27	2,76	0,52	0,77	1,32	3,56	1,66	1,06	0,93	0,78	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,84	1,50	1,83	3,87	1,11	1,26	1,85	4,66	2,76	1,62	1,43	1,68	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,70	1,88	2,21	4,67	1,75	1,60	2,20	5,44	3,83	2,00	1,77	2,36	2,24	1,60	1,92	4,14
1	3,17	2,12	2,43	5,04	2,10	1,81	2,40	5,78	4,36	2,23	1,98	2,69	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,17	2,12	2,33	4,99	2,11	1,80	2,30	5,73	4,40	2,23	1,91	2,66	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,70	1,89	2,01	4,46	1,75	1,61	2,00	5,19	3,82	2,01	1,62	2,26	2,93	2,08	2,23	5,02
6	1,79	1,51	1,65	3,63	1,09	1,26	1,65	4,37	2,68	1,62	1,30	1,58	2,14	1,82	2,00	4,46
8	0,98	0,99	1,08	2,55	0,51	0,82	1,11	3,28	1,62	1,09	0,79	0,74	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,11	0,42	0,52	1,33	0,05	0,33	0,57	1,98	0,19	0,49	0,32	0,10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,02	0,10	0,40	0,00	0,02	0,15	0,96	0,00	0,02	0,02	0,13	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla B.2

	$\beta=90^\circ; \alpha=30^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=60^\circ$				$\beta=90^\circ; \alpha=60^\circ$				$\beta=35^\circ; \alpha=-30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,06	0,01	0,15	0,51	0,00	0,00	0,08	0,16	0,00	0,01	0,27	0,78	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,56	0,06	0,14	0,43	0,02	0,04	0,04	0,02	0,09	0,21	0,33	0,76	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,80	0,04	0,07	0,31	0,02	0,13	0,31	1,02	0,21	0,18	0,27	0,70	1,34	1,28	1,73	3,79
5	3,06	0,55	0,22	0,11	0,64	0,68	0,97	2,39	0,10	0,11	0,21	0,52	2,17	1,79	2,21	4,70
3	4,14	1,16	0,87	0,67	1,55	1,24	1,59	3,70	0,45	0,03	0,05	0,25	2,90	2,05	2,43	5,20
1	4,87	1,73	1,49	1,86	2,35	1,74	2,12	4,73	1,73	0,80	0,62	0,55	3,12	2,13	2,47	5,20
2	5,20	2,15	1,88	2,79	2,85	2,05	2,38	5,40	2,91	1,56	1,42	2,26	2,88	1,96	2,19	4,77
4	5,02	2,34	2,02	3,29	2,86	2,14	2,37	5,53	3,59	2,13	1,97	3,60	2,22	1,60	1,73	3,91
6	4,46	2,28	2,05	3,36	2,24	2,00	2,27	5,25	3,35	2,43	2,37	4,45	1,27	1,11	1,25	2,84
8	3,54	1,92	1,71	2,98	1,51	1,61	1,81	4,49	2,67	2,35	2,28	4,65	0,52	0,57	0,65	1,64
10	2,26	1,19	1,19	2,12	0,23	0,94	1,20	3,18	0,47	1,64	1,82	3,95	0,02	0,10	0,15	0,50
12	1,17	0,12	0,53	1,22	0,00	0,09	0,52	1,96	0,00	0,19	0,97	2,93	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,22	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,08

β i α són els angles d'inclinació i orientació de la superfície captadora respectivament



Ombres per obstacles en l'horitzó

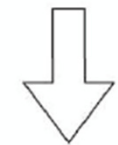
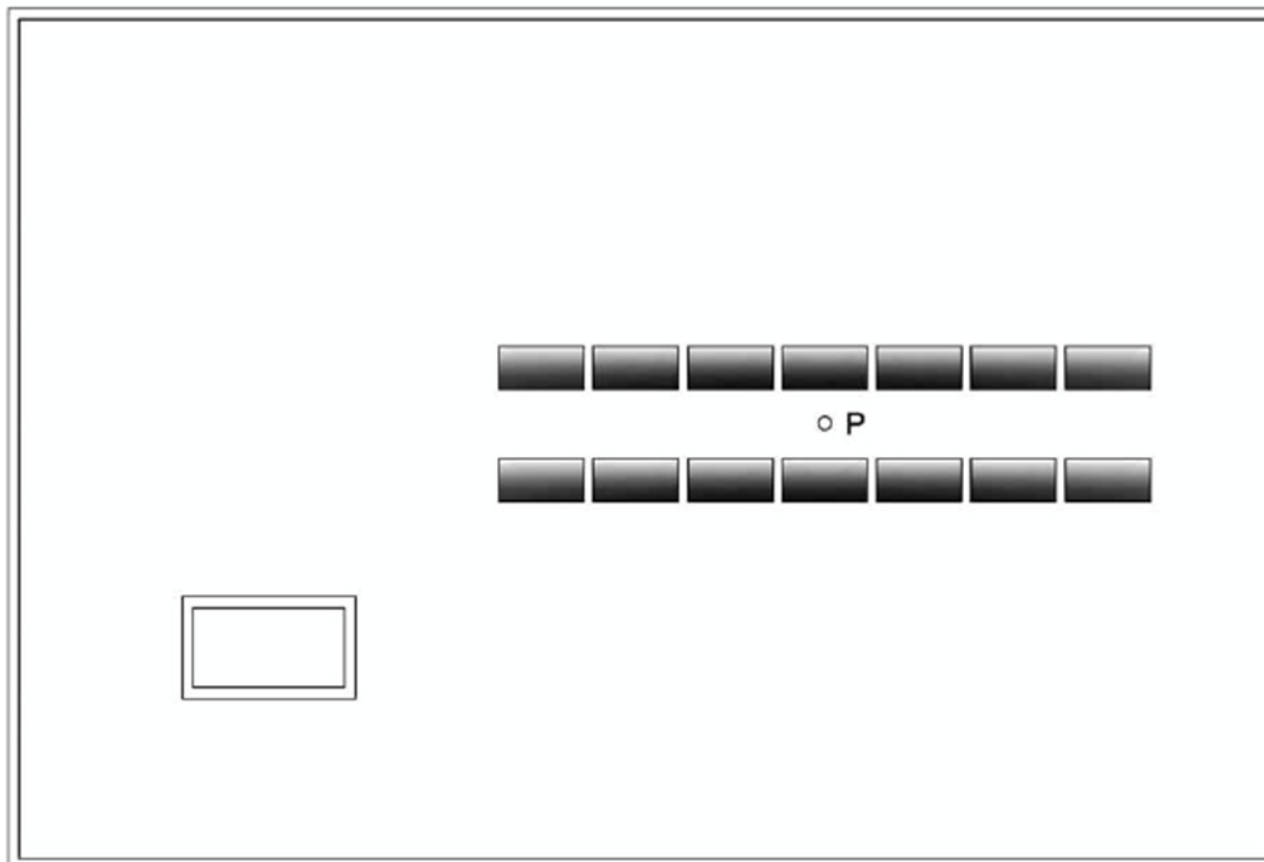
Taules de referència del plec de condicions tècniques de l'IDAE:

Tabla B.3

	$\beta=90^\circ ; \alpha= -30^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha= -60^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha= -60^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,05	0,60	1,28	0,00	0,04	0,60	2,09	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,43	1,17	1,38	2,30	0,27	0,91	1,42	3,49	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,42	1,82	1,98	3,15	1,51	1,51	2,10	4,76	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,43	2,24	2,24	3,51	2,25	1,95	2,48	5,48	3,36	2,37	2,56	4,61
3	4,12	2,29	2,18	3,38	2,80	2,08	2,56	5,68	3,49	2,06	2,10	3,67
1	4,05	2,11	1,93	2,77	2,78	2,01	2,43	5,34	2,81	1,52	1,44	2,22
2	3,45	1,71	1,41	1,81	2,32	1,70	2,00	4,59	1,69	0,78	0,58	0,53
4	2,43	1,14	0,79	0,64	1,52	1,22	1,42	3,46	0,44	0,03	0,05	0,24
6	1,24	0,54	0,20	0,11	0,62	0,67	0,85	2,20	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,40	0,03	0,06	0,31	0,02	0,14	0,26	0,92	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,01	0,06	0,12	0,39	0,02	0,04	0,03	0,02	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,01	0,13	0,45	0,00	0,01	0,07	0,14	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,36

Ombres per obstacles en l'horitzó

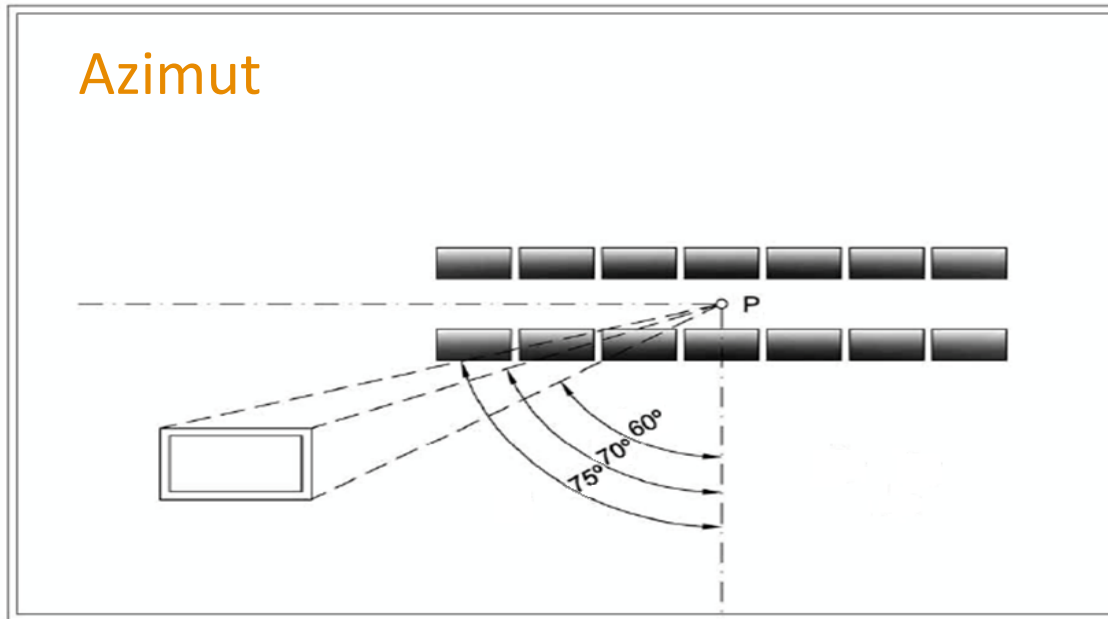
Exemple 1: En el terrat d'una terrassa es distribueixen dues files de captadors solars orientats al sud i amb una inclinació de 40° . La caseta d'entrada, representada de forma aproximada com un cub, projecta una determinada ombra sobre els captadors. Calculeu les pèrdues per ombres.



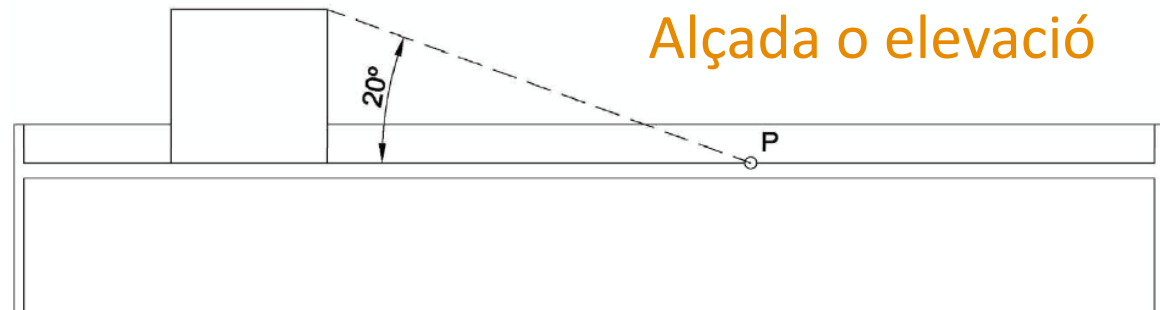
SUD

Ombres per obstacles en l'horitzó

Situant l'observador en un punt central del banc de captadors i mirant al sud, veiem la distància angular de cadascun dels vèrtexs d'aquest obstacle (azimut):

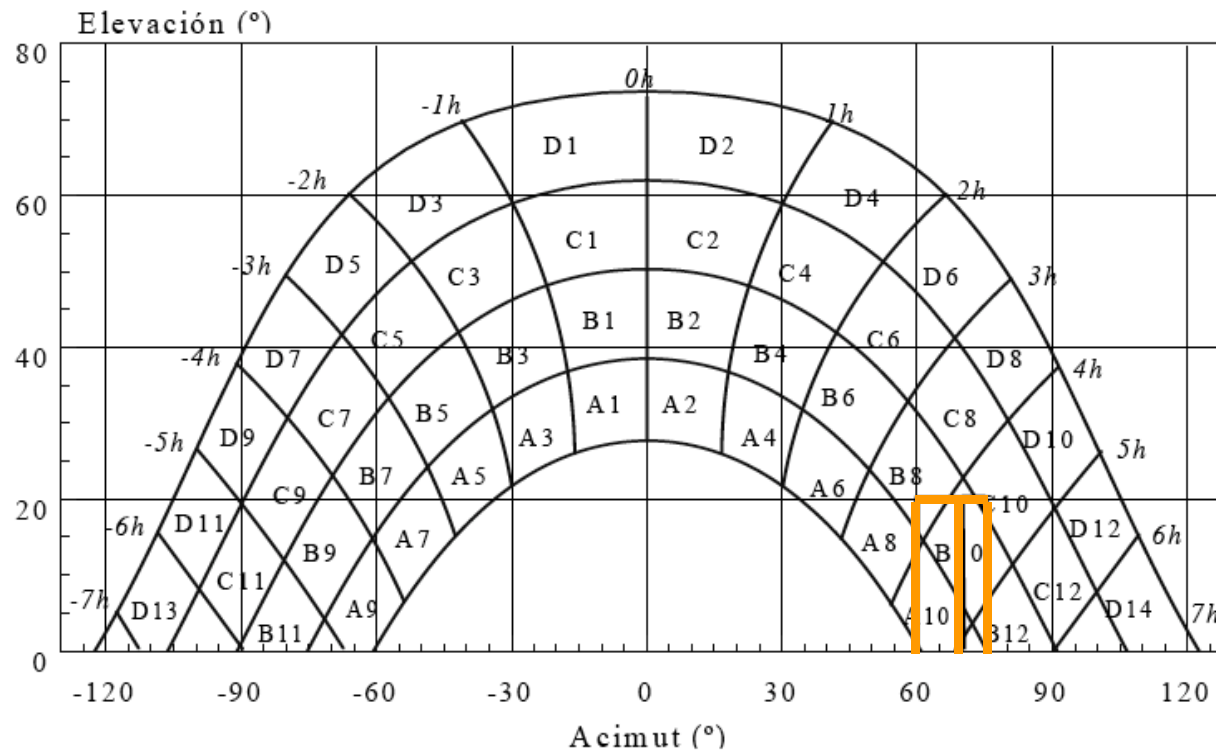


Per al càlcul de l'alçada o elevació de l'obstacle:



Ombres per obstacles en l'horitzó

Sobre la carta solar es perfila l'obstacle i amb aquest s'obtenen les porcions afectades per ombra.



Porció: A10: 75%
Porció: B10: 75%
Porció: B12: 25%
Porció: B8: 25%

Es confecciona una expressió amb la qual s'obté el percentatge de pèrdues.

Ombres per obstacles en l'horitzó

Tabla B.1

	$\beta=35^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=0^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha=0^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,01	0,12	0,44	0,00	0,01	0,18	1,05	0,00	0,01	0,02	0,15	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,13	0,41	0,62	1,49	0,05	0,32	0,70	2,23	0,23	0,50	0,37	0,10	0,02	0,10	0,19	0,56
7	1,00	0,95	1,27	2,76	0,52	0,77	1,32	3,56	1,66	1,06	0,93	0,78	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,84	1,50	1,83	3,87	1,11	1,26	1,85	4,66	2,76	1,62	1,43	1,68	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,70	1,88	2,21	4,67	1,75	1,60	2,20	5,44	3,83	2,00	1,77	2,36	2,24	1,60	1,92	4,14
1	3,17	2,12	2,43	5,04	2,10	1,81	2,40	5,78	4,36	2,23	1,98	2,69	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,17	2,12	2,33	4,99	2,11	1,80	2,30	5,73	4,40	2,23	1,91	2,66	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,70	1,89	2,01	4,46	1,75	1,61	2,00	5,19	3,82	2,01	1,62	2,26	2,93	2,08	2,23	5,02
6	1,79	1,51	1,65	3,63	1,09	1,26	1,65	4,37	2,68	1,62	1,30	1,58	2,14	1,82	2,00	4,46
8	0,98	0,99	1,08	2,55	0,51	0,82	1,11	3,28	1,62	1,09	0,79	0,74	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,11	0,42	0,52	1,33	0,05	0,33	0,57	1,98	0,19	0,49	0,32	0,10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,02	0,10	0,40	0,00	0,02	0,15	0,96	0,00	0,02	0,02	0,13	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,22

Porció: A10: 0,75

Porció: B10: 0,75

Porció: B12: 0,25

Porció: B8: 0,25

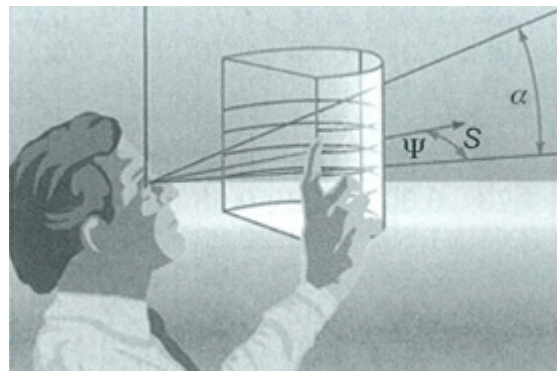
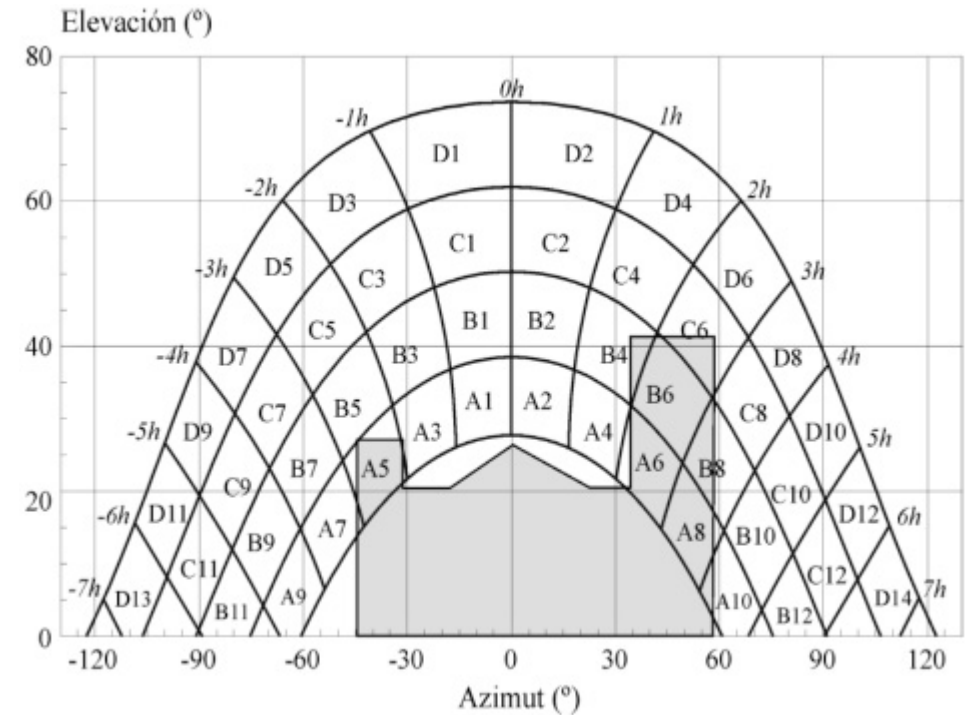
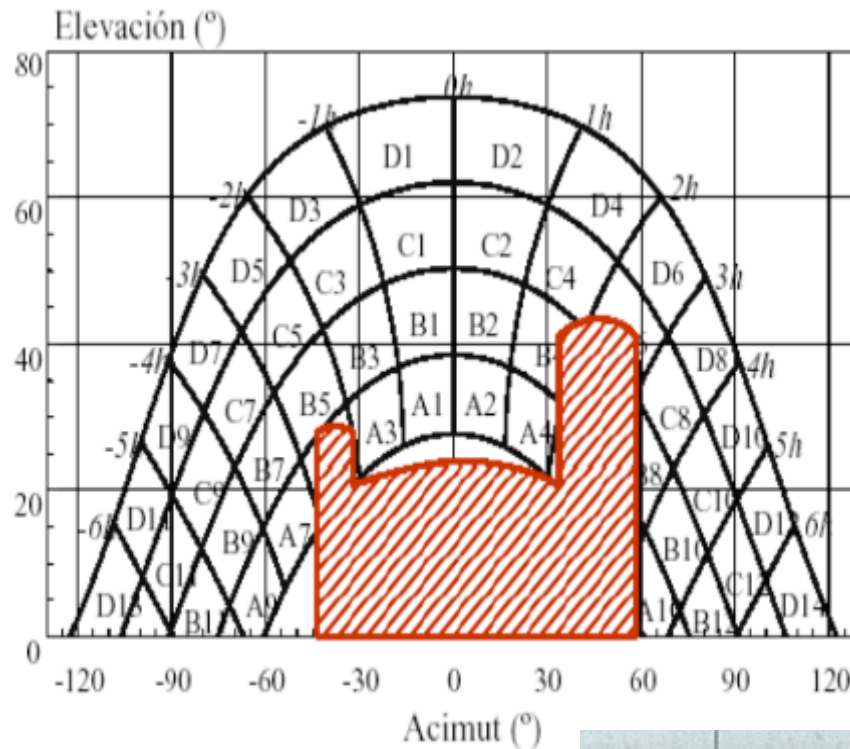
Pèrdues per ombres:

$$P(\%) = 0,75 \times 0,11 + 0,75 \times 0,42 + 0,25 \times 0,02 + 0,25 \times 0,99$$

$$P(\%) = 0,65\%$$

Ombres per obstacles en l'horitzó

Exemple 2: Superfície situada a Madrid inclinada 30° , orientada 10° al sud-est i amb el següent horitzó d'obstacles.



Ombres per obstacles en l'horitzó

Resolució de l'exemple 2 (continuació):

Es tria la taula del plec de condicions tècniques de l'IDAE d'orientació i inclinació més pròximes a les de l'exemple:

Es calcula el factor d'ombres: suma de les contribucions de les caselles tapades (% de pèrdues respecte de la irradiació global anual)

Pèrdues per ombreig (% d'irradiació global incident anual) = $0,25 \cdot B_4 + 0,5 \cdot A_5 + 0,75 \cdot A_6 + B_6 + 0,25 \cdot C_6 + A_8 + 0,5 \cdot B_8 + 0,25 \cdot A_{10}$
= $0,25 \cdot 1,89 + 0,5 \cdot 1,84 + 0,75 \cdot 1,79 + 1,51 + 0,25 \cdot 1,65 + 0,98 + 0,5 \cdot 0,99 + 0,25 \cdot 0,11 = 6,16\% \approx 6\%$

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

LÍMITS ADMISSIBLES → CODI TÈCNIC DE L'EDIFICACIÓ.

Pèrdues totals per O-I i ombres

Exemple 3: Avalueu si les pèrdues per orientació-inclinació i ombres estan per sota del límit permès pel CTE per a una superfície captadora SUPERPOSADA a una coberta inclinada 35° i orientada 30° cap a l'est (azimut= -30°), situada a Alacant (latitud de $38,4^\circ$), amb demanda preferentment a l'estiu i el següent horitzó d'obstacles:

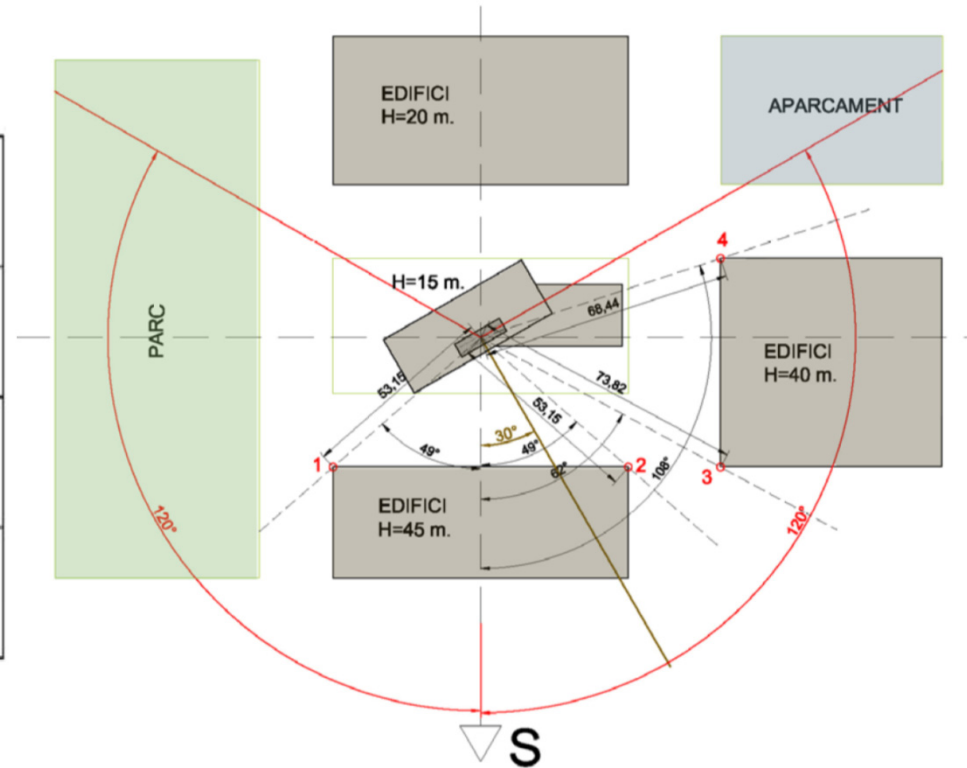
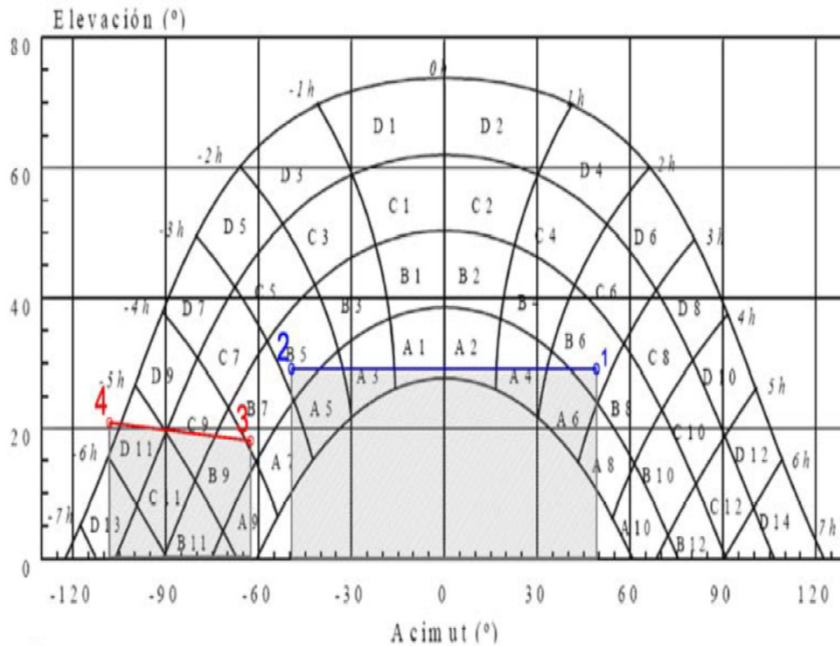


Tabla 2.4 Pérdidas límite
Orientación e inclinación

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

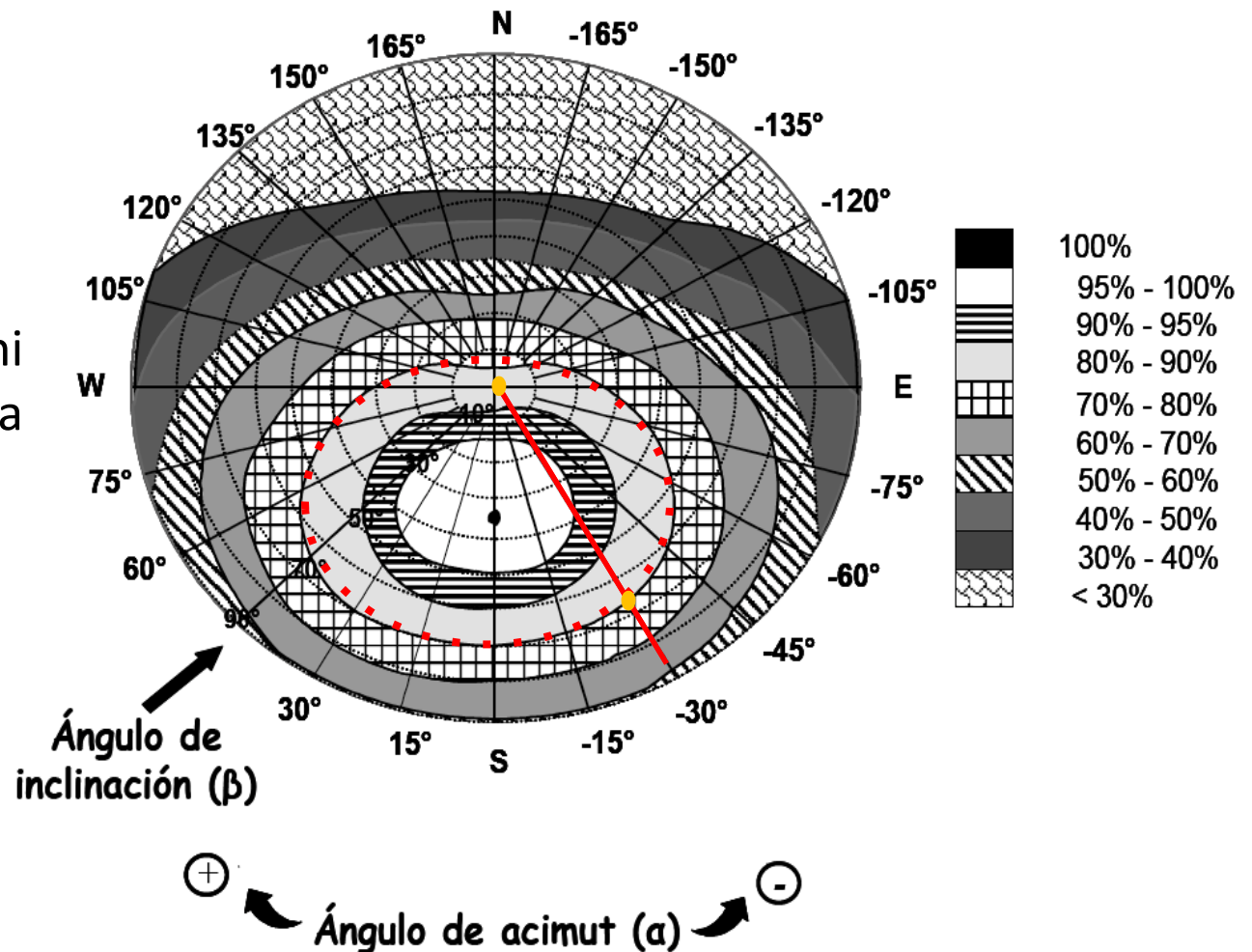
Pèrdues totals per O-I i ombres

Pèrdues per orientació-inclinació:

Els punts d'intersecció de la vora interior de la regió 80-90% amb la recta d'azimut ens donen:

$$\beta_{\max_{41^\circ}} = 65^\circ$$

$\beta_{\min_{41^\circ}} = 0^\circ$ (ja que no hi ha intersecció amb la línia de -30°)



Pèrdues totals per O-I i ombres

$$\beta_{\max} = \beta_{\max_{41^\circ}} - (41^\circ - \text{latitud}) = 65^\circ - (41^\circ - 38,4^\circ) = 62,4^\circ$$

$$\beta_{\min} = \beta_{\min_{41^\circ}} - (41^\circ - \text{latitud}) = 0^\circ - (41^\circ - 38,4^\circ) = -2,6^\circ \rightarrow 5^\circ$$

El resultat de l'expressió per a β_{\min} està fora del rang, i per això agafem com a inclinació mínima 5° .

Per tant, la instal·lació de la superfície captadora, compleix que les seues pèrdues per orientació i inclinació estan per sota del límit de pèrdues del 20%.

Si emprem la fórmula de verificació:

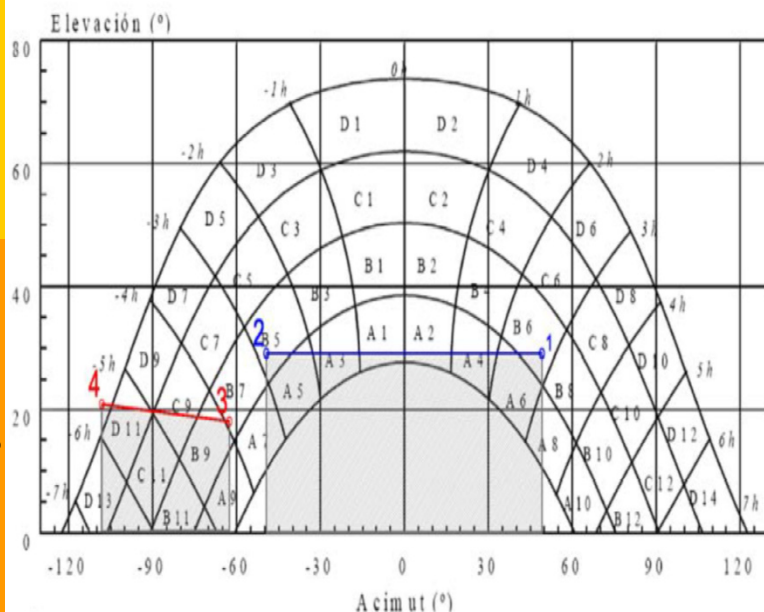
$$15^\circ < \beta < 90^\circ \Rightarrow P\% = 100 [1,2 \cdot 10^{-4} (\beta - \Phi + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2]$$

$$P\% = 100 [1,2 \cdot 10^{-4} (35 - 38,4 + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} (-30)^2] = \mathbf{3,67 \% < 20 \%}$$

On $\beta_{\text{opt}} = \Phi - 10$, donat que la instal·lació s'utilitza preferentment a l'estiu.

Pèrdues totals per O-I i ombres

Pèrdues per ombres:



$\beta=35^\circ; \alpha=-30^\circ$

	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,34	1,28	1,73	3,79
5	2,17	1,79	2,21	4,70
3	2,90	2,05	2,43	5,20
1	3,12	2,13	2,47	5,20
2	2,88	1,96	2,19	4,77
4	2,22	1,60	1,73	3,91
6	1,27	1,11	1,25	2,84
8	0,52	0,57	0,65	1,64
10	0,02	0,10	0,15	0,50
12	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,00	0,00	0,00	0,08

Porcions	% Ocupació	Coefficient	% Pèrdues
D13	50 %	0,22	0,11
D11	75 %	1,26	0,945
C11	100 %	0,37	0,37
C9	25 %	1,05	0,2625
B11	100 %	0,03	0,03
B9	75 %	0,70	0,525
B5	25 %	1,79	0,4475
B6	25 %	1,11	0,2775
A9	50 %	0,21	0,105
A7	25 %	1,34	0,335
A5	100 %	2,17	2,17
A3	50 %	2,90	1,45
A1	25 %	3,12	0,78
A2	25 %	2,88	0,72
A4	50 %	2,22	1,11
A6	100 %	1,27	1,27
A8	25 %	0,52	0,13
Σ TOTAL			11,0375

Pèrdues per ombreig (% d'irradiació global incident anual) $\approx 11,04\% < 15\%$

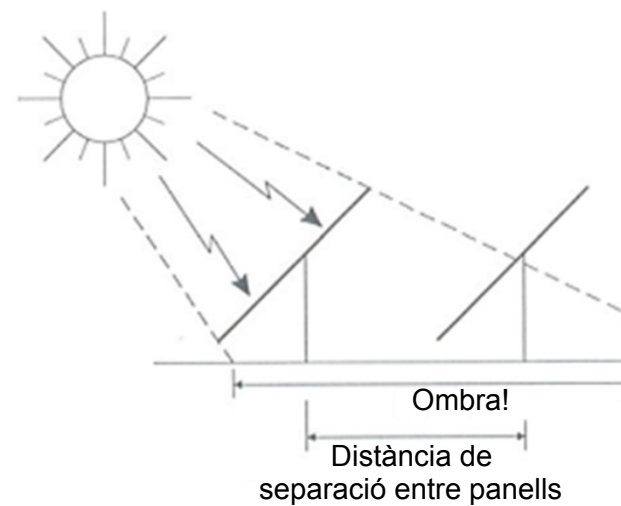
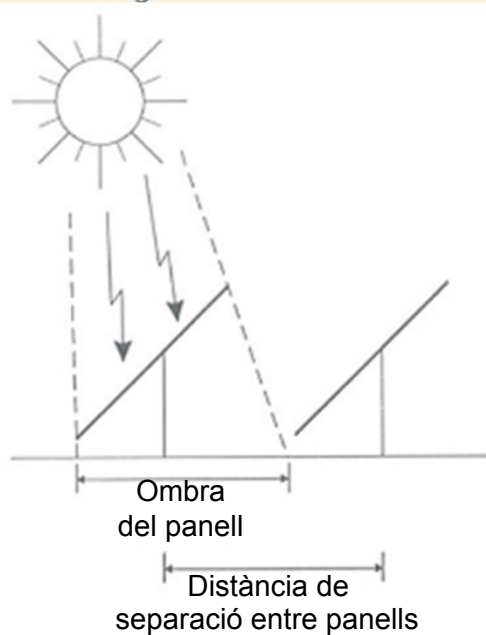
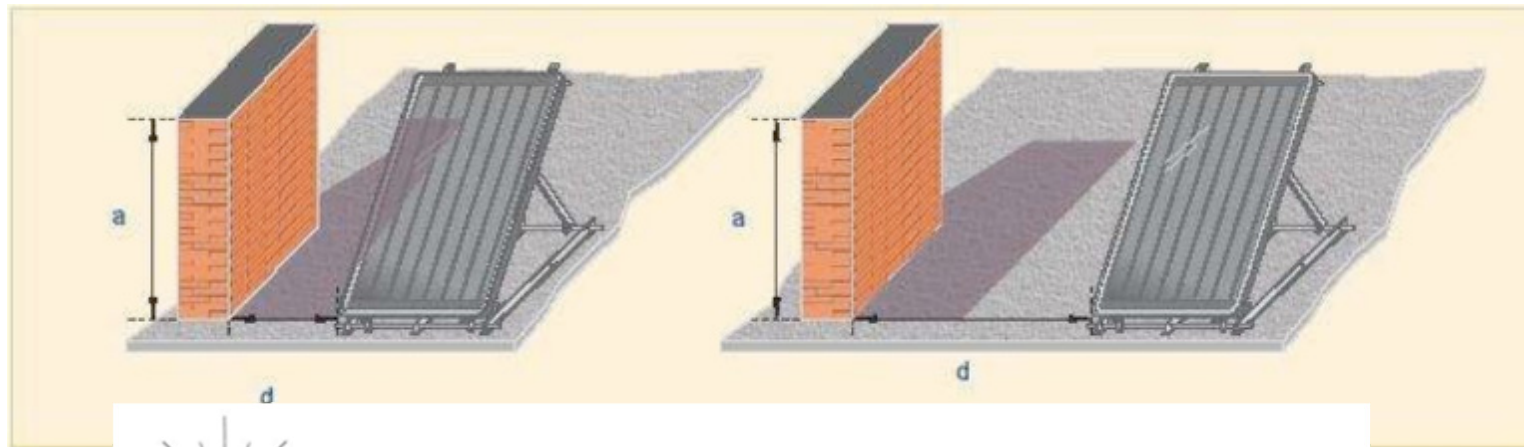
Si en lloc d'estar en el cas de superposició haguérem estat en el cas general, les pèrdues per ombres haurien superat el límit permès del 10%.

Pèrdues totals:

Pèrdues totals(%) = 3,67% + 11,04% = 14,71% < 30%

Ombres per obstacles o entre files de captadors

La presència d'obstacles o la disposició dels captadors pot produir ombres depenent de la separació i la inclinació dels rajos del Sol:



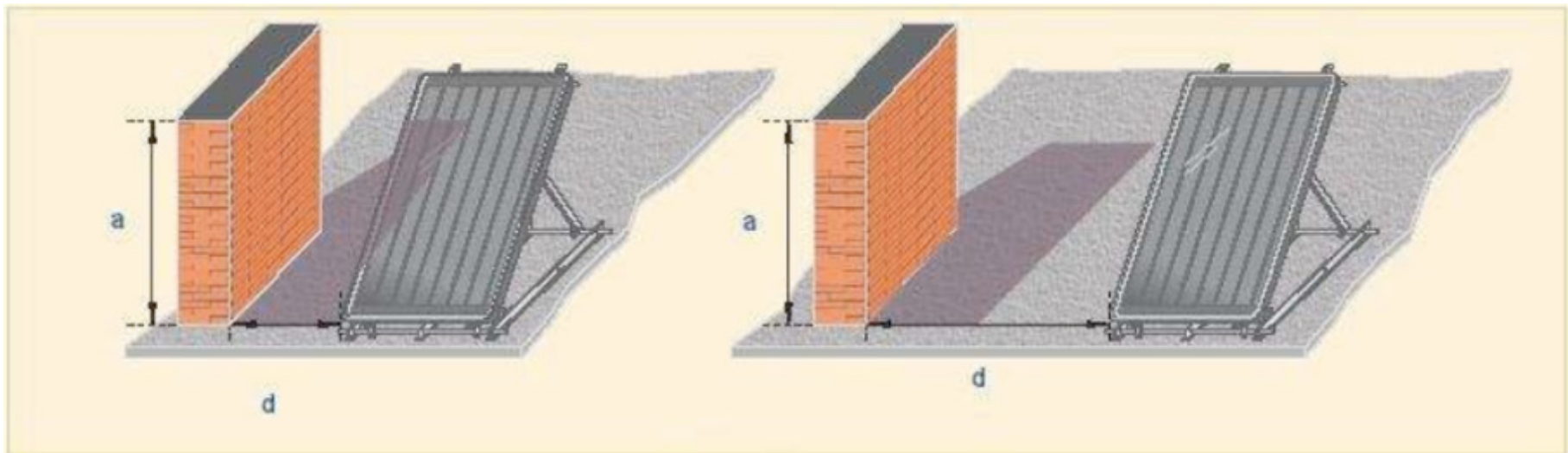
Ombres per obstacles

Atenent els plecs de condicions tècniques de l'IDAE, la separació entre obstacle i captador no ha de ser inferior a l'obtinguda per l'expressió:

$$d = \frac{a}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} = k \cdot a$$

Per a garantir un mínim de 4 hores de sol entorn del migdia del dia més desfavorable del solstici d'hivern (21 desembre).

<i>Latitud</i>	29°	37°	39°	41°	43°	45°
<i>k</i>	1,600	2,246	2,4715	2,747	3,078	3,487



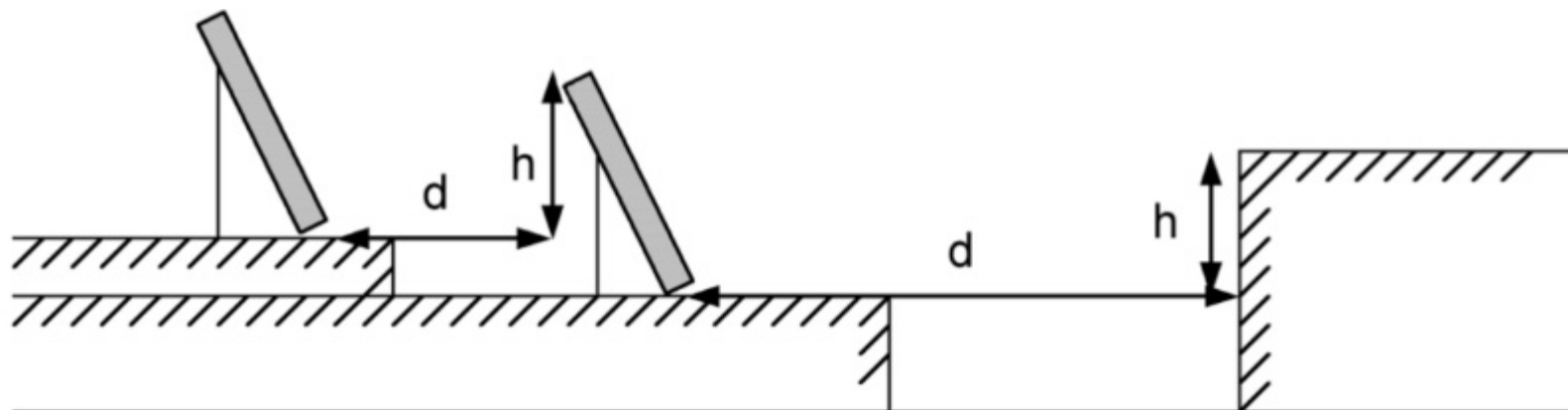
Ombres entre files de captadors

Atenent els plecs de condicions tècniques de l'IDAE, la separació entre la part posterior d'una fila de captadors i el començament de la següent no ha de ser inferior a l'obtinguda per l'expressió:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} = k \cdot h \quad (\text{Dia més desfavorable 21 desembre})$$

On h és l'alçada d'una fila respecte de la part baixa de la següent

Latitud	29°	37°	39°	41°	43°	45°
k	1,600	2,246	2,4715	2,747	3,078	3,487

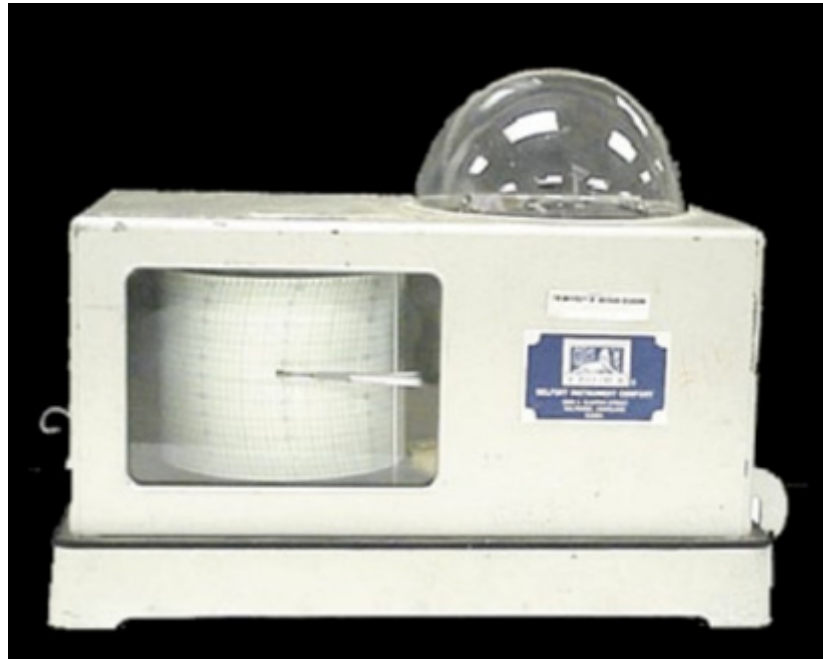


2.3. Aparells de mesura.



Instrumentos de medida

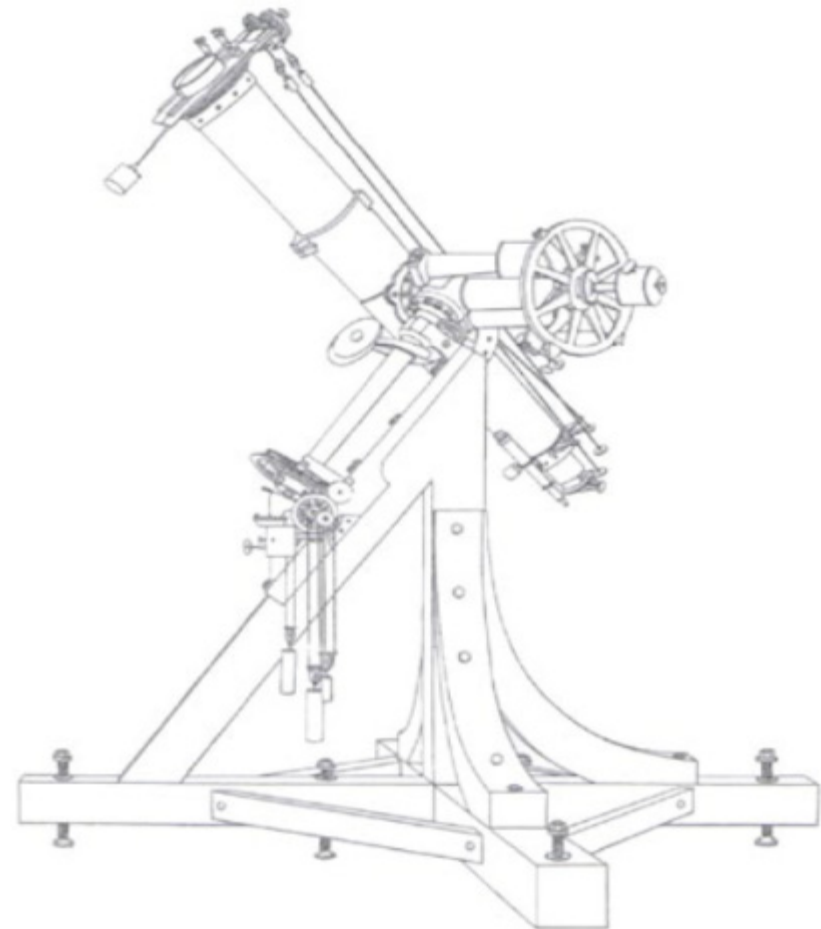
Piranómetros: Muestran la **irradiación global (directa más difusa)** (W/m^2)



gisiberica.com

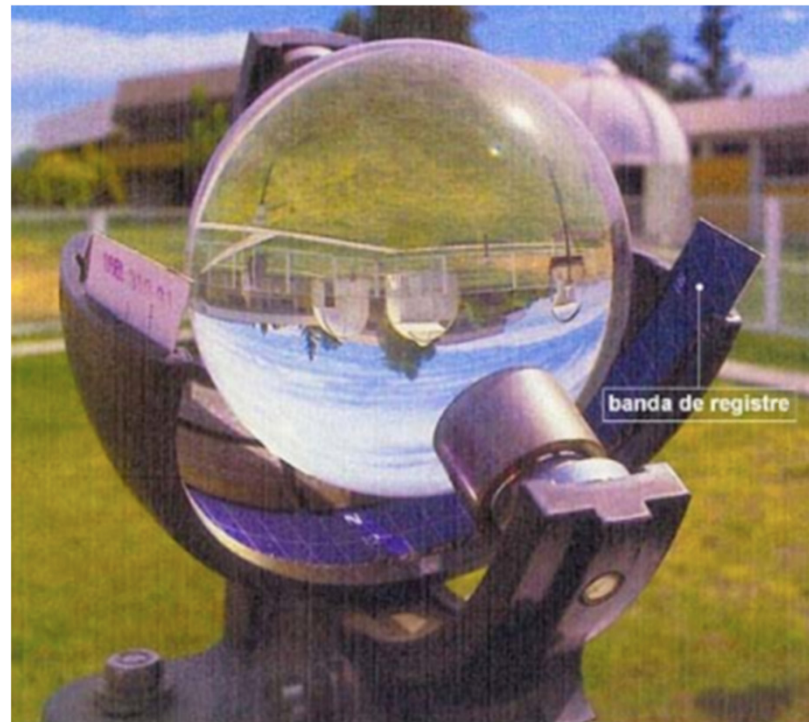
Instruments de mesura

Pirheliòmetres: Mesuren la **irradiància directa**. A diferència del piranòmetre, que sol instal·lar-se fix, ha de disposar d'un sistema de moviment de rellotgeria per a seguir el Sol amb gran precisió.

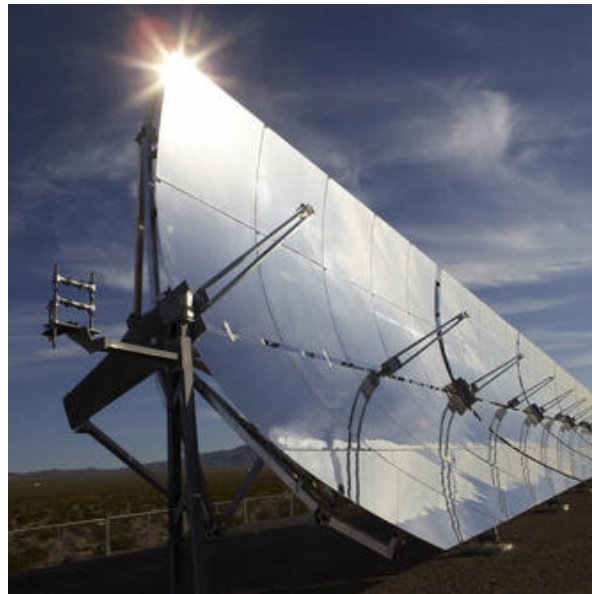


Instruments de mesura

Heliofanògraf: Consisteix en una **esfera** de vidre que actua com a lent concentradora de la llum solar i d'un **casquet metàl·lic** disposat concèntricament a aquesta bola a la seua distància focal. En les ranures del costat interior del casquet s'introdueix cada dia una tira de cartolina amb divisió horària. El sol crema en la tira petjades més o menys fortes, segons la intensitat dels seus rajos i d'acord amb el seu curs aparent. En retirar la tira de cartolina del casquet metàl·lic, **es pot determinar quantes hores i durant quines hores de cada dia hi ha hagut sol**, és a dir, **mesura la durada de la insolació diària.**



Tema 3: L'energia solar tèrmica.



Temari

Estimació: 8 hores presencials i 8 hores no presencials

3.1. Elements principals d'una instal·lació solar tèrmica de baixa temperatura.

3.1.1. Captadors solars. Eficiència.

3.1.2. Sistema de distribució.

3.1.3. Sistema d'emmagatzematge.

3.1.4. Sistema de suport convencional.

3.2. Tipus d'instal·lacions solars de baixa temperatura.

3.3. Aplicacions de l'energia solar tèrmica de baixa temperatura: Sistemes de calefacció i producció d'aigua calenta sanitària (ACS).

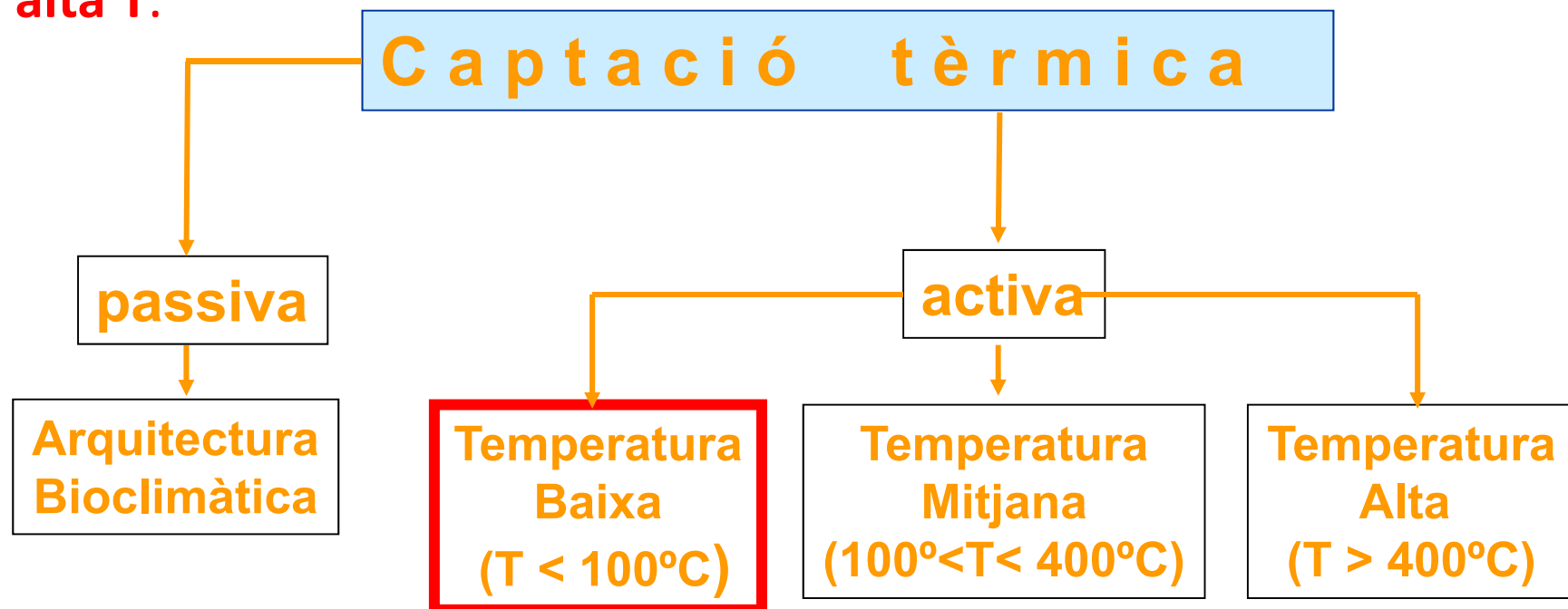
3.4. Dimensionament d'instal·lacions i normativa aplicable.

3.5. Tecnologies de mitjana i alta temperatura. Aplicacions.

Introducció

L'energia **solar tèrmica** o **energia termosolar** consisteix en l'aprofitament de l'energia del Sol per a **produir calor** destinada a la producció de:

- **aigua calenta** per al consum (**ACS-aigua calenta sanitària**), calefacció i refrigeració → **baixa temperatura**,
- energia mecànica i, a partir d'aquesta, d'electricitat → **mitjana i alta T.**



Vídeos conversió tèrmica i energia solar



3.1. Elements principals d'una instal·lació solar tèrmica a baixa temperatura (BT).



Introducció a la conversió tèrmica de baixa temperatura

Conversió de l'energia solar en calor, per a ús en l'àmbit domèstic, comunitari i industrial per a escalfament d'aigua, piscines i suport a la calefacció.

La conversió tèrmica a baixa temperatura es caracteritza per:

- ✓ el nivell de temperatura requerit és inferior a 100°C
- ✓ no es requereix seguiment del Sol

Des de l'aprovació del CTE (Codi Tècnic de l'Edificació) la instal·lació d'Energia Solar Tèrmica és obligatòria en "els edificis de nova construcció i rehabilitació d'edificis existents de qualsevol ús en els quals existisca una demanda d'aigua calenta sanitària superior a 50 l/dia i/o climatització de piscina coberta."

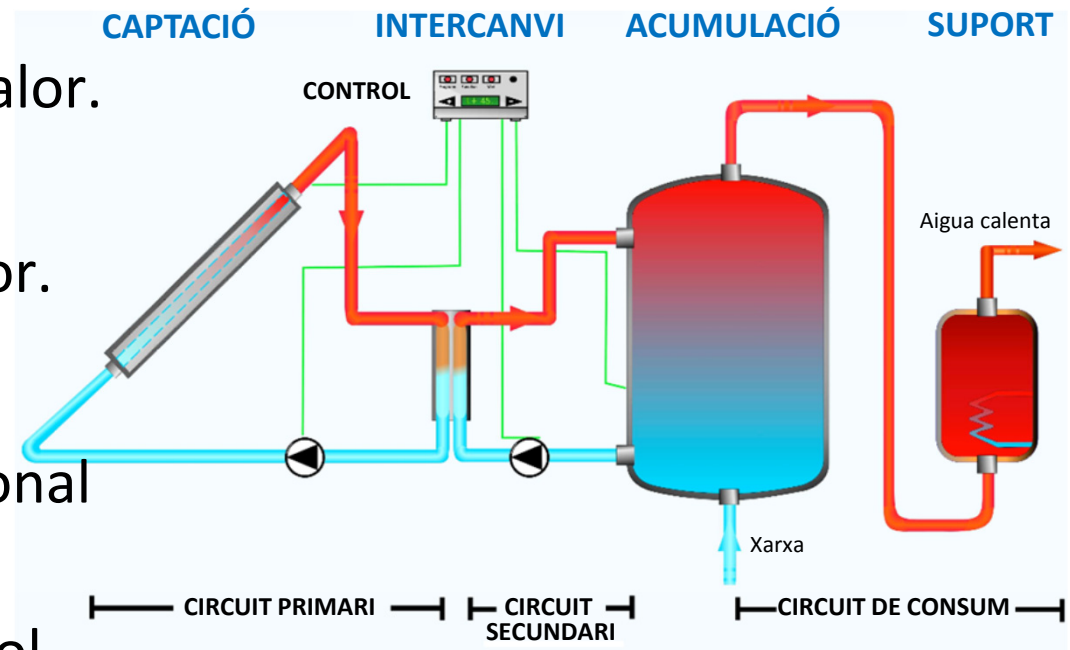
Vídeo solar tèrmica de baixa temperatura



Elements principals d'una instal·lació solar tèrmica a BT

Els components bàsics que componen una instal·lació solar a baixa temperatura són:

- Sistema de captació de la calor.
- Sistema d'acumulació.
- Sistema d'intercanvi de calor.
- Circuit hidràulic.
- Sistema d'energia convencional auxiliar (suport).
- Sistema de regulació i control.



Sistema de captació de calor

- **Sistema de captació de calor:** Encarregat de transformar la radiació solar incident en energia tèrmica, calfant el fluid (caloportador) que circula a través seu.
- **Tipus:**

Col·lector solar pla



Sense coberta

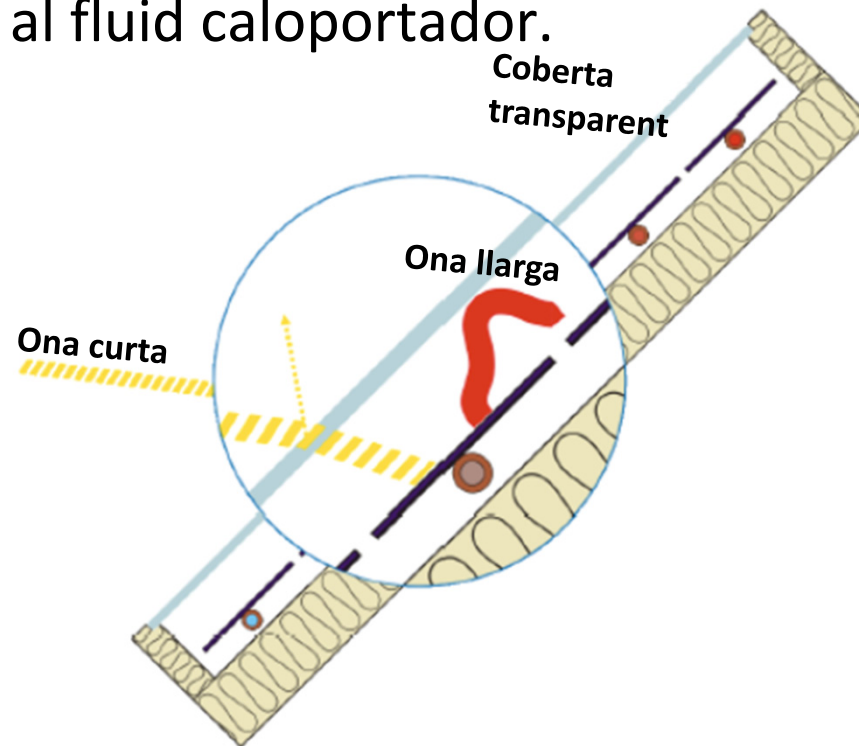


Amb tub de buit

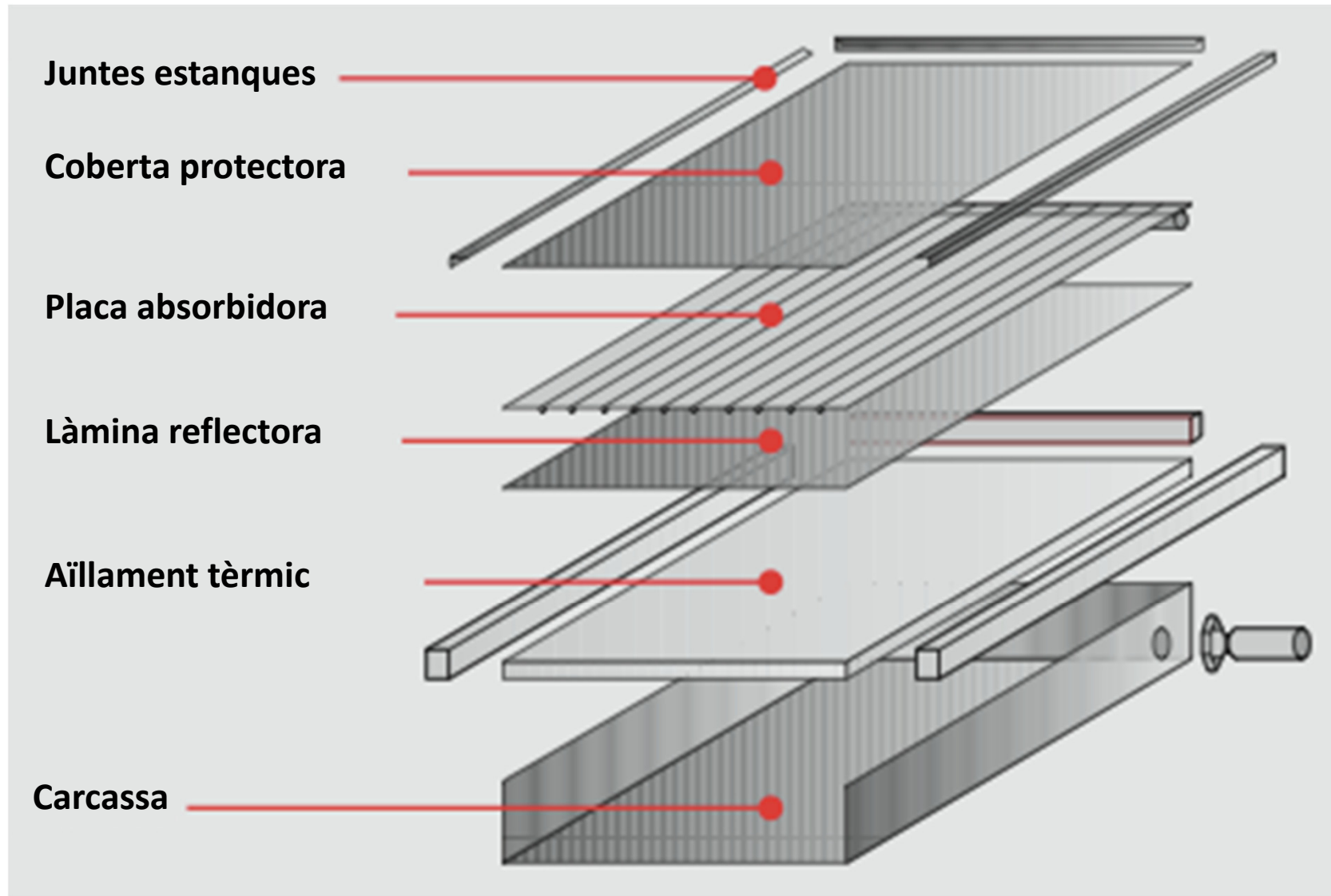


Col·lector solar pla: principi de funcionament.

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



Col·lector solar pla: Components.



Col·lector solar pla: components.

Coberta transparent: Reté la calor i aïlla el captador de les condicions ambientals exteriors.

Característiques requerides:

- **Bona transmissió** solar en la banda de radiació d'ona curta i **opacitat** a la radiació tèrmica d'ona llarga per a evitar les pèrdues de calor.
- **Baixa conductivitat** tèrmica per a disminuir les pèrdues tèrmiques.
- Baixa adherència a la brutícia.
- Baix valor del coeficient de dilatació en el rang de temperatures de treball del col·lector.
- Bona resistència mecànica perquè no es trenque pel vent, pedregades o neu.

Per això s'utilitza vidre temperat en comptes de plàstic.

Col·lector solar pla: components.

Absorbidor: Element que rep la radiació solar, la transforma i la transmet al fluid caloportador.

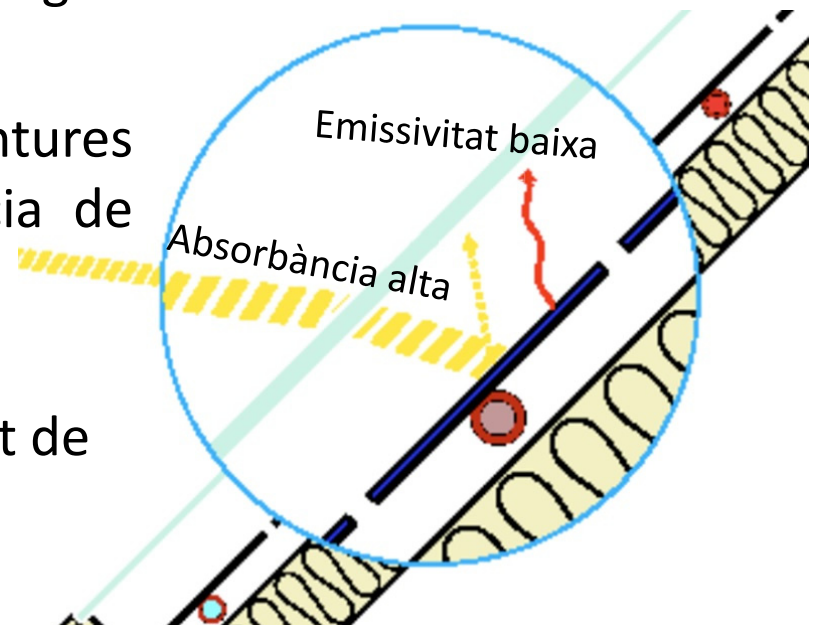
Es tracta d'una placa metàl·lica sobre la qual se solden o emboteixen els tubs pels quals circula el fluid.

Configuracions: per damunt, envoltant o per sota dels tubs:



Sol ser de coure amb un cert tractament negre i/o selectiu:

- **Tractament negre:** s'utilitzen pintures negres per a augmentar l'absorbància de l'absorbidor.
- **Tractament selectiu:** Mitjançant polvorització es disminueix l'emissivitat de l'absorbidor en longituds d'ona curta.

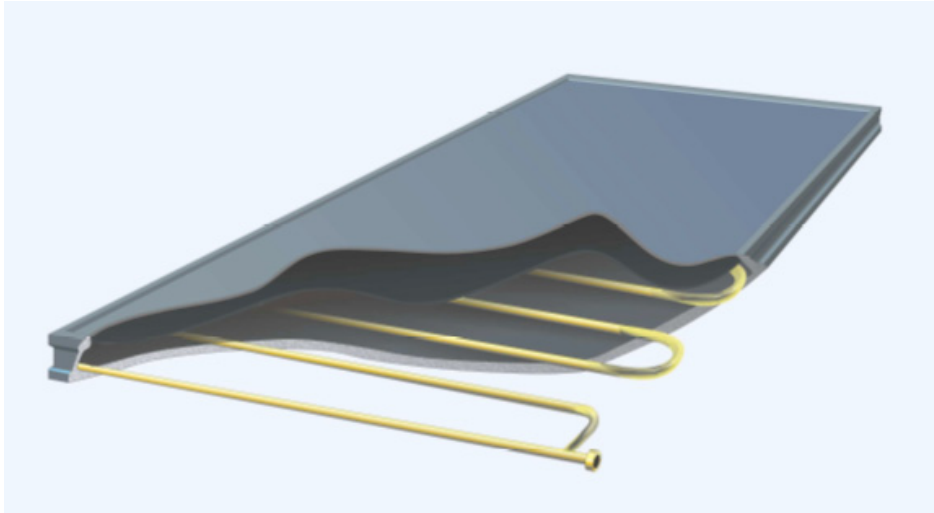


Col·lector solar pla: components.

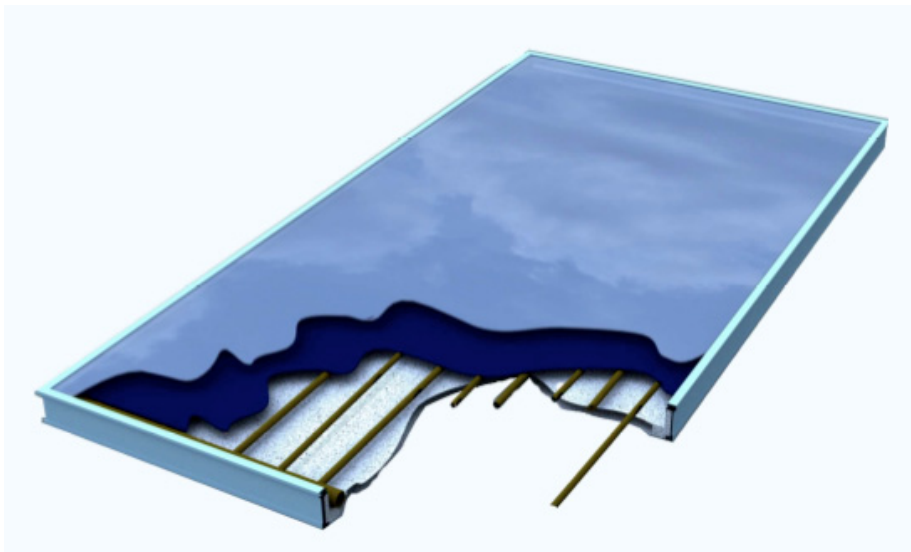
Carcassa: Constitueix, juntament amb la coberta, el contenidor de la resta dels components del captador. Ha de tenir la resistència mecànica necessària per a les condicions d'ús i de muntatge.

Aïllament tèrmic: Redueix les pèrdues tèrmiques. Es col·loca en les cares laterals i en el fons de la carcassa disminuint així les **pèrdues de calor per conducció**. Està format normalment per escumes sintètiques (poliuretà, fibra de vidre...).

Col·lector solar pla: canonades de circulació interior.



Disposició tipus serpentí.



Disposició tipus graella.

En general s'utilitza tub de coure.

Col·lector solar sense coberta

- El seu únic component és l'absorbidor (de plàstic), la qual cosa repercuteix en el seu baix preu i facilitat de muntatge.
- El seu rendiment global és inferior al dels captadors solars plans (perquè l'absorbidor no està aïllat), i per això es requereix disposar d'una superfície més gran.
- Proporcionen salts tèrmics petits, i per això el seu ús més estès és l'escalfament de piscines a l'aire lliure.
- Estan fabricats normalment en polipropilè, i això els fa més emmotllables.



Col·lector solar de buit

- Format per tubs de vidre amb un element absorbidor en el seu interior. Entre tub i absorbidor es fa el buit d'aire evitant les pèrdues per convecció.
- El seu rendiment és superior al d'un captador pla per a temperatures de treball elevades; per això són molt utilitzats quan es necessiten importants salts tèrmics.
- Les làmines que constitueixen l'element absorbidor poden orientar-se. Això és realment útil quan, per requisits de l'edifici aquest no està orientat al sud.
- Cost econòmic més elevat que els captadors solars plans.



Model físic. Equacions bàsiques de transferència de calor.

- **Llei de refredament de Newton:** Quan la diferència de temperatura entre un cos (T) i el seu medi ambient (T_{amb}) no és massa gran, la calor transferida per unitat de temps (potència) cap a o des del cos és aproximadament proporcional a la diferència de temperatura entre el cos i el medi exterior, sempre que aquest últim mantinga constant la seua temperatura durant el procés de refredament.

$$\frac{dQ}{dt} = -k \cdot A \cdot (T^a - T^a_{amb}) \quad (1)$$

sent la constant de proporcionalitat k el coeficient de transferència o intercanvi de calor i A l'àrea superficial del cos que es troba exposada al medi ambient.

- La pèrdua (-) o guany (+) de calor que experimenta un cos és proporcional a **la seua calor específica** C_e [J/kg°C], la seua massa m i a la diferència de temperatura produïda en el cos dT^a :

$$dQ = m \cdot C_e \cdot dT^a = \rho \cdot V \cdot C_e \cdot dT^a \quad (2)$$

C_e : Calor que cal aplicar a un cos de massa unitat per a elevar 1 °C la seua temperatura.

Model físic. Equacions bàsiques de transferència de calor.

□ En cas que el sistema tinga una font d'energia que li proporcione calor Q_{ext} i suposant que el fluid està en moviment amb un cabal màssic \dot{m} [kg/s], la potència neta resultant de considerar

- la calor aportada per la font externa,
- la calor guanyada (o perduda) pel fluid en moviment entre l'entrada i l'eixida del sistema,
- les pèrdues de calor a l'ambient, d'acord amb la llei del refredament de Newton (1),

és utilitzada per a augmentar (o disminuir) la temperatura del fluid:

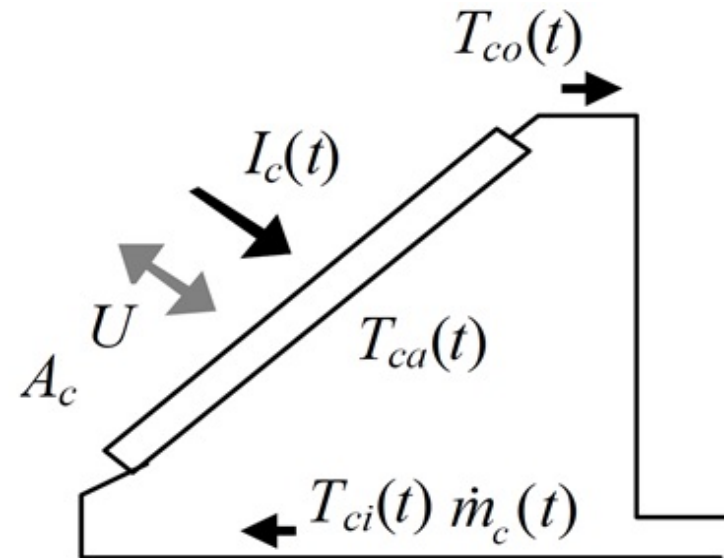
$$P_{neta} = \frac{dQ_{neta}}{dt} = m \cdot C_e \cdot \frac{dT^a_2}{dt} =$$
$$= \frac{dQ_{ext}}{dt} - k \cdot A \cdot (T^a_{av} - T^a_{amb}) - \dot{m} \cdot C_e \cdot (T^a_2 - T^a_1) \quad (3)$$

Model físic

- Placa absorbidora:** La radiació solar incident és transformada en una quantitat de **calor Q_s que és absorbida per la placa absorbidora del col·lector.** La velocitat a la qual la calor Q_s entra en el col·lector (potència) i és **absorbida per la placa absorbidora del col·lector,** depèn de:

- Irradiància global (I_c en W/m^2) que incideix sobre el col·lector,
- De la transmissivitat de la coberta (τ) i de l'absortivitat de la superfície absorbidora (α). Són adimensionals i depenen de l'angle d'incidència; totes dues s'incrementen quan l'angle d'incidència s'incrementa.
- Àrea de captació (A_c)

$$\frac{dQ_s}{dt} = I_c \cdot A_c \cdot \tau \cdot \alpha$$



- T_{ci} : Temperatura del fluid que entra en el col·lector [$^{\circ}C$];
- T_{co} : Temperatura del fluid que ix del col·lector [$^{\circ}C$];
- T_{ca} : Temperatura ambient de l'aire als voltants del col·lector [$^{\circ}C$];
- A_c : Superfície del col·lector [m^2];
- \dot{m}_c : Flux massic en el llaç de col·lector [kg/s].

Model físic

- **Absorbidor-ambient:** La llei de refredament de Newton proporciona la velocitat a la qual la calor (dQ_l/dt) és transferida 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}):

$$\frac{dQ_l}{dt} = A_c \cdot U \cdot (T_{abs} - T_{ca})$$

- Sent U el coeficient d'intercanvi de calor entre l'absorbidor i l'ambient o **coeficient de pèrdues** [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].
- Q_l són les pèrdues de calor a l'ambient.

Model físic

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

$$P = \frac{dQ_f}{dt} = \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (T_{co}^a - T_{ci}^a)$$

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

Model físic

- **Balanç de potències:** La potència neta resultant del balanç de potències s'inverteix a elevar la temperatura d'eixida del fluid caloportador:

$$P_{neta} = \frac{dQ_{neta}}{dt} = m_c \cdot c_c \cdot \frac{dT_{co}^a}{dt} = \frac{dQ_s}{dt} - \left(\frac{dQ_f}{dt} + \frac{dQ_l}{dt} \right)$$

$$I_c \cdot A_c \cdot \tau \cdot \alpha = m_c \cdot c_c \cdot \frac{dT_{co}^a}{dt} + \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (T_{co}^a - T_{ci}^a) + A_c \cdot U \cdot (T_{abs}^a - T_{ca}^a)$$

DINÀMICA DEL SISTEMA:

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

- Sent $C_c = \rho_c \cdot c_c \cdot V_c$ la capacitat calorífica del fluid en el col·lector [J/°C] amb ρ_c la densitat [kg/m³], c_c la calor específica [J/kg·°C] i V_c el volum total de fluid en col·lector [m³].

Model físic

- **Temperatura mitjana del fluid caloportador:** A causa de la dificultat de mesura de la temperatura de la placa absorbidora, T_{abs} , és usual expressar les pèrdues de calor en termes de la temperatura mitjana del fluid en el col·lector, mitjana de la temperatura a l'entrada (T_{ci}) i a l'eixida (T_{co}):

$$T_{av} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2}$$

- 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.

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

Model físic

- **Eficiència òptica i coeficient global de pèrdues:** El producte $F_R \cdot \tau \cdot \alpha$ s'anomena "eficiència òptica" (η_0 , adimensional) i el terme $F_R \cdot U$ coeficient global de pèrdues de calor (U_L en $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$).
 - Aquests paràmetres poden ser determinats bé mitjançant una anàlisi teòrica, bé mitjançant un procediment experimental.
 - A més podem tenir en compte que el flux màssic \dot{m}_c i el volumètric \dot{v}_c $[m^3/s]$ estan relacionats a través de la densitat del fluid en col·lector:

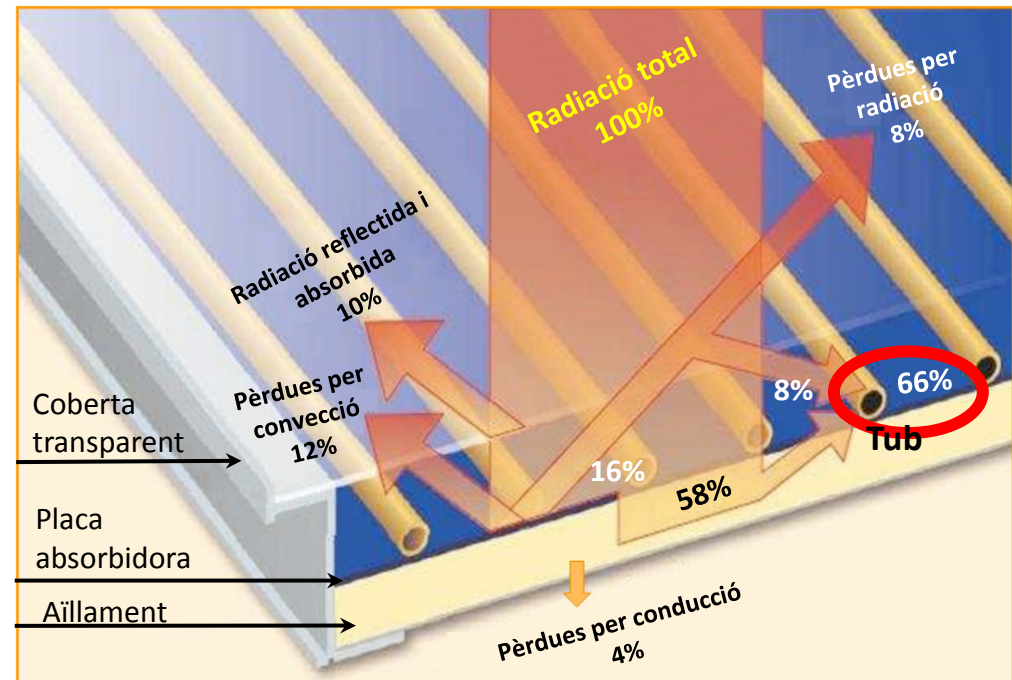
$$\dot{m}_c = \rho_c \cdot \dot{v}_c$$

D'aquesta manera:

$$\frac{dT_{co}}{dt} = \frac{A_c \cdot \eta_0}{C_c} \cdot I_c - \frac{A_c \cdot U_L}{C_c} \cdot (T_{av} - T_{ca}) + \frac{\dot{v}_c}{V_c} \cdot (T_{ci} - T_{co})$$

Pèrdues en un col·lector solar pla

- **Pèrdues òptiques o de radiació incident:**
 - Per REFLEXIÓ i ABSORPCIÓ en la coberta (τ).
- **Pèrdues tèrmiques:**
 - Per CONVECCIÓ i CONDUCCIÓ de la calor. L'aïllament tèrmic redueix les pèrdues per conducció i les pèrdues per convecció s'eliminen fent el buit d'aire entre coberta i absorbidor.
 - Per emissió de RADIACIÓ en absorbidor.



Distribució aproximada de les pèrdues en un col·lector solar pla

Rendiment d'un col·lector solar

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

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

On:

$$\frac{dQ_f}{dt} = \dot{m}_c \cdot c_c \cdot (T_{co}^a - T_{ci}^a)$$

I en règim estacionari

$$\frac{dQ_{\text{neta}}}{dt} = 0 \implies \frac{dT_{co}^a}{dt} = 0$$

I per tant:

$$\frac{dQ_f}{dt} = \frac{dQ_s}{dt} - \frac{dQ_l}{dt}$$

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

Rendiment dels col·lectors solars

Per tant:

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

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

F_R : Factor d'eficàcia d'intercanvi entre absorbidor i fluid caloportador

τ : Transmissió solar de la coberta transparent

α : Absorbència o absorptivitat solar de la placa absorbidora

U : Coeficient de pèrdues del captador [W/(m²·°C)]

$U_L = U \cdot F_R$: Coeficient global de pèrdues [W/(m²·°C)] .

T_{av} : Temperatura mitjana [°C]

T_{ca} : Temperatura ambient [°C]

Rendiment dels col·lectors solars

$$\eta = F_R \cdot (\tau \alpha) - F_R \cdot U \cdot (T_{av} - T_{ca}) / I_c = \eta_o - a_1 \cdot T_m^*$$

η_o : Coeficient òptic. Representa l'eficiència màxima del captador considerant únicament les pèrdues òptiques (de radiació incident).

a_1 : Coeficient de pèrdues tèrmiques. Com més gran siga, més ràpidament disminuirà l'eficiència del col·lector en augmentar la temperatura mitjana del fluid en el captador.

F_R , $(\tau \alpha)$ i U : paràmetres característics de cada captador. Poden considerar-se constants en el rang de temperatures de treball normal del captador.

$T_m^* = (T_{av} - T_{ca}) / I_c$: Increment de temperatura reduïda

Rendiment dels col·lectors solars

En la pràctica l'eficiència instantània del captador s'especifica mitjançant una equació de segon ordre en funció de la temperatura tal com dicta la norma UNE-EN 12975-2:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m^* - a_2 \cdot I \cdot (T_m^*)^2$$

$$T_m^* = (T_{av} - T_{ca})/I$$

Amb $T_{av} = (T_{ci} + T_{co})/2$: T mitjana del fluid en el captador.

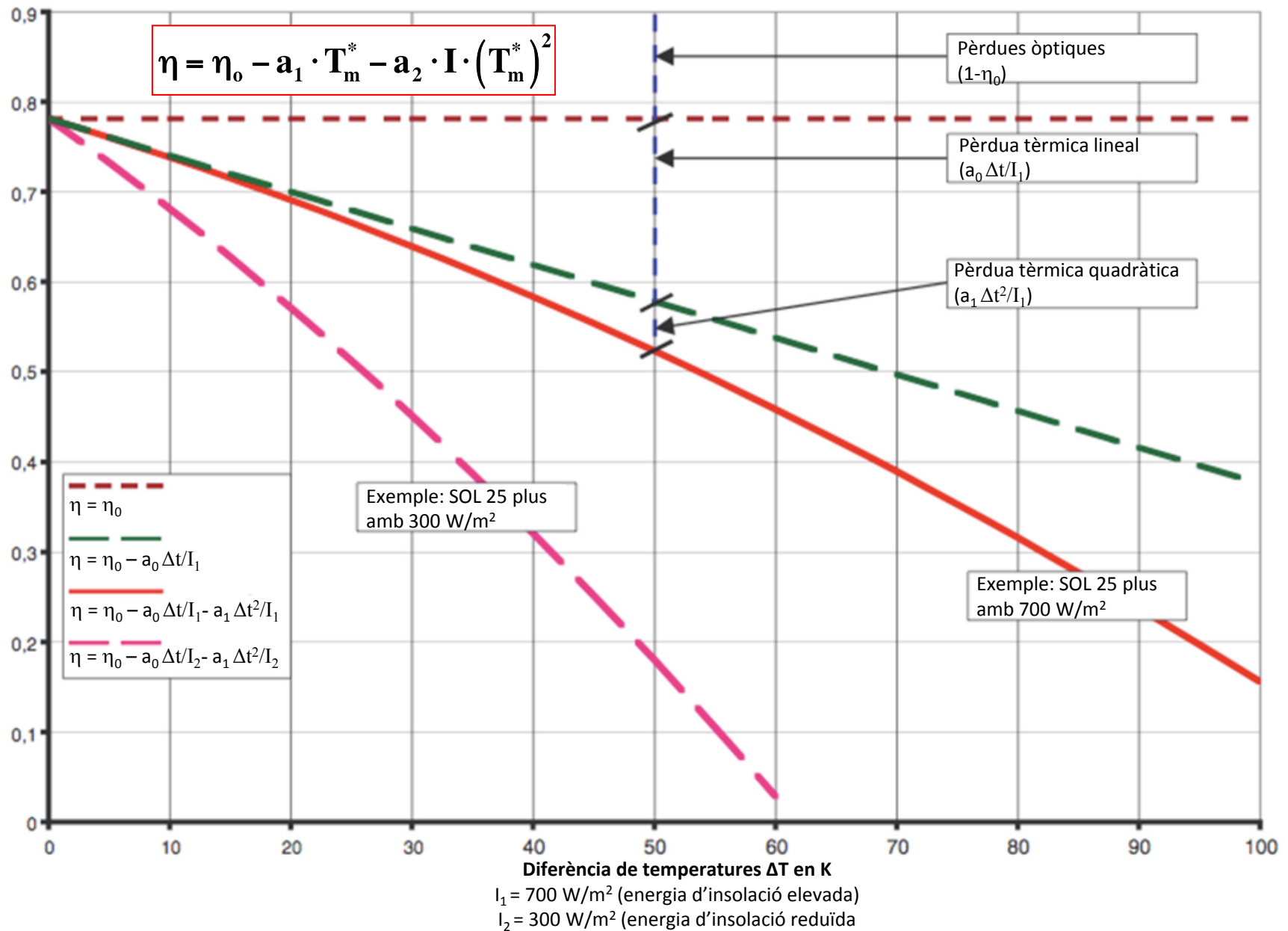
T_{co} : T del fluid d'eixida del captador

T_{ci} : T del fluid d'entrada en el captador

a_1 : Coeficient de pèrdua tèrmica (lineal) ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

a_2 : Coeficient de pèrdua tèrmica (quadràtic) ($W/m^2 \cdot ^\circ C^2$)

Rendiment dels col·lectors solars

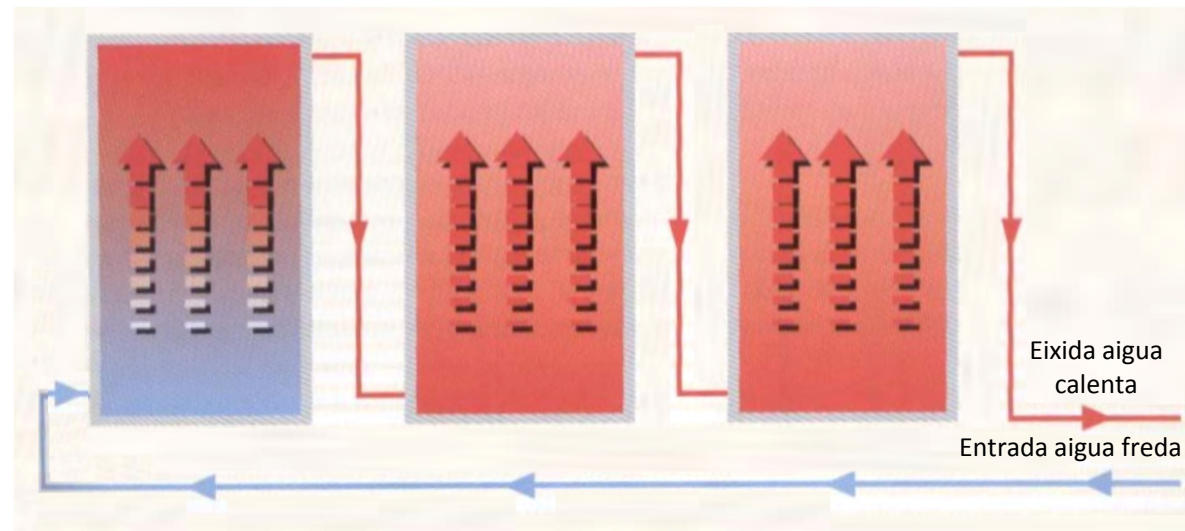


Disposició dels col·lectors solars

Connexió en sèrie: El fluid caloportador entra en el primer captador per la part inferior d'aquest, és calfat mentre circula pel seu interior i ix del primer captador per a tornar a introduir-se en el segon i així successivament. El cabal d'entrada inicial passa a través de tots els col·lectors **produint-se un increment gradual de la T.** El salt tèrmic és la suma dels salts tèrmics de cadascun dels captadors connectats en sèrie.

Avantatges:

- T d'eixida molt elevada.
- Per tots els captadors circula el **mateix cabal.**



Desavantatges:

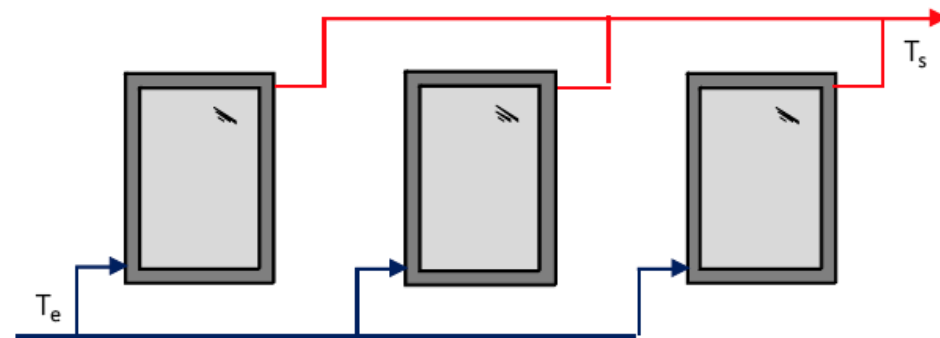
- A mesura que s'incrementa la diferència de T mitjana del fluid respecte a l'exterior (salt tèrmic) el rendiment disminueix. Per això, el rendiment dels col·lectors va disminuint, i el de l'últim captador és el menor.

Disposició dels col·lectors solars

Connexió en paral·lel: Per cada captador circula de manera independent el fluid caloportador, aquest **fluid és calfat i portat a un punt comú de tots els captadors**. El cabal total és la suma dels cabals individuals de cada captador. El salt tèrmic de la connexió de captadors en paral·lel és el mateix que el que es genera en un sol captador.

Avantatges:

- Idèntic rendiment en tots els captadors.

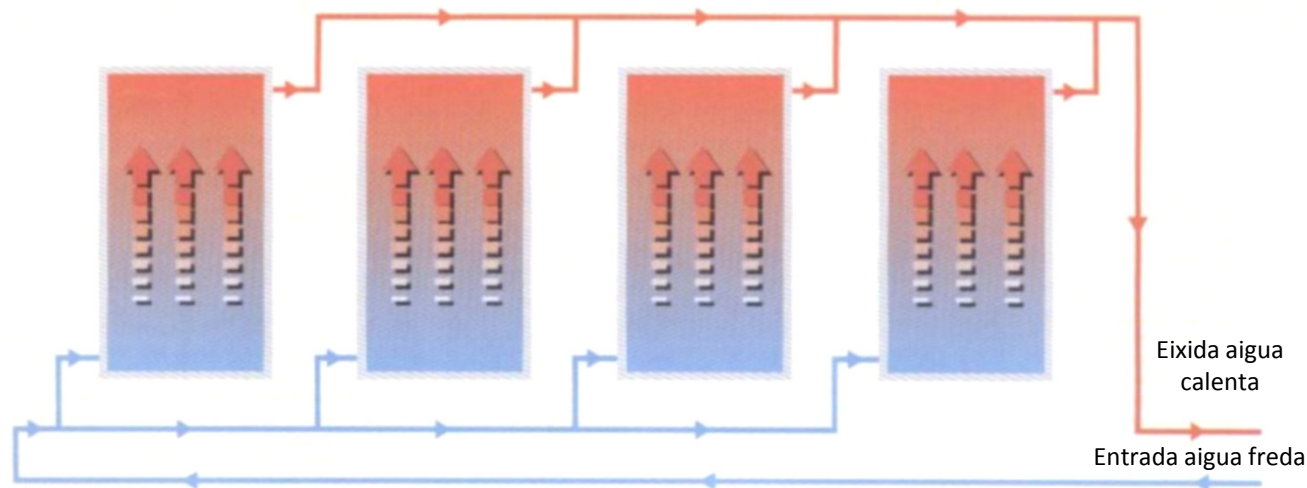


Desavantatges:

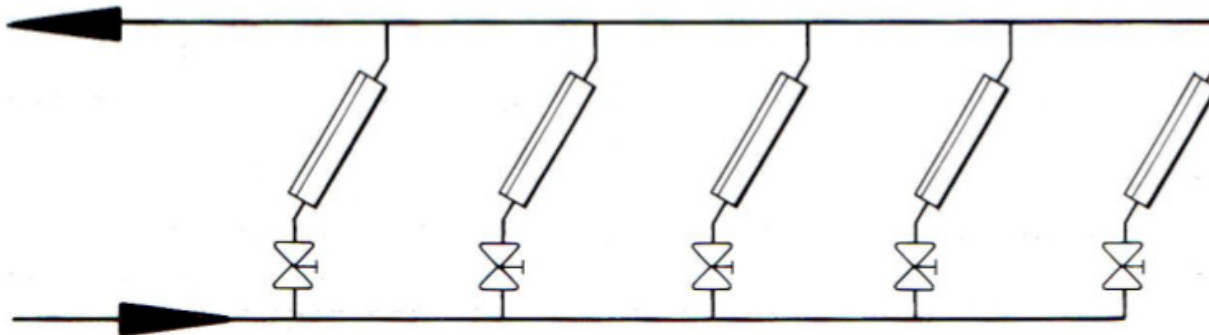
- No s'aconsegueixen temperatures tan elevades com en la connexió en sèrie.
- Perquè el funcionament siga òptim, s'ha d'assegurar que passe el mateix cabal per tots els captadors i que les pèrdues de càrrega siguen les mateixes en tots, és a dir, que estiguen **equilibrats hidràulicament**.

Equilibrament hidràulic en la connexió en paral·lel de col·lectors

- **Dos mètodes per a garantir l'equilibrament hidràulic:**
 - **Tornada invertida:** Es tracta que els camins hidràulics tinguen la mateixa longitud i, per tant, les mateixes pèrdues de càrrega.



- **Vàlvules d'equilibrament:**



Agrupació de bateries de col·lectors solars

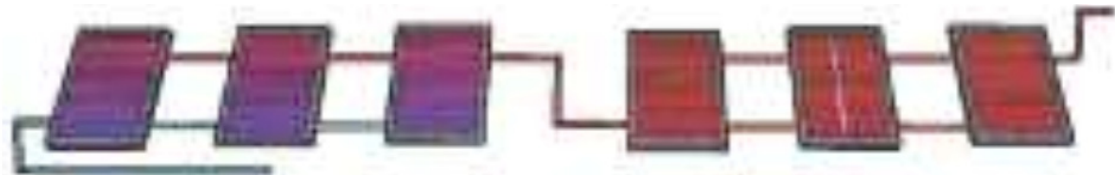
Les bateries de col·lectors (en paral·lel) també es poden connectar entre si en paral·lel o en sèrie.

➤ Disposició en paral·lel:



Font: "Guía Práctica de la energía solar térmica", Agència Valenciana de l'Energia (AVEN)

➤ Disposició en sèrie:



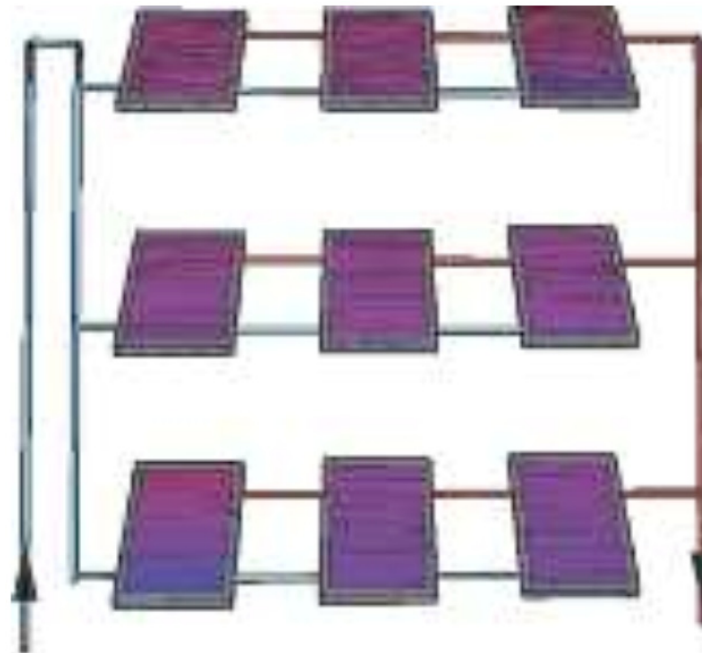
En la disposició en sèrie a mesura que augmenta el nombre de bateries va **disminuint el rendiment** de cada bateria en relació a l'anterior. **El nombre màxim de bateries** que es poden connectar en sèrie mantenint cadascuna un rendiment acceptable és indicat per cada fabricant.

Equilibrament hidràulic en l'agrupació de col·lectors en paral·lel

En el cas de disposició en paral·lel s'ha de garantir l'equilibrament hidràulic de la instal·lació, és a dir, que passe el mateix cabal per cada bateria de col·lectors. Hi ha dues possibles alternatives:

1. Connectar les bateries en paral·lel **amb tornada invertida**, perquè els camins hidràulics tinguen la mateixa longitud i per tant les mateixes pèrdues.

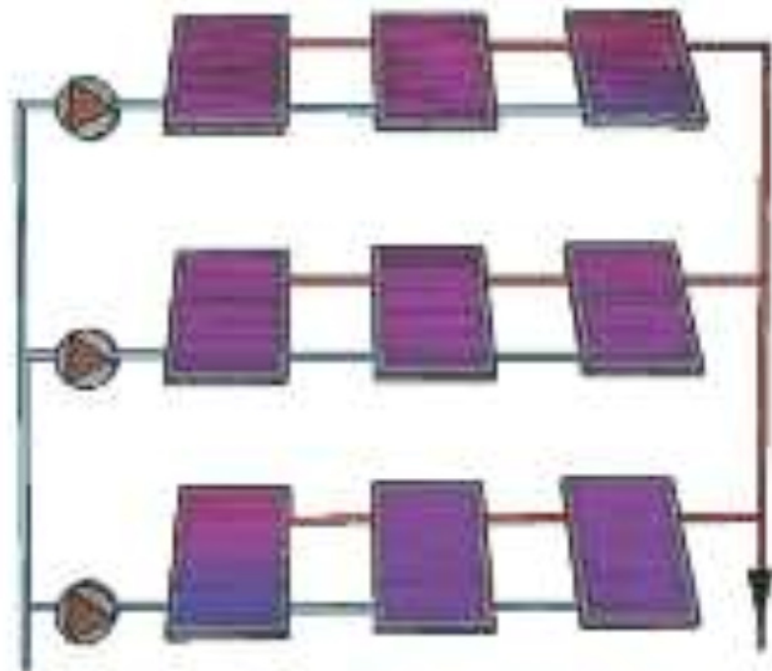
Disposició de bateries en paral·lel amb tornada invertida



Equilibrament hidràulic en l'agrupació de col·lectors en paral·lel

2. Col·locar a l'entrada de les bateries, reguladors de cabal que escanyen el pas d'aigua a les bateries perquè siga el mateix.

Disposició de bateries
en paral·lel **amb**
vàlvules de regulació



Font: "Guía Práctica de la energía solar térmica", Agència Valenciana de l'Energia (AVEN)

Disposició dels col·lectors solars

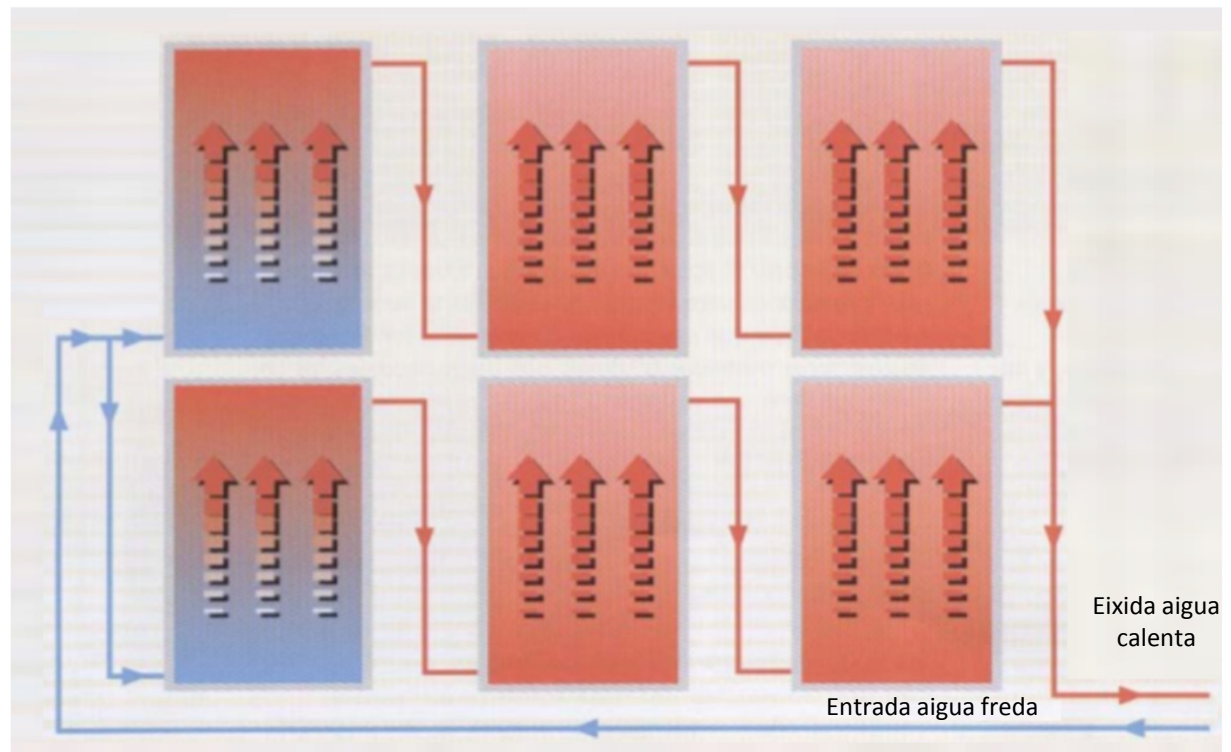
Connexió sèrie-paral·lel: bateries de col·lectors connectats en sèrie es connecten en paral·lel amb tornada invertida o vàlvules d'equilibrament per a equilibrar la instal·lació. Només s'utilitza en grans instal·lacions.

Avantatges:

- T d'eixida elevada.
- Idèntic rendiment en totes les bateries de captadors.

Desavantatges:

- Requereix proveir un mecanisme que assegure el mateix cabal en tots els captadors (tornada invertida o vàlvules de regulació).



Normativa relativa a l'homologació de col·lectors solars

- Norma INTA 61.0001: Assaig de col·lectors en règim estacionari.
- Norma INTA 610002: Assaig de resistència i durabilitat de col·lectors solars plans.
- UNE-EN 12975-1: Sistemes solars tèrmics i els seus components. Captadors solars. Part 1: Requisits generals.
- UNE-EN 12975-2: Sistemes solars tèrmics i els seus components. Captadors solars. Part 2: Mètodes d'assaig.
- UNE-EN 12976-1: Sistemes solars tèrmics i els seus components. Sistemes prefabricats. Part 1: Requisits generals.
- UNE-EN 12976-2: Sistemes solars tèrmics i els seus components. Sistemes prefabricats. Part 2: Mètodes d'assaig.

Activitats



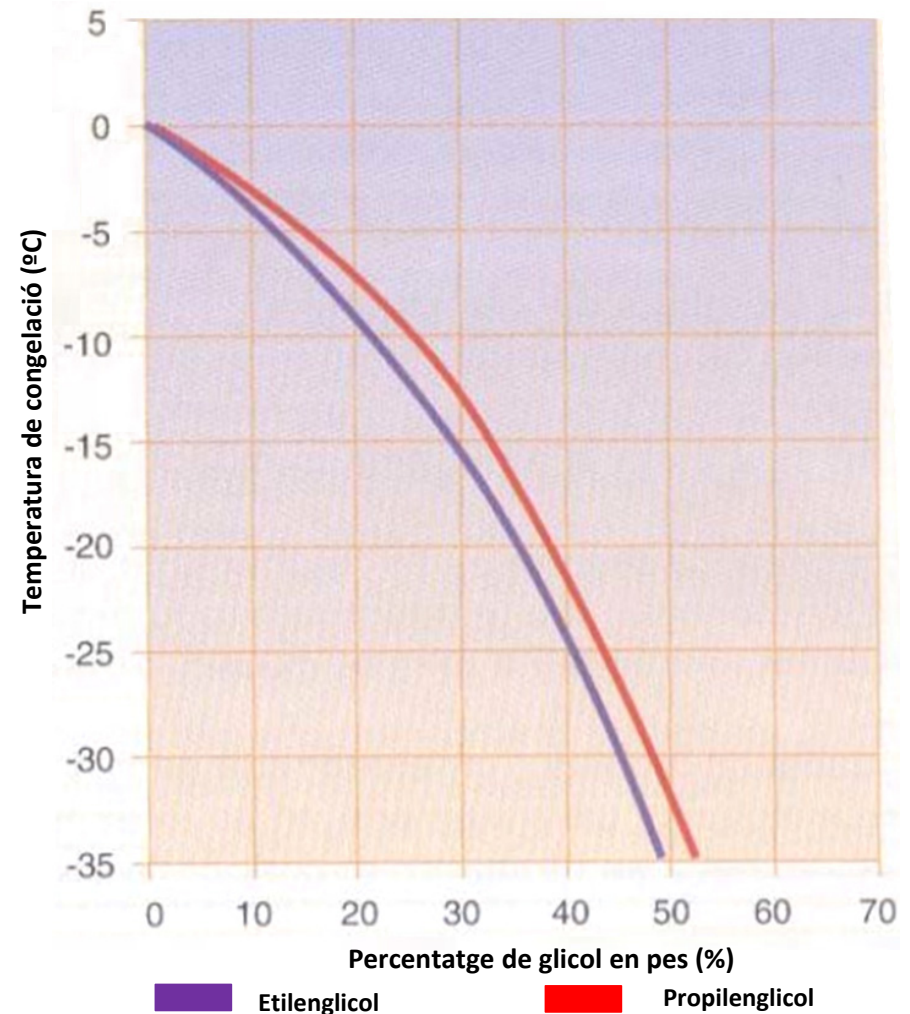
El fluid caloportador

Diferents tipus:

- ✓ Aigua: natural o amb anticongelant.
 - ✓ Derivats del petroli o líquids orgànics. De gran qualitat a causa de la seua aportació energètica encara que resulten perillosos en ser altament inflamables.
 - ✓ Olis i silicones. Fluids no tòxics ni inflamables, però no són econòmics.
-
- El més utilitzat és l'AIGUA: econòmica, amb alta calor específica, baixa viscositat, no inflamable ni tòxica.
 - El principal inconvenient és que a causa del seu augment de volum en congelar-se pot ocasionar el TRENCAMENT de la instal·lació en cas de gelada.
 - A més els conductes pels quals circula l'aigua calenta han de poder suportar el seu efecte corrosiu.

El fluid caloportador

- Davant del risc de gelades la solució més adequada és l'ús d'anticongelants i amb menys assiduitat la recirculació i/o el drenatge de l'aigua del circuit primari.
- La normativa RITE (Reglament d'instal·lacions tèrmiques dels edificis) indica que la mescla ha de suportar mínimes inferiors a 5°C de la mínima històrica de la zona, cosa que ens permet determinar la concentració d'anticongelant gràficament.
- A més, s'hauran d'aplicar additius estabilitzants, anticorrosius i per al control del pH.



El fluid caloportador

Altitud, latitud, longitud y temperatura mínima histórica (la más baja que se haya medido desde el primer año del que se conservan registros de datos). (Fuente: CENSOLAR).

PROVINCIA	ALTITUD (m) (de la capital)	LATITUD (°) (de la capital)	LONGITUD (de la capital)	TEMP. MÍNIMA HISTÓRICA (°C)
1 ÁLAVA	542	42,9	2,7 W	-18
2 ALBACETE	686	39,0	1,8 W	-23
3 ALICANTE	7	38,4	0,5 W	-5
4 ALMERÍA	65	36,9	2,4 W	-1
5 ASTURIAS	232	43,4	5,8 W	-11
6 ÁVILA	1126	40,7	4,9 W	-21
7 BADAJOZ	186	38,9	7,0 W	-6
8 BALEARES	28	39,6	2,6 E	-4
9 BARCELONA	95	41,4	2,2 E	-7
10 BURGOS	929	42,3	3,7 W	-18
11 CÁCERES	459	39,5	6,4 W	-6
12 CÁDIZ	28	36,5	6,3 W	-2
13 CANTABRIA	69	43,5	3,8 W	-4
14 CASTELLÓN	27	40,0	0	-8
15 CEUTA	206	35,9	5,3 W	-1
16 CIUDAD REAL	628	39,0	3,9 W	-10
17 CÓRDOBA	128	37,9	4,8 W	-6
18 LA CORUÑA	54	43,4	8,4 W	-9
19 CUENCA	949	40,1	2,1 W	-21
20 GERONA	95	42,0	2,7 E	-11
21 GRANADA	775	37,2	3,7 W	-13
22 GUADALAJARA	685	40,6	3,2 W	-14
23 GUIPÚZCOA	181	43,3	2,0 W	-12
24 HUELVA	4	37,3	6,9 W	-6
25 HUESCA	488	42,1	0,4 W	-14
26 JAÉN	586	37,8	3,8 W	-8
27 LEÓN	908	42,6	5,6 W	-18
28 LÉRIDA	323	41,7	1,2 E	-11
29 LUGO	465	43,0	7,6 W	-8
30 MADRID	667	40,4	3,7 W	-16
31 MÁLAGA	40	36,7	4,4 W	-4
32 MELILLA	47	35,3	3,0 W	-1
33 MURCIA	42	38,0	1,1 W	-5
34 NAVARRA	449	42,8	1,6 W	-16
35 ORENSE	139	42,3	7,8 W	-8
36 PALENCIA	734	42,0	4,5 W	-14
37 LAS PALMAS	6	28,2	15,4 W	+6
38 PONTEVEDRA	19	42,4	8,6 W	-4
39 LA RIOJA	380	42,5	2,4 W	-12
40 SALAMANCA	803	41,0	5,6 W	-16
41 STA. CRUZ DE TENERIFE	37	28,5	16,2 W	+3
42 SEGOVIA	1002	41,0	4,1 W	-17
43 SEVILLA	30	37,4	6,0 W	-6
44 SORIA	1063	41,8	2,5 W	-16
45 TARRAGONA	60	41,1	1,2 E	-7
46 TERUEL	915	40,4	1,1 W	-14
47 TOLEDO	540	39,9	4,0 W	-9
48 VALENCIA	10	39,5	0,4 W	-8
49 VALLADOLID	694	41,7	4,7 W	-16
50 VIZCAYA	32	43,3	3,0 W	-8
51 ZAMORA	649	41,5	5,7 W	-14
52 ZARAGOZA	200	41,7	0,9 W	-11

Font: CENSOLAR

El fluid caloportador

En afegir additius, **varien les propietats físiques i químiques** de la mescla en funció de la seua composició:

- Toxicitat. Alguns anticongelants són tòxics, per la qual cosa cal evitar pèrdues que puguen barrejar-se amb l'aigua de consum. Així l'anticongelant etilenglicol és perjudicial per a la salut i per això sol preferir-se el propilenglicol que no ho és.
- Viscositat. L'increment de la viscositat de la mescla augmenta les pèrdues de càrrega.
- Dilatació. Ha de tenir-se en compte a l'hora de dimensionar el vas d'expansió l'increment del coeficient de dilatació de la mescla.
- T. d'ebullició. Generalment superior a la de l'aigua pura.
- La corrosió. L'additiu anticorrosiu es degrada amb la temperatura augmentant l'acidesa de la mescla.

Temperatura d'estancament del captador

- És la temperatura a la qual les pèrdues arriben a ser del 100% i ja no se cedeix calor al fluid caloportador.
- Depèn de la corba de rendiment del captador i de les condicions climàtiques (irradiància i temperatura ambient).
- Per a $I = 1000 \text{ W/m}^2$ i $T_{\text{amb}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, la temperatura d'estancament dels captadors solars plans varia entre $130 \text{ }^\circ\text{C}$ i $180 \text{ }^\circ\text{C}$. En els captadors solars de buit oscil·la entre els $150 \text{ }^\circ\text{C}$ i $300 \text{ }^\circ\text{C}$.

Elements d'una instal·lació solar tèrmica de BT

- Sistema de captació de la calor.
- **Sistema d'acumulació:** encarregat d'emmagatzemar l'energia tèrmica generada pels captadors. El seu ús és imprescindible perquè la demanda d'aigua calenta i la generació no són simultànies. Permet disposar d'aigua calenta, en els moments en què no hi haja radiació solar.
- Sistema d'intercanvi de la calor.
- Circuit hidràulic.
- Sistema d'energia convencional auxiliar.
- Sistema de regulació i control.
- Sistema de mesura.
- Sistemes de control de la temperatura dels col·lectors solars.

Model físic de l'acumulador

Equacions bàsiques de transferència de la calor (recordatori)

- Velocitat amb què es transfereix la calor entre un cos (T) i el medi ambient que l'envolta (T_{amb}):

$$\frac{dQ}{dt} = -k \cdot A \cdot (T^a - T_{amb}^a) \quad (1)$$

- Variació de calor que experimenta un cos de massa "m" en variar la seua temperatura:

$$dQ = m \cdot C_e \cdot dT^a = \rho \cdot V \cdot C_e \cdot dT^a \quad (2)$$

- Flux de calor en un fluid en moviment:

$$\frac{dQ}{dt} = \dot{m} \cdot C_e \cdot (T_{2}^a - T_{1}^a) \quad (3)$$

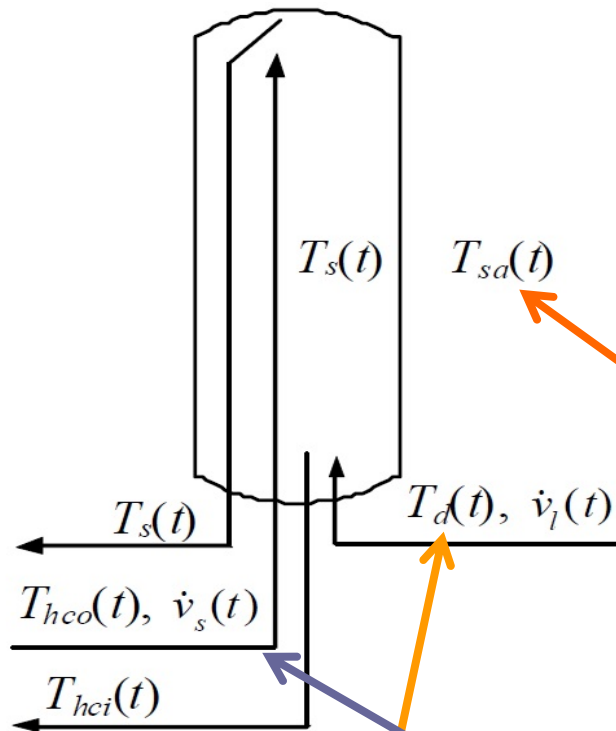
- La potència neta resultant del balanç de potències és utilitzada per a augmentar (o disminuir) la temperatura del fluid:

$$P_{neta} = \frac{dQ_{neta}}{dt} = m \cdot C_e \cdot \frac{dT^a}{dt}$$

- Balanç de potències:

$$P_{neta} = P_{ext} - P_{pèrdidat} - P_{útil}$$

Model físic de l'acumulador



- T_{hci} : Temperatura del fluid que torna al secundari del bescanviador de calor procedent de l'acumulador [$^{\circ}\text{C}$];
- T_{hco} : Temperatura del fluid que torna a l'acumulador procedent del secundari del bescanviador de calor, [$^{\circ}\text{C}$];
- \dot{v}_s : Flux volumètric en el llaç d'emmagatzematge [m^3/s];
- T_s : Temperatura de l'aigua en l'acumulador [$^{\circ}\text{C}$];
- T_{sa} : Temperatura ambient de l'aire als voltants de l'acumulador [$^{\circ}\text{C}$];
- T_d : Temperatura de l'aigua freda de la xarxa de subministrament [$^{\circ}\text{C}$];
- V_s : Volum de l'acumulador [m^3];
- \dot{v}_l : Flux volumètric d'aigua calenta extreta (o d'aigua freda de xarxa introduïda en el seu lloc) [m^3/s];
- A_s : Superfície de la cara externa de l'acumulador [m^2];
- k_s : Coeficient de pèrdues de calor o de transferència de calor entre l'acumulador i l'ambient [$\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$];

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{\dot{v}_l}{V_s} \cdot (T_d - T_s) + \frac{\dot{v}_s}{V_s} \cdot (T_{hco} - T_s) - \frac{A_s \cdot k_s}{\rho_s \cdot c_s \cdot V_s} \cdot (T_s - T_{sa})$$

Nota: Se suposa que el fluid en el tanc es barreja completament i, per tant, $T_{hci} = T_s$ i el fluid que ix del tanc amb un cabal \dot{v}_l ho fa a la temperatura T_s .

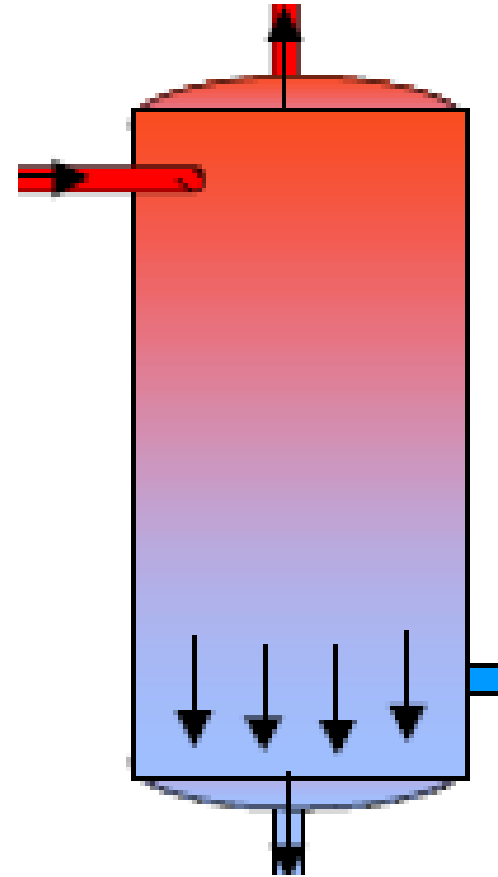
L'acumulador - dimensions

- S'ha de dimensionar correctament, ja que un acumulador més petit afavoreix altes temperatures en els panells i un acumulador massa gran dificulta assolir la temperatura d'ús.
- El CTE recomana l'ús d'acumuladors **verticals** per a afavorir l'estratificació (distribució vertical per temperatures) de l'aigua a l'interior de l'acumulador. Aquesta estratificació es pot veure afavorida per la situació de les canonades i l'entrada dels fluids a l'interior del dipòsit.



L'acumulador - Estratificació

ESTRATIFICACIÓ: L'aigua disminueix de densitat en augmentar de temperatura. Per tant, la zona més calenta tendeix a situar-se en la part més elevada, en estar la massa d'aigua sotmesa a l'acció de la gravetat, i la freda en la zona inferior.



L'acumulador- Problemes de corrosió

CORROSIÓ: Procés electroquímic consistent en reaccions d'oxidació i reducció fonamentalment en metalls que generen un intercanvi d'electrons (corrent elèctric) a través d'un medi conductor.



- Els problemes de corrosió s'accentuen per efecte de l'excés de temperatura o la presència d'oxigen i sals en el fluid.

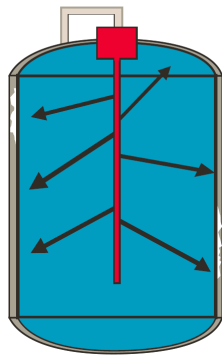
Solucions:

- Eliminar el corrent de corrosió mitjançant l'aïllament dels elements que cal protegir (protecció passiva): ús de recobriments interiors especials (vitrificats) i de maniguets dielèctrics.
- Aplicació d'un corrent de protecció contrari al de corrosió o protecció catòdica.

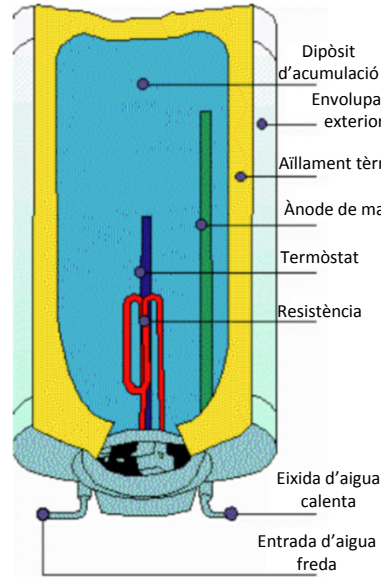
L'acumulador- Problemes de corrosió

CORROSIÓ: protecció catòdica

Font: www.suicalsa.com



a) Protecció catòdica per ànodes de sacrifici. Sol limitar-se a dipòsits menuts i ben revestits.

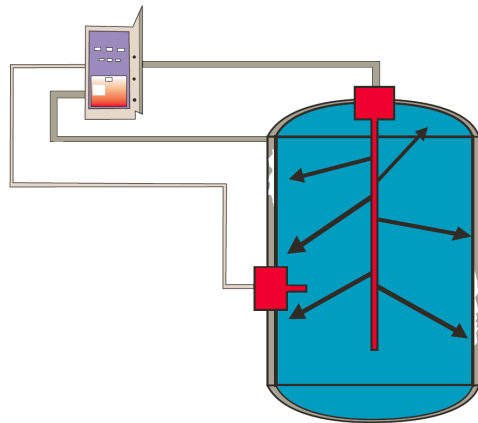


La protecció catòdica és indispensable per evitar qualsevol problema de corrosió en els acumuladors amb revestiment intern[®] i vitrificat. Sin dicha protección, la garantía ofrecida por SUICALSA quedaría sin efecto.

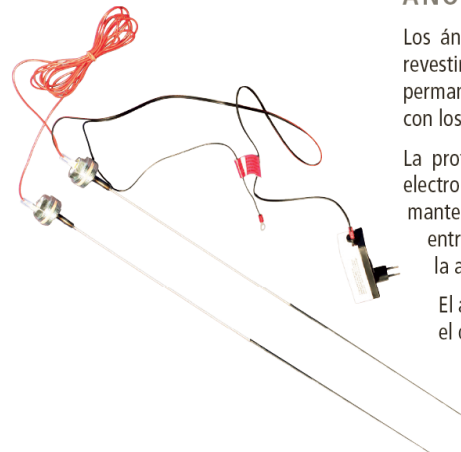
ÁNODO DE MAGNESIO SACRIFICABLE (SIMPLETEST)

Los ánodos de magnesio SIMPLETEST ofrecen una protección catódica adecuada en los acumuladores con revestimiento interior. No obstante, tienen una duración limitada en el tiempo, y es imprescindible comprobar periódicamente el estado del ánodo. Dicha comprobación se realiza mediante la apertura de la válvula situada en el cabezal del ánodo SIMPLETEST, y sin necesidad de vaciar el depósito. Una eventual salida de agua a través de la válvula, indica la necesidad de sustituir el ánodo de magnesio.

Los ánodos SIMPLETEST también son adecuados para su uso en acumuladores de acero inoxidable



b) Protecció catòdica per corrent imprès (o "de corrent impositat").



ÁNODO ELECTRÓNICO (CORREX)

Los ánodos electrónicos CORREX son la protección más adecuada para los acumuladores con revestimiento Polywarm[®], puesto que no necesitan mantenimiento y ofrecen una protección permanente (siempre que se cumplan rigurosamente las instrucciones de montaje que se adjuntan con los ánodos). Sin embargo, no son adecuados para proteger acumuladores en acero inoxidable.

La protección contra la corrosión se proporciona mediante la estabilización del potencial del electrolito, a través de la aplicación de una corriente impresa producida por el dispositivo. El mantenimiento de dicho potencial está garantizado por la medición de la diferencia de potencial entre el acumulador y el ánodo de titanio, con una periodicidad muy elevada (microsegundos), y la adecuación de la corriente impresa para conseguir el potencial nominal.

El ánodo está constituido por una varilla de titanio, con la parte extrema activada, e insertada en el otro extremo en un racor de 1" 1/4 del que se encuentra aislado eléctricamente. El dispositivo de alimentación se encuentra alojado en una carcasa de material aislante resistente a las condiciones habituales de uso de las centrales térmicas. Consta de un LED de señalización luminosa colocado en la parte frontal del dispositivo. Dicha señalización permite conocer el funcionamiento del dispositivo: LUZ VERDE corresponde con un modo de funcionamiento adecuado (se aporta corriente impresa), mientras que la LUZ ROJA indica un funcionamiento anómalo.

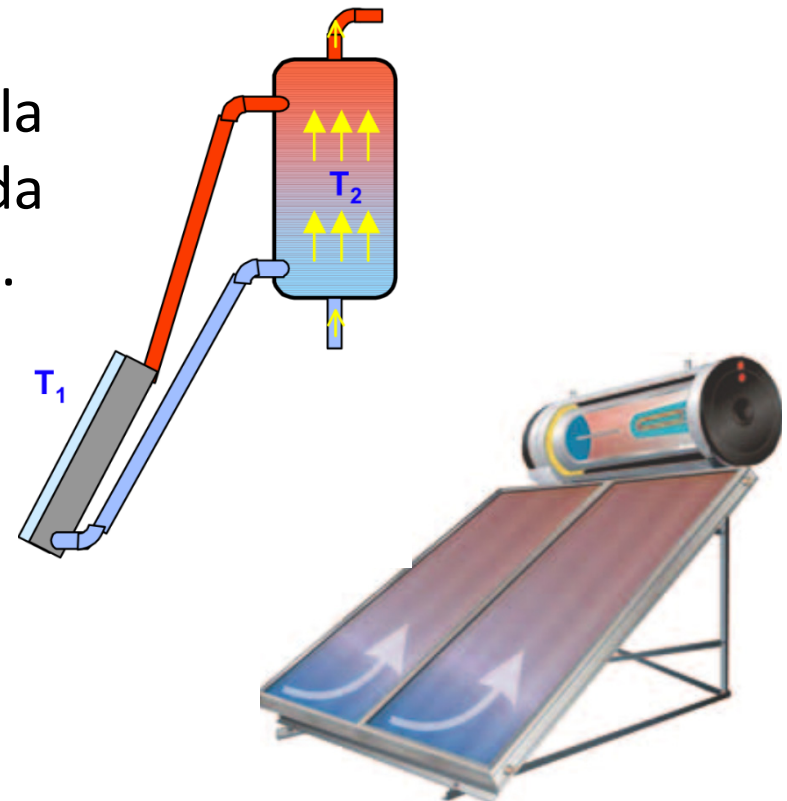
En este último caso es necesario seguir las recomendaciones de detección de problemas que se incluyen en las instrucciones suministradas con el dispositivo. Si no es posible solucionar el problema, es necesario ponerlo en conocimiento del instalador.

L'acumulador - Connexions

D'acord amb el CTE, les connexions d'entrada i d'eixida se situaran de manera que s'eviten camins preferents de circulació del fluid que puguin causar un escalfament desigual.

1) Acumulador en una instal·lació solar prefabricada:

- La connexió de la tornada de la recirculació i l'entrada d'aigua freda se situarà en la part baixa del dipòsit.
- L'eixida d'aigua calenta se situarà sempre en la part superior.



L'acumulador - Connexions

2.- En el cas d'acumulador o acumulador amb bescanviador (interacumulador) i segons el CTE:

- a) la connexió d'entrada **d'aigua calenta** procedent del bescanviador o dels captadors a l'interacumulador es farà, preferentment a una altura compresa entre el **50% i el 75%** de l'altura total d'aquest;
- b) la connexió d'eixida **d'aigua freda de l'acumulador cap al bescanviador o els captadors** es farà per la part inferior d'aquest;
- c) les connexions de **tornada de consum a l'acumulador** i d'**aigua freda de xarxa** es faran per la part inferior;
- d) l'extracció **d'aigua calenta** de l'acumulador es farà per la part superior.



L'acumulador - aïllant

- El CTE recomana que el sistema d'acumulació estiga preferentment constituït per **un sol dipòsit situat en zones interiors.**
- A més l'acumulador haurà d'estar recobert amb **material aïllant** (escuma de poliuretà, llana de roca o fibra de vidre) i **es recomana una protecció mecànica o de revestiment exterior.** També es recomana aïllar les canonades de connexió i els diferents accessoris (boques de connexió, brides, etc.).

Material	Conductivitat tèrmica a 50 °C (W/m·K)	Temperatura màxima d'utilització (°C)	Observacions
Llana de vidre	0,050	150	Sensibilitat a la humitat
Llana de roca	0,050	150	Sensibilitat a la humitat
Escuma de vidre	0,057	150	
Suro expandit	0,052	110	
Poliestirè	0,042	85	Modelat
Poliuretà	0,027	110	Escuma

L'acumulador - aïllament

- Quan la potència tèrmica a instal·lar siga inferior a 70 kW, el RITE recomana els següents gruixos mínims d'aïllament (en mm) dels dipòsits, per a un material amb conductivitat tèrmica de referència, a 10°C, de 0,040 W/m·K:

Temperatura màxima del fluid (°C)			
	40 < T ≤ 60 °C	60 < T ≤ 100 °C	100 < T ≤ 180 °C
Acumulador a l'interior	35	40	50
Acumulador a l'exterior	45	50	60

- Per a instal·lacions de potència tèrmica superior a 70 kW, s'haurà de realitzar el càlcul de l'aïllament necessari perquè les pèrdues tèrmiques globals del conjunt de conduccions no superen el 4% de la potència tèrmica transportada.

L'acumulador - legionel·la

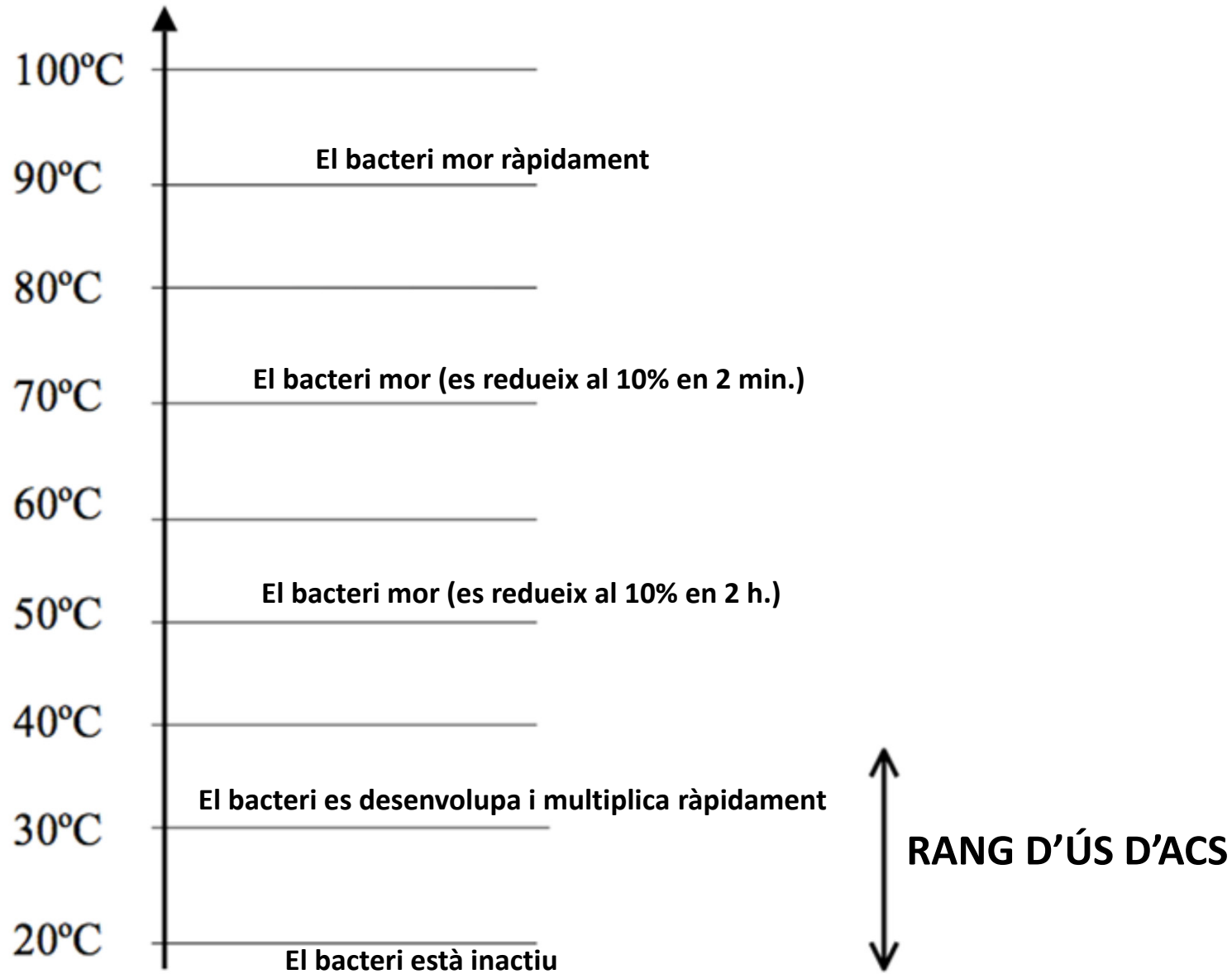
En els acumuladors d'ACS, en ser aigua estancada pot generar-se una biocapa, en la qual en condicions òptimes de T (entre 35 i 37°C) pot tenir lloc la multiplicació del bacteri legionel·la fins a concentracions infeccioses per a l'ésser humà.

El RD 865/2003 de 4 juliol estableix els criteris higienicosanitaris per a la prevenció i control de legionel·la:

- Els equips d'acumulació han de complir amb les condicions d'accessibilitat per a la neteja, desinfecció i presa de mostres.
- En instal·lacions destinades a hotels, restaurants o hospitals la temperatura de l'aigua en el circuit d'aigua **freda ha de ser inferior a 20°C** i en el circuit d'aigua **calenta superior a 50°C**; aquest circuit pot suportar temperatures de fins a 70°C.
- En **habitatges**, quan per l'acumulador circula aigua de consum, la norma **no obliga**, però es fa necessària la implementació d'alguna estratègia per a evitar la proliferació de la legionel·la.

L'acumulador

CICLE DE LA LEGIONELLA PNEUMOPHILLA

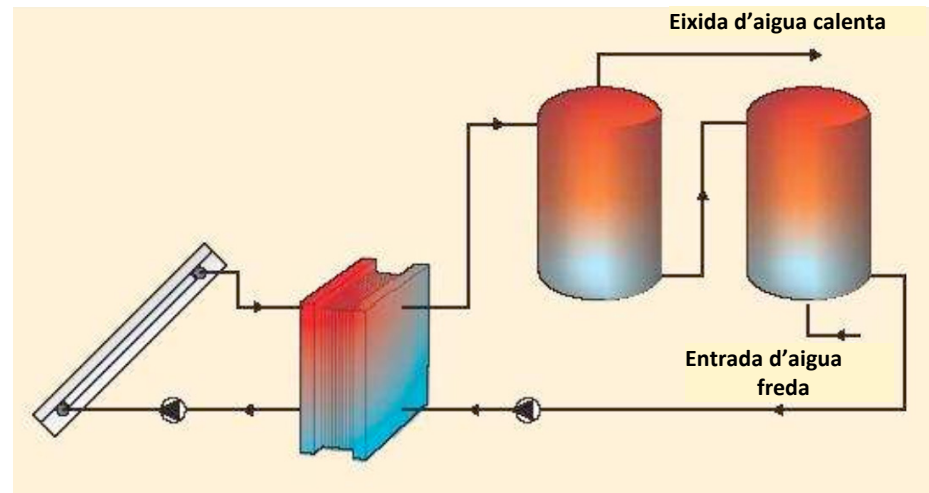


Connexió dels acumuladors

Quan es requereisca més d'un dipòsit, el CTE recomana dues possibles opcions:

1) Connexió en sèrie invertida en el circuit de consum.

Els acumuladors es comporten com un únic acumulador amb volum igual a la suma dels volums individuals i amb altura igual a la suma d'altures.



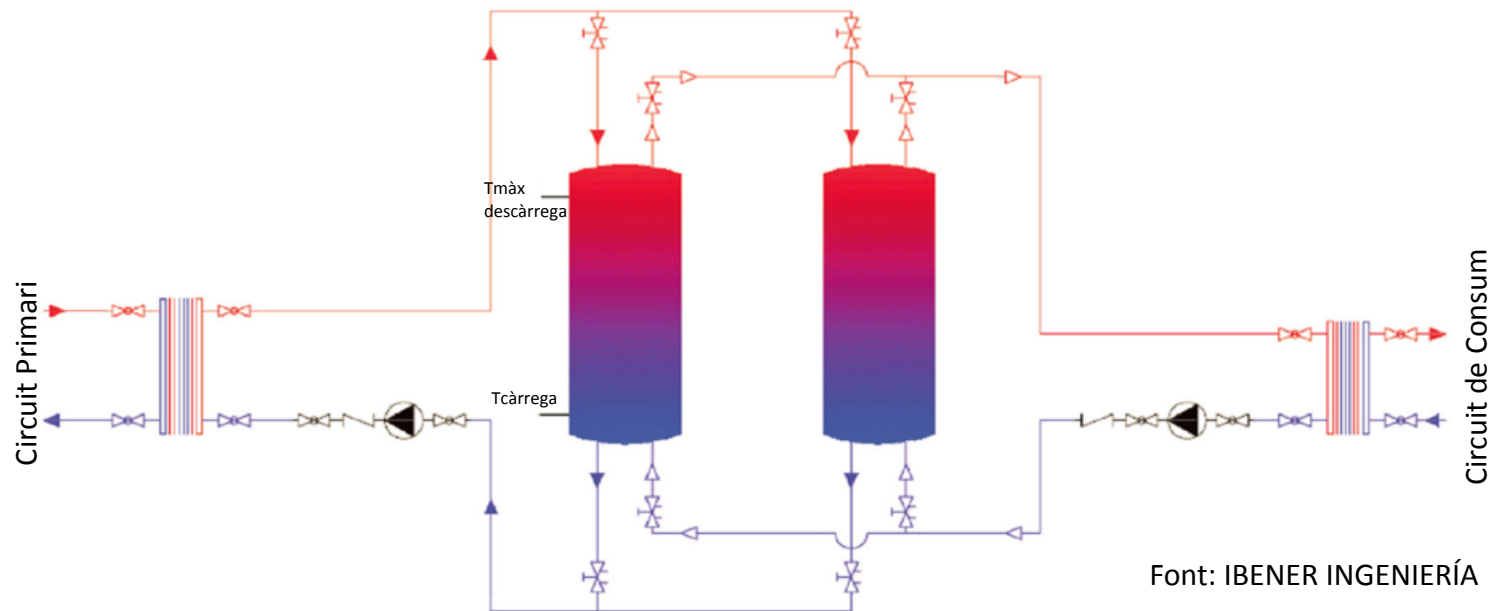
La connexió sèrie permet un major grau d'estratificació de temperatures, així com el manteniment de l'equilibri hidràulic en el sistema d'acumulació.

Connexió dels acumuladors

2) Acumuladors connectats en paral·lel, amb els circuits primaris i secundaris equilibrats.

Es comporten com un únic acumulador amb el volum suma dels volums individuals i l'altura d'un. Aquesta connexió **permet una distribució més homogènia de temperatures en tot el volum d'acumulació.**

A fi d'assegurar l'equilibrament hidràulic entre els acumuladors, es recomana utilitzar vàlvules de regulació.



Font: IBENER INGENIERÍA

Dimensionament del volum d'acumulació

- Segons el CTE, per a una aplicació d'ACS, el volum d'acumulació tindrà un valor tal que es complisca la condició:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

A: Suma de les àrees dels captadors (m²).

V: Volum del dipòsit acumulador, expressat en litres.

- **Es recomana seleccionar un volum similar al consum diari d'aigua calenta.** Per a valors més alts, malgrat augmentar l'energia emmagatzemada en l'acumulador, aquesta energia no s'aprofita, ja que la demanda d'aigua calenta és inferior al volum acumulat.
- Un valor molt habitual per a la determinació del volum d'acumulació en producció d'ACS **és de 75 litres per m² de col·lector solar.**

Dimensionament del volum d'acumulació

Gas Natural recomana:

Que el volum d'acumulació solar estiga comprès entre la demanda diària i la demanda diària més un 20%, de manera que es complisca la condició:

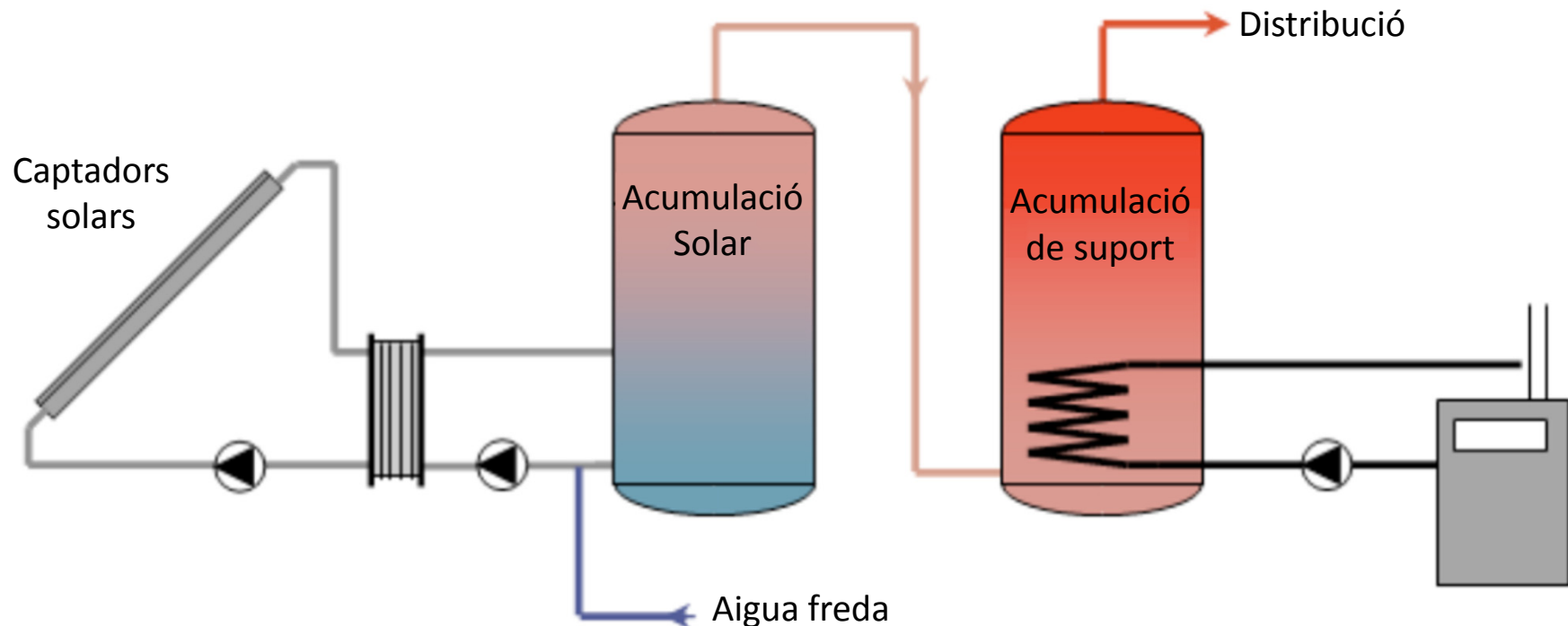
$$1 < \frac{V}{M} < 1,2$$

M : Demanda en l/dia.

V : Volum de l'acumulador solar en litres.

Dimensionament del volum d'acumulació

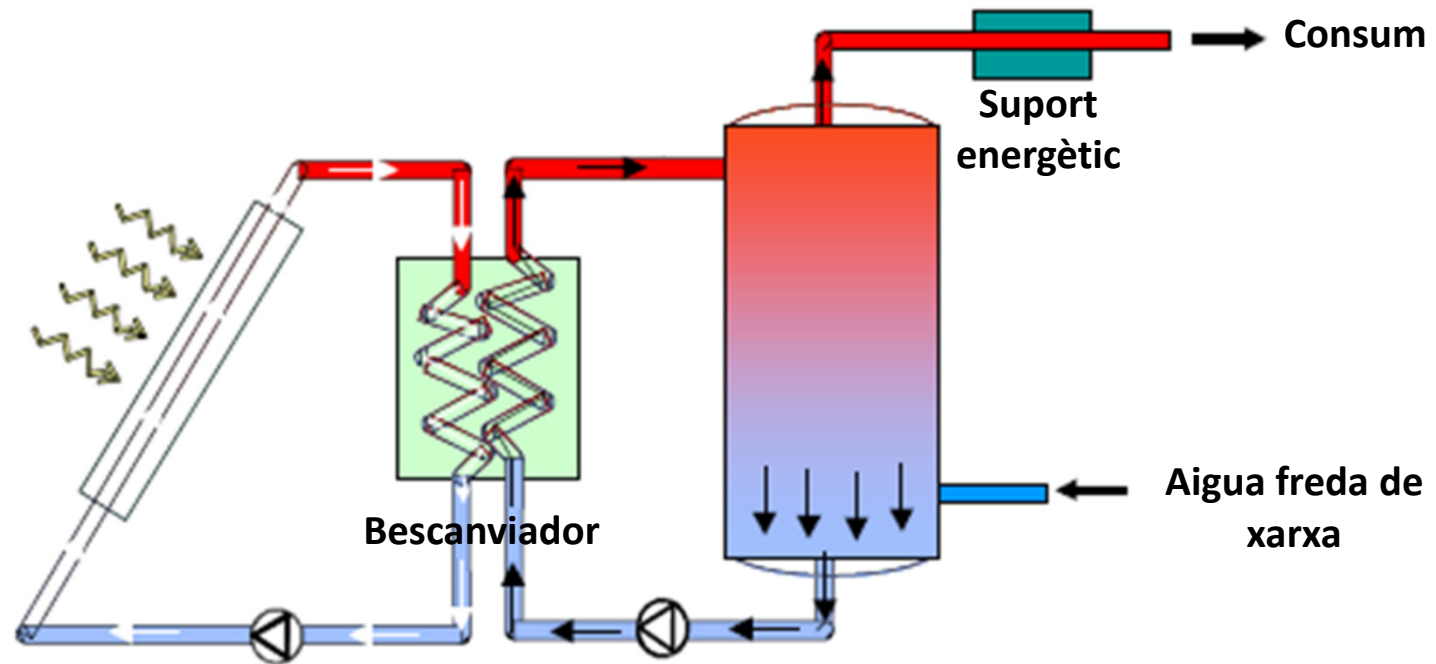
S'entén que el valor d'acumulació solar (V) és únicament el relatiu al sistema de captació solar. **En cas que el sistema de suport dispose d'una acumulació**, haurà de sumar-se a la solar dins del conjunt total d'acumulació de la planta.



Elements d'una instal·lació solar tèrmica de BT

- Sistema de captació de la calor.
- Sistema d'acumulació.
- **Sistema d'intercanvi de calor:** la seua finalitat és transmetre la calor del circuit primari al circuit secundari en un "Circuit tancat amb bescanviador".
- Circuit hidràulic.
- Sistema d'energia convencional auxiliar.
- Sistema de regulació i control.
- Sistema de mesura.
- Sistemes de control de la temperatura dels col·lectors solars.

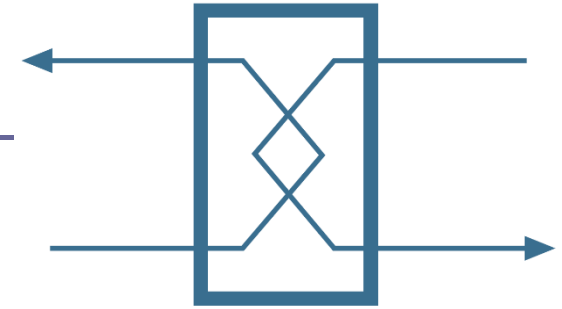
El bescanviador



Bescanviador en una **instal·lació solar de circuit indirecte o tancat**.

Aquestes instal·lacions estan formades per dos circuits diferenciats interconnectats a través del sistema d'intercanvi de calor: un circuit primari tancat i un circuit secundari obert seguit pel sistema auxiliar de suport.

El bescanviador



Avantatges del seu ús:

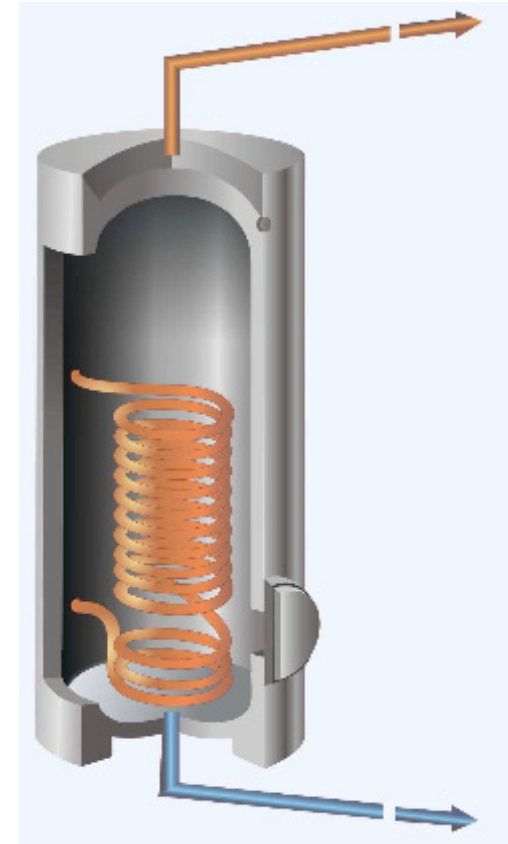
- Possibilitat d'utilitzar com fluid de treball un fluid amb anticongelant.
- Amb aquests sistemes s'eviten els problemes d'incrustacions calcàries en el circuit primari (incloent-hi captadors), però no en el secundari on es produeix l'entrada d'aigua de xarxa.
- Reducció del risc de corrosió, ja que no hi ha renovació constant d'aigua en el circuit primari.

Tipus de bescanviadors

Bescanviadors interns: el bescanviador està a l'interior del dipòsit d'acumulació. **Les seues pèrdues de càrrega són menors que les dels bescanviadors externs,** i per això són **recomanables en instal·lacions petites per termosifó.**

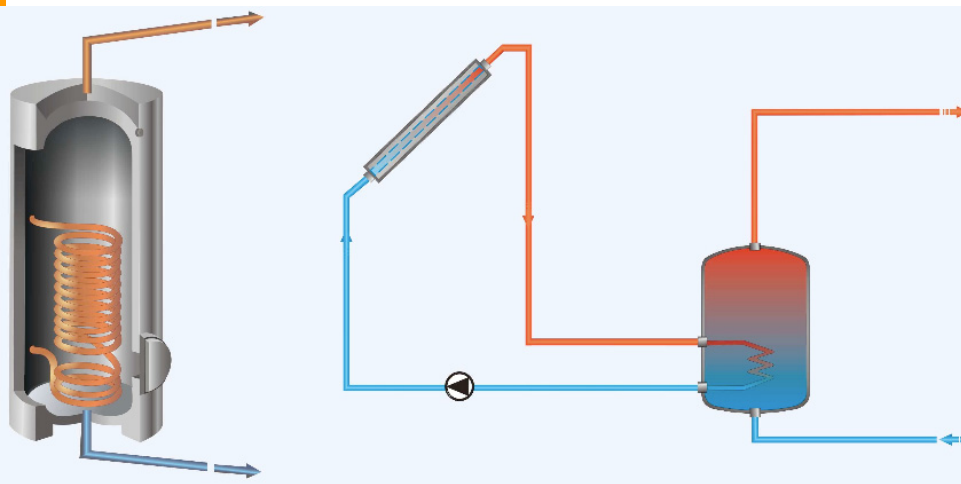
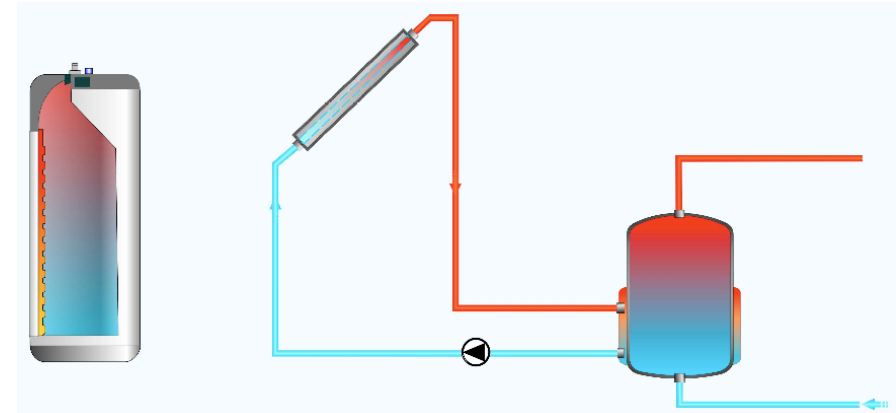
Dos tipus:

- De doble paret.
- De serpentí o doble serpentí helicoidal.



Tipus de bescanviadors

En el bescanviador de doble paret, el fluid caloportador **circula al voltant del dipòsit acumulador** en una capa cilíndrica concèntrica. És el sistema més utilitzat en els equips compactes.

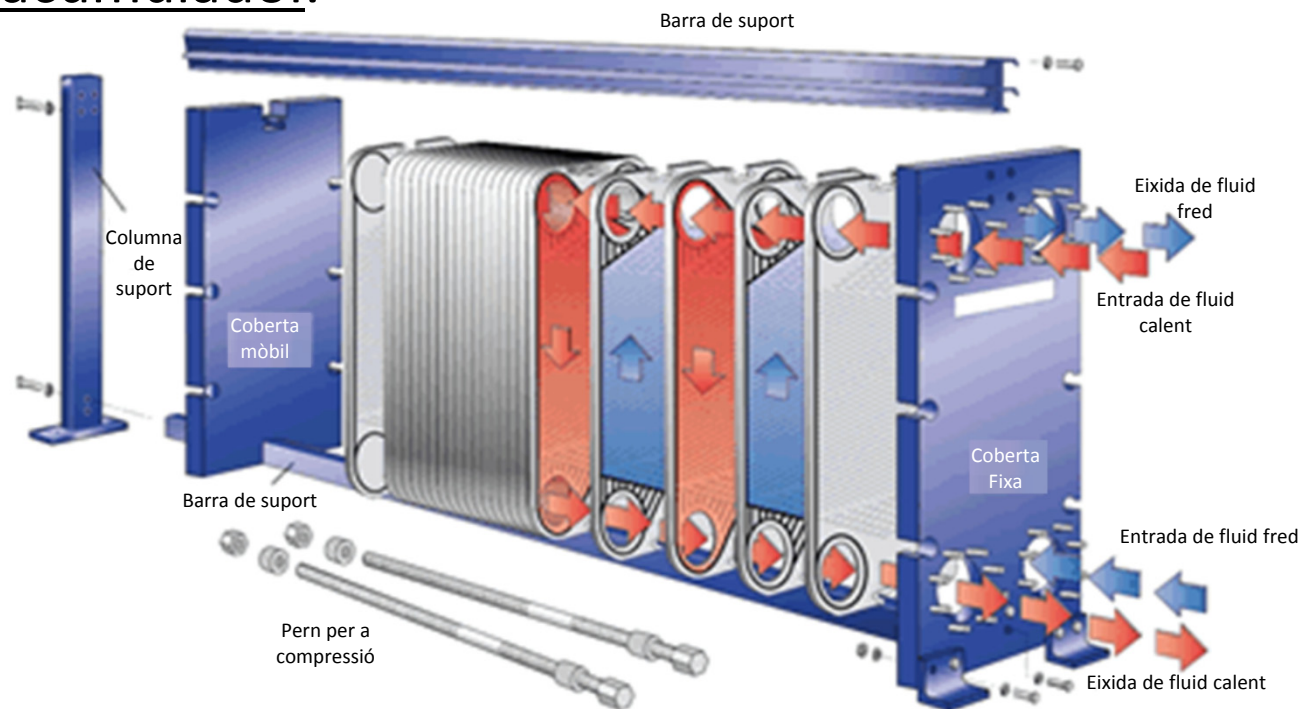


En el bescanviador de serpenti és recomanable que aquest es col·loque en la part inferior del dipòsit i amb aletes per a afavorir l'intercanvi de calor.

Tipus de bescanviadors

Bescanviadors externs: s'utilitzen només en sistemes forçats (amb bomba de circulació).

Els fluids fred i calent estan en moviment, podent ser la circulació dels fluids en el mateix sentit o en sentit contrari. Són més efectius els models que funcionen a contracorrent. Els bescanviadors externs tenen un rendiment d'intercanvi més elevat que els incorporats a l'acumulador.



Bescanviador de plaques

Dimensionament del bescanviador

D'acord amb el CTE, per al cas de **bescanviador independent**, la potència mínima del bescanviador es determinarà per a les condicions de treball en les hores centrals del dia, suposant una radiació solar de 1000 W/m² i un rendiment de l'energia solar a calor del 50%, complint-se la condició:

$$P \geq 500 \cdot A$$

P: Potència d'intercanvi (W)

A : Àrea de captadors (m²)

Per al cas **de bescanviador incorporat a l'acumulador**, el CTE estableix que la relació entre la superfície útil d'intercanvi i la superfície total de captació no serà inferior a 0,15. Segons la guia ASIT (de l'Associació Solar de la Indústria Tèrmica) aquesta relació no ha de ser inferior a 0,2.

Instal·lacions compactes

- Es tracta d'equips que presenten en una mateixa estructura l'interacumulador d'ACS i els col·lectors solars.
- La circulació del fluid caloportador (aigua amb anticongelant) és per convecció natural (termosifó).
- Solen utilitzar-se bescanviadors de doble paret per les seues baixes pèrdues de càrrega.
- El seu ús queda restringit a instal·lacions domèstiques d'ACS en habitatges unifamiliars, on no hi ha gran longitud de canonades muntades.



Instal·lacions compactes

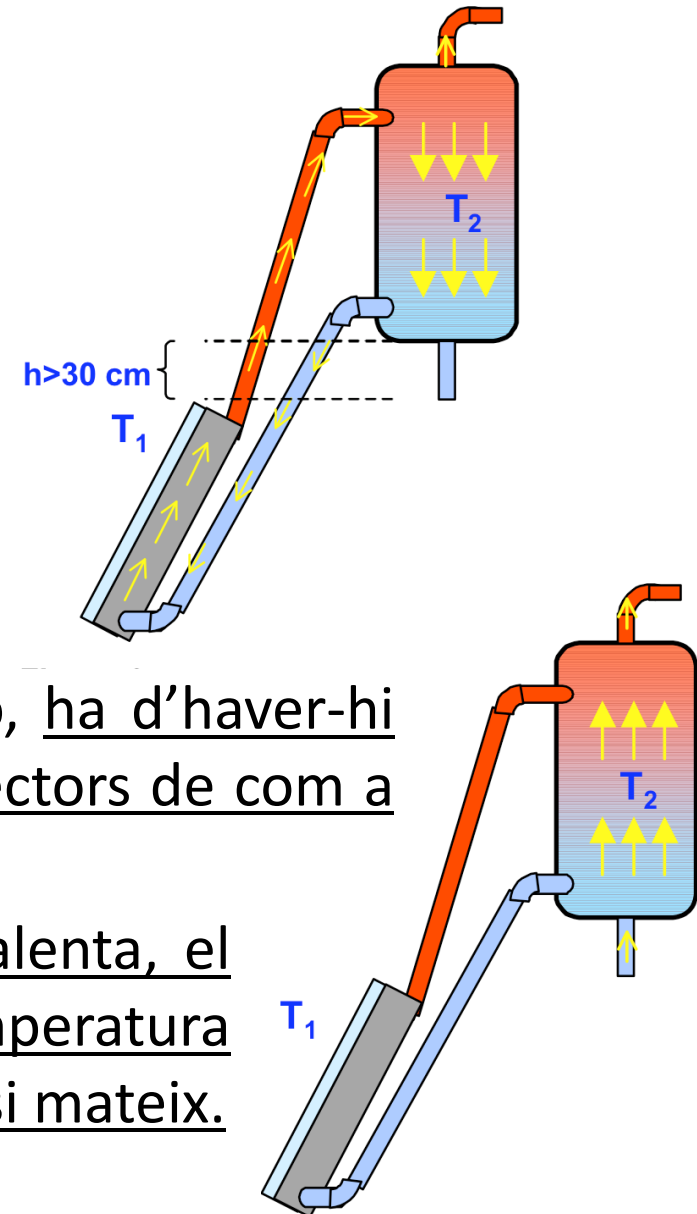
- El fluid tèrmic es calfa en els captadors, fent-se menys dens i pujant des del captador fins al dipòsit.
- En arribar al dipòsit es refreda, i descendeix cap als captadors.

Efecte termosifó: $T \uparrow \rightarrow \delta$ (densitat) \downarrow
 P (pressió) \downarrow

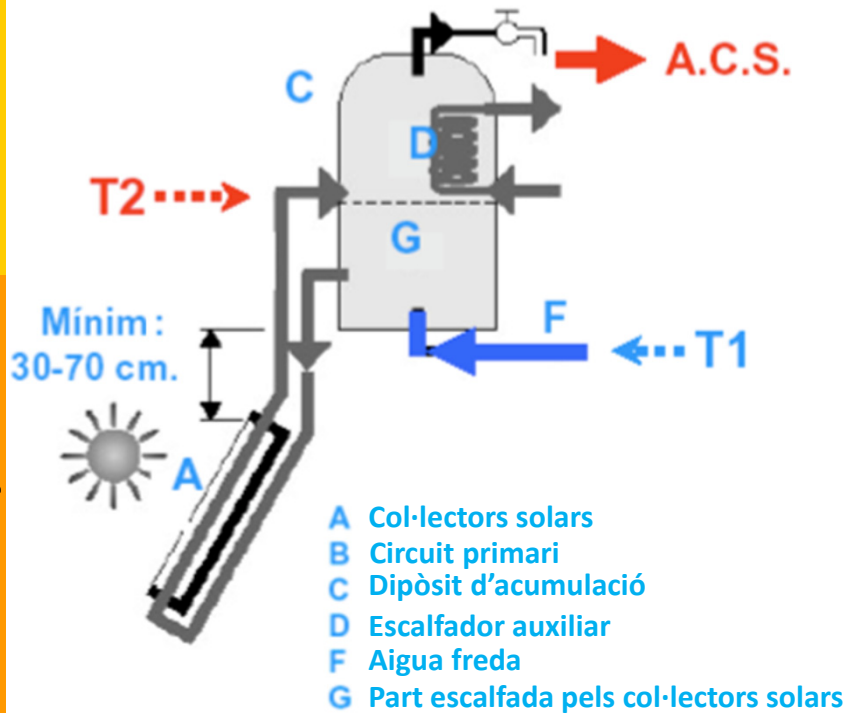
$$\Delta P = h \cdot g \cdot [\delta(T_1) - \delta(T_2)] \quad \text{con } T_2 > T_1$$

Perquè existisca la circulació per termosifó, ha d'haver-hi una diferència d'altures h entre tanc i col·lectors de com a mínim 30 cm.

Quan es produeix una extracció d'aigua calenta, el dipòsit s'ompli amb aigua de la xarxa, la temperatura del tanc baixa i el moviment es reinicia per si mateix.



Instal·lacions compactes



En el mercat també podem trobar equips compactes directes, en els quals no hi ha circuit tancat i l'aigua de consum passa directament pel dipòsit d'acumulació. En l'acumulador solar s'integra un sistema de suport auxiliar (escalfador auxiliar).

El seu ús no està permès pel CTE en tractar-se de llocs amb risc de gelades o amb aigües calcàries (com és el cas de la Comunitat Valenciana) i pel risc sanitari.

Instal·lacions compactes

- El CTE restringeix l'ocupació d'instal·lacions compactes amb circulació natural del fluid caloportador (efecte termosifó) a instal·lacions de menys de 10 m² de superfície de captadors.
- Per a superfícies majors s'utilitzen instal·lacions de circulació forçada que utilitzen una bomba com a força motora del fluid.

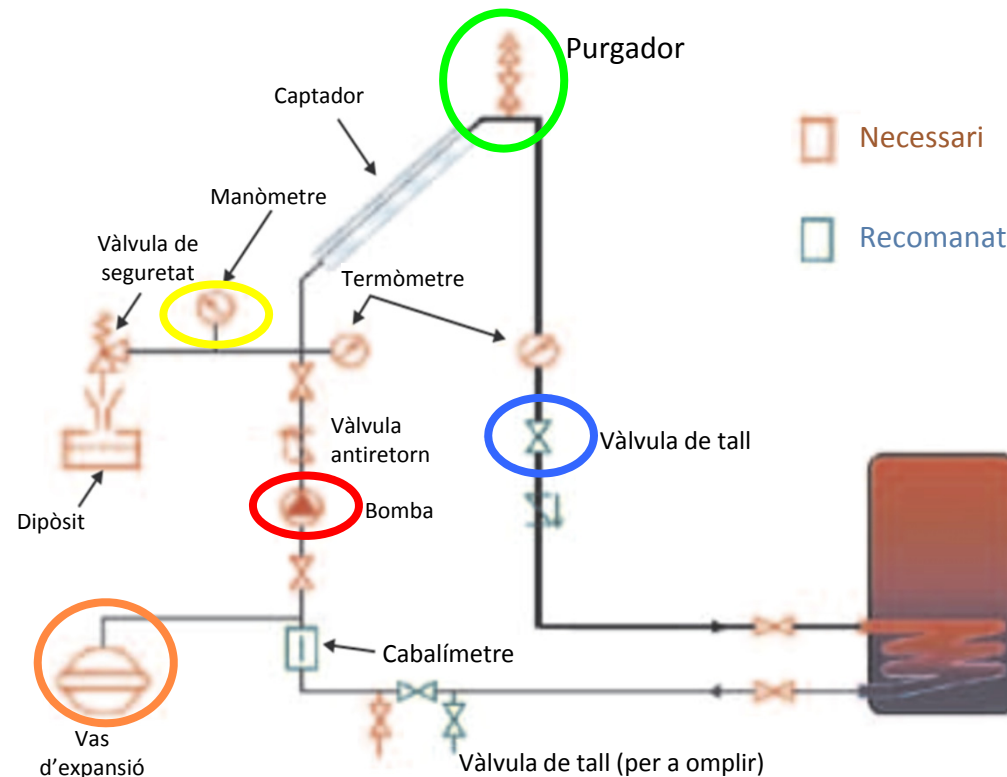
Elements d'una instal·lació solar tèrmica de BT

- ❑ Sistema de captació de la calor.
- ❑ Sistema d'acumulació.
- ❑ Sistema d'intercanvi de calor.
- ❑ **Circuit hidràulic:** format pel conjunt de canonades, bombes de circulació, vàlvules i accessoris que s'encarreguen de connectar entre si els principals components de la instal·lació solar.
- ❑ Sistema d'energia convencional auxiliar.
- ❑ Sistema de regulació i control.
- ❑ Sistema de mesura.
- ❑ Sistemes de control de la temperatura dels col·lectors solars.



Principals components del circuit hidràulic

- bombes de circulació
- vasos d'expansió
- vàlvules (de tall, de seguretat, de retenció, de regulació i termostàtiques)
- aparells de mesura (cabalímetres, comptadors d'energia)



Material de les canonades

- **Primari:** Circula un fluid caloportador amb una determinada proporció d'anticongelant i suporta temperatures elevades a l'interior del col·lector.

Poden utilitzar-se materials com el coure i l'acer inoxidable, amb protecció exterior de pintura anticorrosiva.

- **Secundari:** Circula aigua potable per a alimentar els consums d'ACS o bé circuits amb aigua no potable utilitzada per a escalfament en processos industrials o de calefacció.

Pot utilitzar-se coure i acer inoxidable o també materials plàstics que suporten la temperatura màxima del circuit.

Dimensionament de les canonades

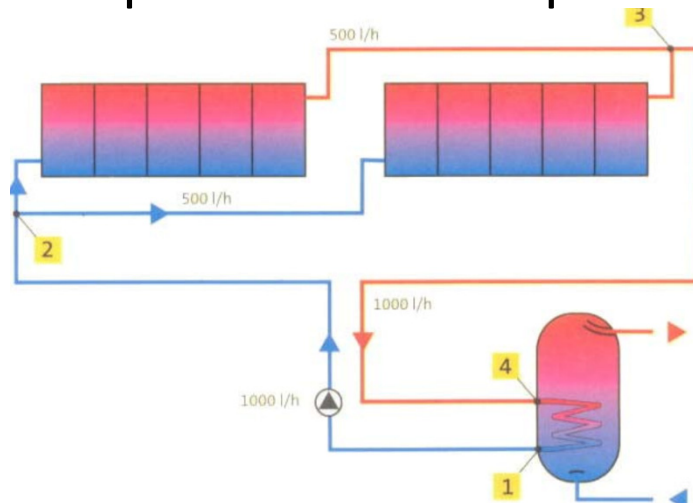
Cabal de circulació del circuit primari. Atenent l'exigència bàsica HE4 del CTE i **en cas que no siga especificat pel fabricant** es recomana per al càlcul del cabal de circulació:

1. Seleccionar un cabal de disseny comprès entre 1,2 i 2 l/s per cada 100 m² de superfície de captadors (entre 43,2 i 72 l/h·m²).

Sol escollir-se un valor d'1,4 l/s per cada 100 m² **(50 l/h·m²)**.

2. Si els captadors estan en sèrie, cal aplicar el criteri anterior i dividir el resultat pel nombre de captadors en sèrie.

Exemple: Instal·lació que disposa de 2 bateries de 5 captadors de 2 m².



$$\text{Cabal} = (1,4 \text{ l/s}) / 100 \text{ m}^2 * (2 \text{ m}^2 / \text{captador}) * 10 \text{ captadors} = 0,28 \text{ l/s} \approx 1000 \text{ l/h}$$

Per als trams 1-2 i 3-4.

Dimensionament de les canonades

Diàmetre de les canonades. Depèn de:

- el material del qual està feta la canonada per a saber les pèrdues de càrrega,
- el cabal que ha de circular per la canonada,
- les condicions de temperatura,
- les característiques del líquid que ha de circular-hi.

Se selecciona una canonada normalitzada DN que complisca que:

- La pèrdua de càrrega lineal (pèrdua de pressió per fregament) siga inferior a 40 mm de columna d'aigua (mmca) per metre lineal.
- La velocitat de circulació siga major de 0,3 m/s per a evitar acumulacions d'aire i inferior a 2 m/s per a evitar sorolls molestos en la instal·lació.

Se sol seleccionar la de menor diàmetre comercial (més econòmica) que complisca les dues condicions.

Dimensionament de les canonades

Diàmetres i gruixos de canonades de coure segons la norma UNE EN 1057.

DN, mm	Espesores, mm											
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
	Diàmetre interior, mm											
10	9,0			8,4		8,0						
12		10,8		10,4		10						
14	x		x	x		x						
15			x	13,4		13		x	x			
16	x		13,6	x		x		x				
18		x		16,4		16		x	x			
22		x		x	19,8	20	x	19,6	19			
25						x		x	x			
28		x		x	25,8	26		25,6	25	x		
35				x		x	x	32,6	32			
40			x			x	x					
42				x		x		39,6	39	x		
54				x	x	x		51,6	51	50		
64									x	60	x	
66,7						x		64,3	x	x	x	
70										x	x	
76,1								x	73,1	72,1	x	
80						x				x		
88,9										86,9	x	x
108								x	105	x	103	x
133									130	x		127
159									x	155		153

(x – otras dimensiones europeas).

Dimensionament de les canonades

Diàmetres i gruixos de canonades de coure segons les Normes bàsiques per a les instal·lacions interiors de subministrament d'aigua (NIA).

T-13 Diámetros interiores y espesores- Cobre						
Diámetro exterior nominal mm	Espesores en mm					
	0,75	1	1,2	1,5	2	2,5
Diámetro exterior nominal mm	Diámetro interior en mm					
	6	4,5	4			
8	6,5	6				
10	8,5	8				
12	10,5	10				
15	13,5	13				
18	16,5	16				
22		20	19,6	19		
28		26	25,6	25		
35		33	32,6	32		
42		40	39,6	39		
54			51,6	51		
63				60	59	
80				77	76	
100					96	95

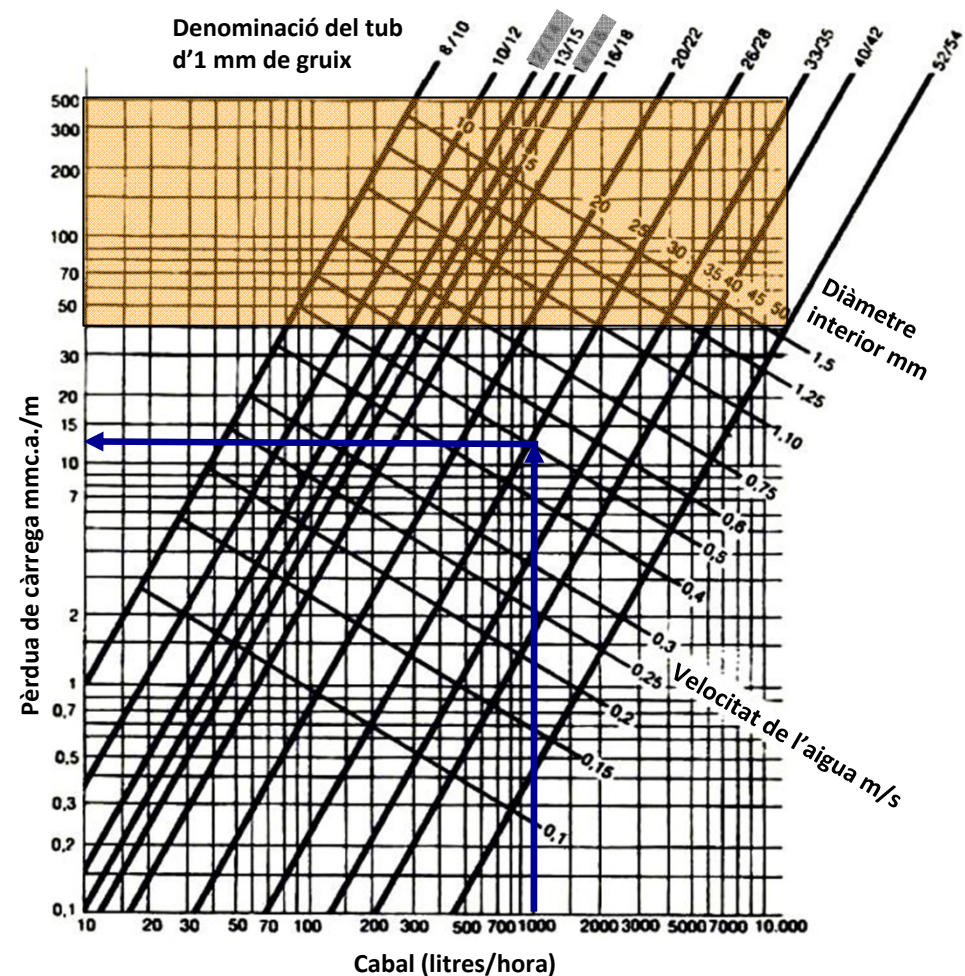
Dimensionament de les canonades

Àbac per al càlcul de les pèrdues de càrrega en funció del cabal d'aigua a una temperatura mitjana de 45°C per a canonades de coure.

Per a aquesta temperatura i un cabal de 1000 l/h, el menor diàmetre de canonada de coure amb pèrdua de càrrega inferior a 40 mmca és la canonada DN28 de 26 mm de diàmetre interior, 28 mm de diàmetre exterior i 1 mm de gruix. Per a aquesta canonada la pèrdua de càrrega unitària ascendeix a aproximadament 13 mmca/m.

Aquest valor s'ha de multiplicar per la longitud de la canonada per a obtenir la pèrdua de càrrega total.

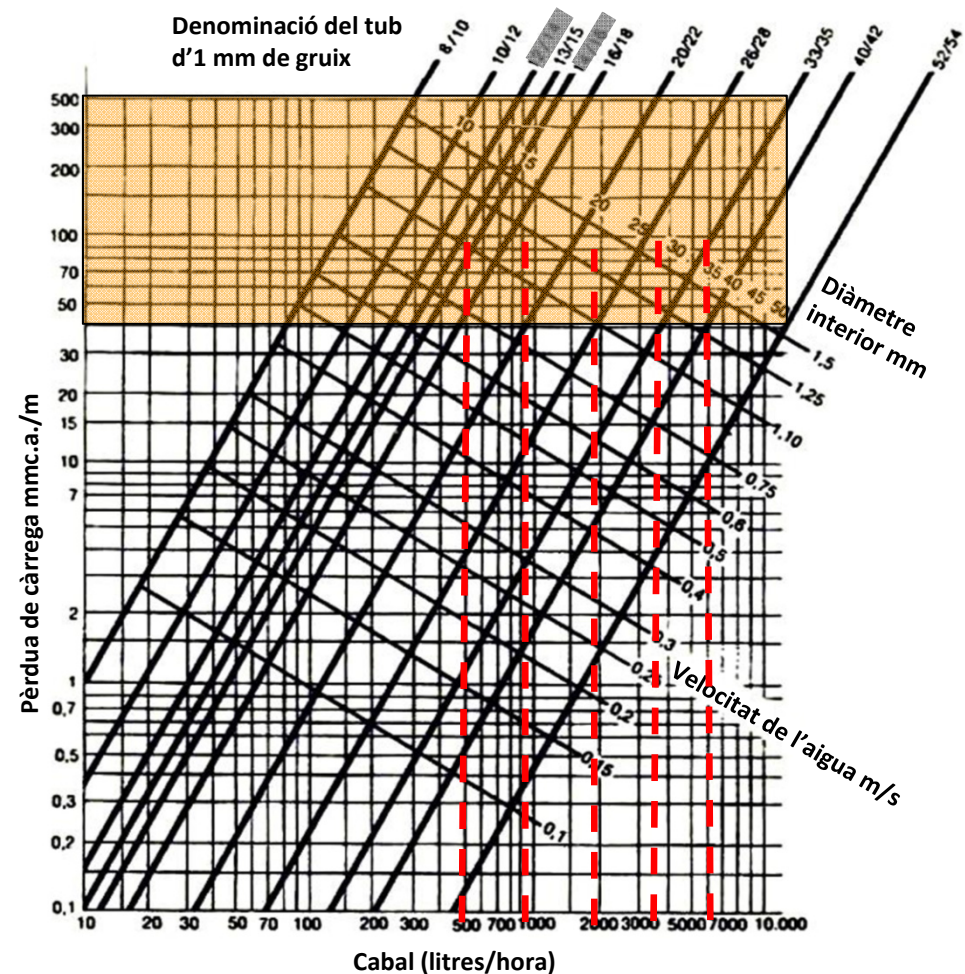
La velocitat de circulació és aprox. de 0,5m/s.



Dimensionament de les canonades

A partir de la gràfica és possible fer una preselecció del diàmetre de la canonada de coure que s'ha d'utilitzar en funció del cabal d'aigua a 45°C. El límit d'ús d'una canonada correspon amb el cabal per al qual la pèrdua de càrrega és la màxima de 40 mmca:

Cabal (l/h)	DN	Gruix paret (mm)	Diàmetre interior (mm)
<500	18	1	16
<950	22	1	20
<1.900	28	1	26
<3.600	35	1	33
<6.200	42	1	40
<12.000	54	1,2	51,6



Dimensionament de les canonades

- En canonades de parets llises (com les de coure) per les quals circula aigua calenta sense additius a una temperatura mitjana de 45°C :

$$\text{Pèrdua de càrrega (mmca/m)} = 378 \cdot \frac{\text{Cabal [l/h]}^{1,75}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^{4,75}}$$

- Per a un diàmetre de canonada i un cabal donats

$$v \text{ (m/s)} = 378 \cdot \frac{\text{Cabal [m}^3 \text{/s]}}{\pi \cdot (\text{Diàmetre interior [m]}^2 / 4)} = 0,354 \cdot \frac{\text{Cabal [m}^3 \text{/s]}}{\text{Diàmetre interior [mm]}^2}$$

Dimensionament de les canonades

Factors de correcció que cal aplicar:

- Si el fluid caloportador no és aigua, les perdudes de càrrega són majors, per la qual cosa multiplicarem els resultats obtinguts amb la gràfica anterior per un factor corrector superior a la unitat ($FC_1 > 1$).
- Per a temperatures mitjanes diferents de 45°C aplicarem un altre factor de correcció (FC_2).

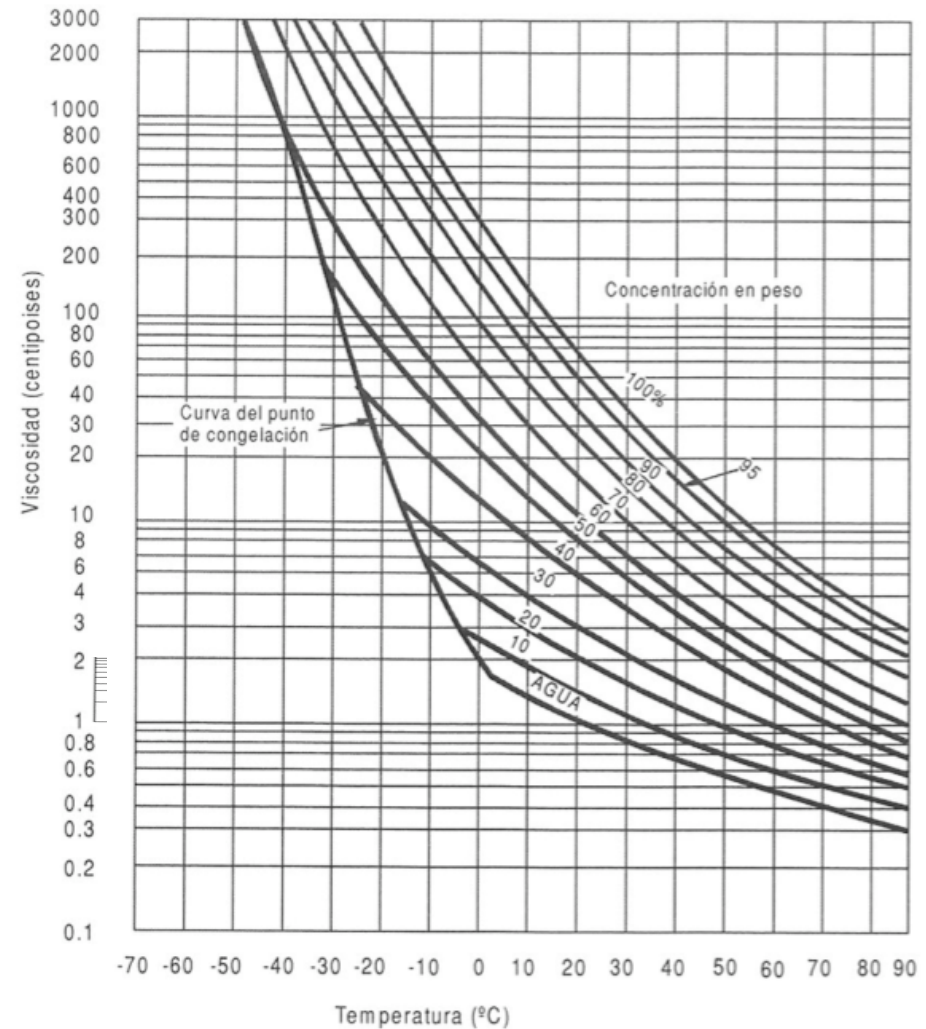
FACTORS DE CORRECCIÓ PER A DIFERENTS TEMPERATURES MITJANES DE L'AIGUA

Temperatura de l'aigua ($^\circ\text{C}$)	5	10	40	45	50	60	70	80	100	120
Factor de correcció	1,24	1,18	1,02	1,00	0,99	0,96	0,94	0,92	0,91	0,90

FLUID CALOPORTADOR. CANVI DE VISCOSITAT.

- Quan el fluid utilitzat és diferent de l'aigua, la pèrdua de càrrega s'ha d'incrementar en un factor igual a l'arrel quarta del quocient entre la viscositat de la dissolució i la de l'aigua a la temperatura considerada.

$$FC_1 = \sqrt[4]{\frac{\text{Viscositat de la dissolució}}{\text{Viscositat de l'aigua}}}$$



Viscositat d'una dissolució de propilenglicol, en funció de la temperatura. La unitat de viscositat en el Sistema Internacional és el pascal/segon, que equival a 1000 centipoises.

Aïllament de les canonades

Quan la potència tèrmica que s'ha d'instal·lar és inferior a 70 kW, per a les canonades i accessoris que transporten el fluid calent per l'interior de l'edifici es recomanen els següents gruixos mínims d'aïllament (en mm), per a un material amb conductivitat tèrmica de referència, a 10°C, de 0,040 W/m·K:



Aspecte d'aïllament flexible d'escuma elastomèrica

Fluido interior caliente			
Diámetro exterior (mm) (*)	Temperatura del fluido (°C) (**)		
	40 a 60	61 a 100	101 a 180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

(*) Diámetro exterior de la tubería sin aislar.

(**) Se escoge la temperatura máxima de red.

Font: Plec de condicions tècniques de l'IDAE

Quan les canonades discorren per l'exterior de l'edifici es recomana augmentar el gruix de l'aïllament en 10 mm respecte al que s'obtindria si aquestes circularen per l'interior.

Aïllament de les canonades

Quan s'utilitzen **materials amb una conductivitat tèrmica diferent de la de referència**, es determina el gruix mínim d'aïllament aplicant les següents equacions:

❖ Per a superfícies planes:

$$d = d_{\text{ref}} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{\text{ref}}}$$

❖ Per a superfícies de secció circular:

$$d = \frac{D}{2} \cdot \left[\exp\left(\frac{\lambda}{\lambda_{\text{ref}}} \cdot \ln \frac{D + 2 \cdot d_{\text{ref}}}{D} \right) \right] - 1$$

λ_{ref} : conductivitat tèrmica de referència, igual a 0,04 W/(m·K) a 10 °C

λ : conductivitat tèrmica del material utilitzar, en W/(m·K)

d_{ref} : gruix mínim de referència, en mm

d : gruix mínim del material utilitzat, en mm

D : diàmetre interior del material aïllant, coincident amb l'exterior de la canonada, en mm

Per a **instal·lacions de potència tèrmica superior a 70 kW**, el càlcul de l'aïllament es farà de manera que les pèrdues tèrmiques globals del conjunt de conduccions no supere el 4% de la potència tèrmica transportada.

Pèrdues de càrrega en accessoris

En absència d'una informació més detallada per part del fabricant, les pèrdues de càrrega en accessoris es calculen mitjançant el mètode cinètic o el mètode de les longituds equivalents.

1) Mètode cinètic:

$$\Delta P = k \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

v: Velocitat del fluid a través de l'accessori (m/s),

ρ : Densitat del fluid (kg/m³)

k: Coeficient de pèrdua unitària (adimensional)

Tipus d'accessori	Coeficient de pèrdua k
T divergent	1,3
T concurrent	0,9
T directa amb derivació	0,3
Canvi de direcció amb corba o colze	0,7
Vàlvula de seient angular	2 – 3
Vàlvula de bola	0,1
Vàlvula de retenció de disc	10
Vàlvula de retenció de claveta	1 - 2

Pèrdues de càrrega en accessoris

1) Mètode cinètic:

Pèrdua de càrrega UNITÀRIA en ACCESSORIS					
Tipus d'accessori	Coefficient	Símbol gràfic	Tipus d'accessori	Coefficient	Símbol gràfic
T divergent	1,30		Eixida de dipòsit o cisterna	0,50	
T concurrent	0,90		Entrada a dipòsit o cisterna	1,00	
T directa amb derivació	0,30		Canvi de direcció amb corba o colze	0,70	
T a contracorrent amb eixida en derivació	3,00		Lira de dilatació	1,00	
T a contracorrent amb entrada en derivació	1,50		T amb corba divergent	0,90	
T amb corba en branca convergent	0,40		Reducció	0,40	
Eixida de col·lector	0,50		Entrada de col·lector	1,00	

Pèrdues de càrrega en accessoris

2) Mètode de les longituds equivalents:

Es calculen les pèrdues de càrrega establint una longitud equivalent (m) de canonada que produeix la mateixa pèrdua de càrrega que l'element en qüestió.

	Diàmetre nominal de la canonada					
	18	22	28	35	42	54
Corba de 45º	0,34	0,43	0,47	0,56	0,7	0,85
Colze de 90º	0,5	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71
Corba de 90º	0,33	0,45	0,6	0,84	0,96	1,27
Reducció	0,3	0,5	0,65	0,85	1	1,3
T	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
T	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5
T	1,68	1,8	1,92	2,4	3	3,6
Vàlvula antiretorn de claveta	0,5	0,77	1,05	1,61	2,1	2,66

Longitud equivalent de canonada (en m) per a pèrdues de càrrega singulars.

Font: Gas Natural

Longituds equivalents (en m) de les pèrdues de càrrega localitzades corresponents a diferents elements singulars de les xarxes hidràuliques.

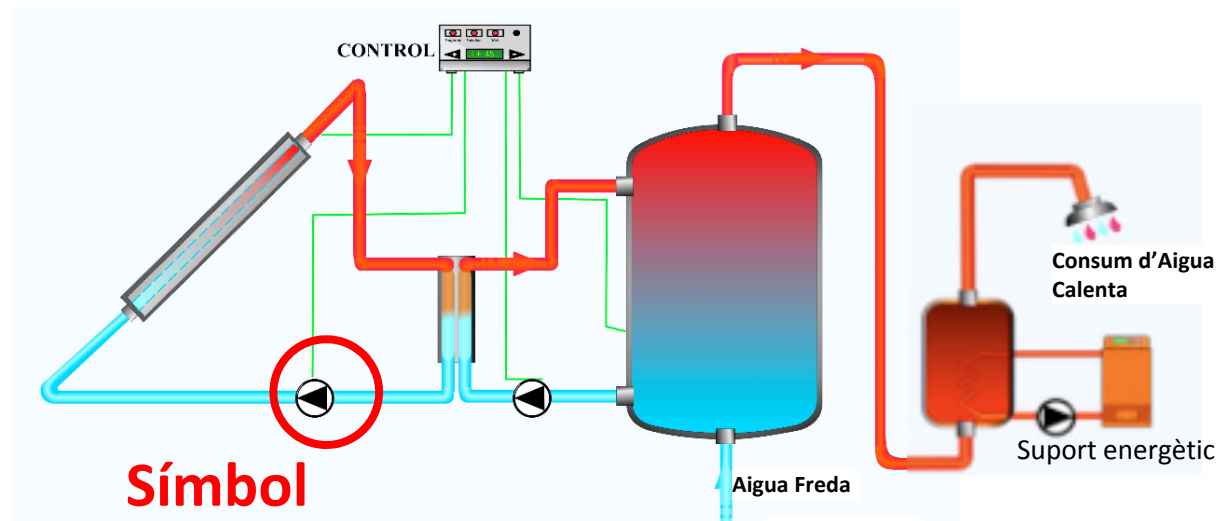
Classe de resistència aïllada	Diàmetres nominals de les canonades	12	18	22	28	35	42	54	70	80
			Maneguí d'unió	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
	Con de reducció	0,20	0,30	0,50	0,65	0,85	1,00	1,30	2,30	2,30
	Colze o corba de 45º	0,20	0,34	0,43	0,47	0,56	0,70	0,83	1,30	1,18
	Corba de 90º	0,18	0,33	0,45	0,60	0,84	0,96	1,27	1,48	1,54
	Colze de 90º	0,38	0,50	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71	1,34	2,01
	"T" de 45º	1,02	0,84	0,90	0,96	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40
	"T" arquejada o de corbes ("pantalons")	1,50	1,68	1,80	1,92	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80
	"T" confluència de branç (pas recte)	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
	"T" derivació a branç	1,80	2,50	3,00	3,60	4,10	4,60	5,00	5,50	6,20
	Vàlvula retenció - de batent - de pistó	0,20 1,33	0,30 1,70	0,55 2,32	0,75 2,85	1,15 3,72	1,50 4,67	1,90 5,75	2,55 6,91	3,40 8,40
	Vàlvula retenció pas d'esquadra	5,10	5,40	6,50	8,50	11,50	13,0	16,5	21,0	25,0
	Vàlvula de comporta oberta	0,14	0,18	0,21	0,26	0,36	0,44	0,55	0,69	0,81
	Vàlvula de pas recte i seient inclinat	1,10	1,34	1,74	2,28	2,89	3,46	4,53	5,51	6,69
	Vàlvula de globus	4,05	4,95	6,25	8,25	10,8	13,0	17,0	21,0	25,0
	Vàlvula d'esquadra o angle (oberta)	1,90	2,55	3,35	4,30	5,60	6,85	8,60	11,1	13,7
	Vàlvula de seient de pas recte	-	3,40	3,60	4,50	5,65	8,10	9,00	-	-
	Bescanviador	-	-	-	2,1	5	12,5	13,2	14,2	25
	Radiador	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00
	Radiador amb vàlvules	3,75	4,40	5,25	6,00	6,75	7,50	8,80	10,10	11,40
	Caldera	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00
	Caldera amb vàlvules	3,00	4,20	4,90	5,60	6,30	7,00	8,00	8,75	9,50
	Comptador general Individual o divisionari	4,5 m.c.a. 10 m.c.a.								

Bomba de circulació: instal·lacions de circulació forçada

Són les instal·lacions que utilitzen una bomba com a força motora del fluid.

Aquesta configuració és més complexa que la instal·lació per termosifó (compacta), en la qual el fluid es mou per convecció lliure, ja que té major nombre d'elements. Tanmateix el seu rendiment és més elevat a causa que es fixen les condicions de temperatura i cabal amb les quals es vol fer treballar a la instal·lació.

Ha de disposar d'un equip de control que governe tots els elements que componen la instal·lació.



Bomba de circulació

En instal·lacions de grandària inferior a 50 m² solen utilitzar-se bombes en línia (intercalades directament en la canonada) que es munten, sempre que siga possible, en les zones més fredes del circuit (canonada de tornada a captadors en el circuit primari).

En instal·lacions de grandària superior a 50 m² s'han de muntar dues bombes idèntiques en paral·lel, deixant-ne una de reserva, tant en el circuit primari com en el secundari, preveient el funcionament alternatiu d'aquestes, bé de manera manual o de manera automàtica.

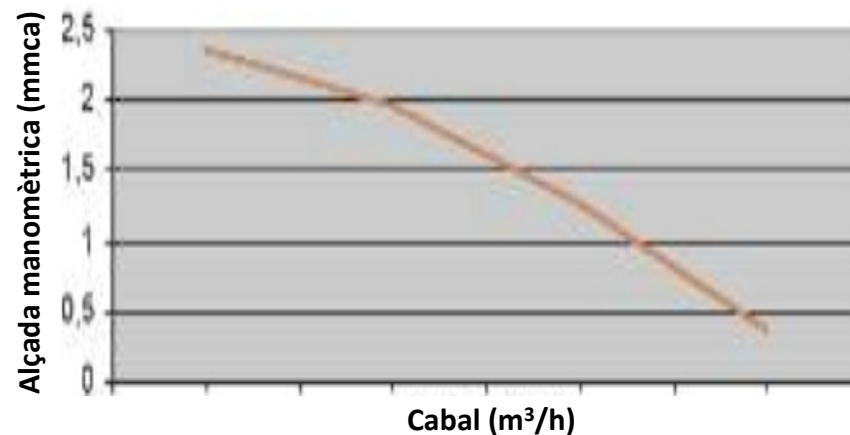


Bomba de circulació

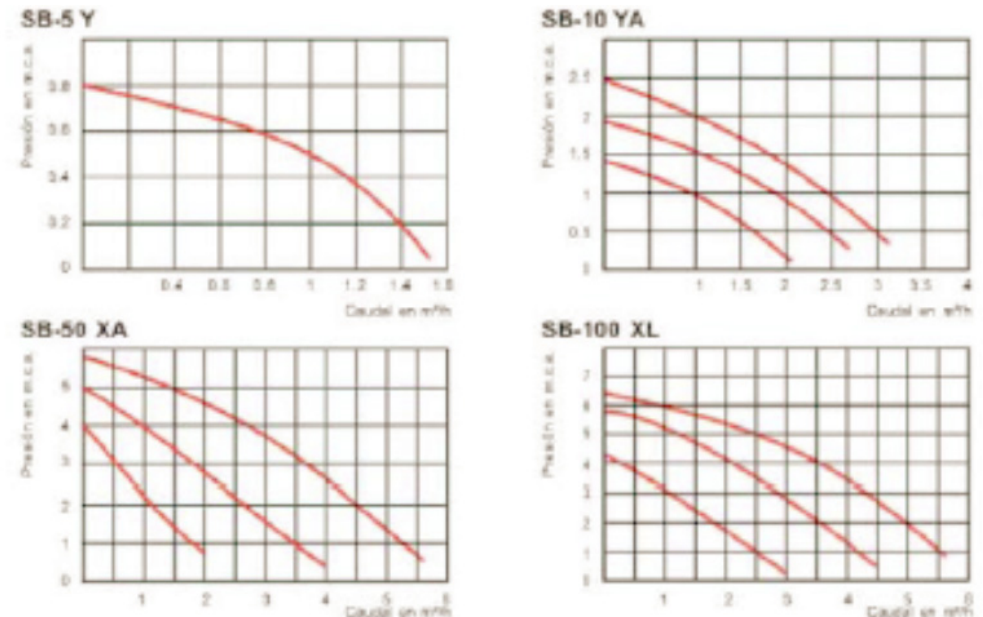
Es tria aquella bomba que complisca que la intersecció de cabal de circulació i alçada manomètrica del punt de funcionament coincidisca amb la seua corba característica. Aquestes corbes característiques són subministrades per cada fabricant.

L'alçada manomètrica representa la pèrdua de càrrega que és capaç de vèncer i, per tant, ha de ser igual com a mínim a la suma de les pèrdues de càrrega en canonades i les dels diferents elements que componen el circuit hidràulic.

Corba característica d'una bomba de circulació



Corbes característiques



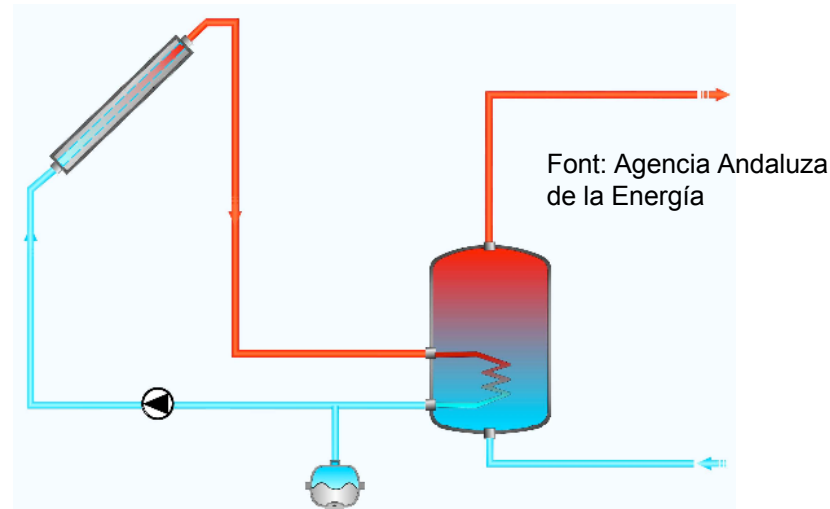
Bomba de circulació

- En instal·lacions d'ACS en **habitatges plurifamiliars** es recomana seleccionar bombes amb regulació de velocitat que permeten variar el cabal impulsat per la bomba. Aquest tipus de bombes permet, juntament amb un sistema adequat de regulació i control, optimitzar el funcionament de la instal·lació solar, ja que en variar el punt de funcionament es modifica la potència elèctrica consumida per la bomba.
- D'acord amb el CTE, la potència elèctrica de la bomba no hauria d'excedir dels valors que es mostren en la següent taula:

Sistema	Potència elèctrica de la bomba
Sistema menut	50 W o 2% de la major potència calorífica que pugui subministrar el grup de captadors.
Sistema gran	1% de la major potència calorífica que pugui subministrar el grup de captadors.

Vas d'expansió

- S'encarrega d'absorbir les variacions de volum i pressió que experimenta el fluid en un circuit tancat a causa dels canvis de temperatura.
- Poden ser oberts o tancats en funció que el fluid del circuit estiga en contacte directe amb l'atmosfera o no, encara que els oberts no són recomanats en instal·lacions solars.

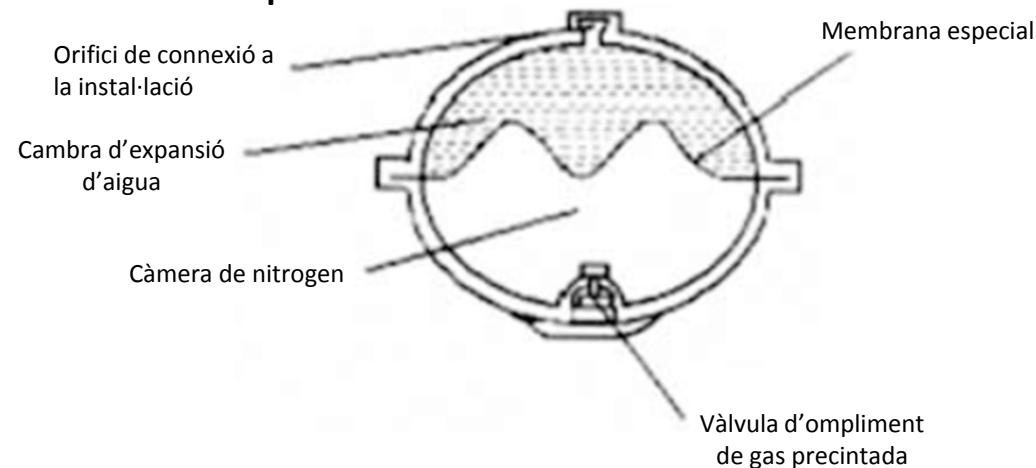


- El vas d'expansió tancat es divideix en un volum amb nitrogen que actua d'amortidor i una part on fluctua el líquid de la instal·lació estant els dos volums separats per una membrana elàstica impermeable.

Vas d'expansió tancat

- En augmentar la T del fluid augmenta la pressió en el circuit i el líquid s'expandeix en el vas desplaçant la membrana elàstica i disminuint el volum ocupat pel gas. Per contra, quan disminueix la T disminueix la pressió en el circuit i el volum ocupat pel gas augmenta desplaçant el líquid del vas.

Secció d'un vas d'expansió tancat:



- Es pot posar en qualsevol punt accessible de la instal·lació, encara que es recomana posar-lo abans del punt d'aspiració de la bomba, per a evitar les depressions produïdes en arrancar la bomba, i en el punt més elevat possible del circuit.

Dimensionament del vas d'expansió

S'aplica la norma UNE 100-155, modificada per a tenir en compte la vaporització del fluid de treball a elevades temperatures, d'acord amb la següent expressió (Hausner & Fink, 2002) de V_t :

$$V_u = V_{\min} + V_{\text{Dilatación}} + V_{\text{vap}}$$

$$V_t = (V_{\min} + V_{\text{Dilatación}} + V_{\text{vap}}) \cdot \frac{V_t}{V_u} = (V_{\min} + V \cdot C_e + V_{\text{vap}}) \cdot C_p$$

V_t : Volum total del vas d'expansió (l)

V_u : Volum útil del vas d'expansió (l)

V : Volum del fluid de treball de la instal·lació (l)

V_{\min} : Volum mínim o de reserva de fluid en el vas d'expansió (l) per a compensar la seua pèrdua o contracció a baixa temperatura.

V_{vap} : Volum de vaporització (l)

C_e : Coeficient d'expansió o dilatació del fluid

C_p : Coeficient de pressió = V_t / V_u

Dimensionament del vas d'expansió

- El volum mínim o de reserva V_{\min} , seguint les indicacions de la guia ASIT, es prendrà d'un 3% del volum total V de la instal·lació amb un mínim de 3 litres.
- Com que en cas de sobreescalfament tot el fluid en captadors pot vaporitzar-se, el CTE estableix com a volum de vaporització V_{vap} el volum de fluid entre la cota màxima i la menor cota d'ubicació dels captadors (incloent-hi el contingut en les canonades de connexió entre captadors), més un 10%.

Dimensionament del vas d'expansió

El coeficient d'expansió C_e és menor que la unitat i representa la relació entre la variació de volum experimentada pel fluid en augmentar la seua temperatura i el volum inicialment ocupat pel mateix fluid ($\Delta V/V$). Depèn del tipus de fluid i de la temperatura màxima de funcionament de la instal·lació.

La següent expressió ens proporciona el valor de C_e a causa de l'expansió que pateix l'aigua des dels 4°C (on l'aigua presenta un volum mínim) fins a una temperatura màxima de funcionament t . És vàlida per a $30^\circ\text{C} < t < 120^\circ\text{C}$.

$$C_e = (3,24 \cdot t^2 + 102,13 \cdot t - 2708,3) \cdot 10^{-6}$$

Per a solucions de glicol en aigua s'ha de multiplicar el resultat anterior pel factor corrector f_c .

És vàlida per a $20\% < G < 50\%$ i $65^\circ\text{C} < t < 115^\circ\text{C}$ sent G el percentatge de glicol en aigua.

$$f_c = a \cdot (1,8 \cdot t + 32)^b$$

sent

$$a = -0,0134 \cdot (G^2 - 143,8 \cdot G + 1918,2)$$

$$b = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot (G^2 - 94,57 \cdot G + 500)$$

Dimensionament del vas d'expansió

- El coeficient de pressió (C_p) relaciona el volum total i el volum útil del vas d'expansió de la forma $C_p = V_t / V_u$. Ens dóna la proporció del volum del vas d'expansió que pot ser ocupat pel fluid de treball.
- Per a vasos d'expansió tancats fem servir l'expressió:

$$C_p = \frac{V_t}{V_u} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

- P_{\max} , P_{\min} : Pressió màxima i mínima respectivament en el vas d'expansió en termes de “pressions absolutes”, les quals s'obtenen a partir de les “manomètriques” sumant la pressió atmosfèrica $1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar} = 1,033 \text{ kg/cm}^2 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mm Hg} = 1033 \text{ cm c.a.} = 14,7 \text{ PSI}$
($P_{\text{abs}} = P_{\text{man}} + 1 \text{ atm}$).

Dimensionament del vas d'expansió

P_{\min} és la necessària perquè no entre aire en el circuit, aproximadament 0,5 bars (pressió d'ompliment) per damunt de la pressió atmosfèrica.

Si el vas d'expansió es col·loca per sota dels col·lectors solars, s'ha de considerar a més la pressió de la columna de fluid sobre el vas d'expansió:

$$P_{\text{man}_{\min}} = 0,5 \text{ bar} + h(\text{m}) \cdot 0,1 \frac{\text{bar}}{\text{m}}$$
$$P_{\min} = P_{\text{man}_{\min}} + 1 \text{ atm}$$

$h(\text{m})$: Diferència de cotes entre el punt més alt de la instal·lació i el lloc on es localitza el vas d'expansió.

Dimensionament del vas d'expansió

P_{\max} ha de ser menor a la pressió de taratge de la vàlvula de seguretat (P_{vs}) en aproximadament 0,3 bars, és a dir:

$$P_{\text{man_max}} = P_{vs} - 0,3 \text{ bar}$$

$$P_{\max} = P_{\text{man_max}} + 1 \text{ atm}$$

La pressió de taratge de la vàlvula de seguretat (P_{vs}) és la màxima a la qual la instal·lació pot funcionar.

Si hi haguera diferència d'altura entre les posicions de la vàlvula de seguretat i el vas d'expansió caldria considerar la pressió de la columna d'aigua corresponent.

Dimensionament del vas d'expansió

El vas d'expansió és un element de baix cost, per la qual cosa es recomana triar un volum que estiga per damunt de les necessitats del circuit.

El sobredimensionament permet donar més seguretat contra sobreescalfaments i afavoreix que la membrana interna tinga una major vida útil, ja que en treballar amb menor flexió es redueix el risc de trencament.

Sistema de purga d'aire

La seua funció és extraure l'aire contingut en el circuit i està constituït per ampolles d'extracció d'aire i un purgador manual o automàtic.

Es col·loca en els punts alts de l'eixida de captadors i en tots aquells punts de la instal·lació on puga quedar aire acumulat.

Els purgadors automàtics no diferencien entre aire i vapor d'aigua; per això s'ha d'evitar el seu ús en aquells punts del circuit on es puga generar vapor (com a l'eixida dels captadors solars).

Purgadores de aire FLEXVENT y FLEXVENT H



Purgadores automáticos.
Estos purgadores automáticos garantizan la expulsión del aire acumulado en determinados puntos de la instalación (punto alto, cambio de nivel de la tubería, sifón, etc.), mediante un mecanismo compuesto de flotador y válvula actuando automáticamente al descender el nivel del agua cuando ésta arrastra aire, expulsándolo a través de la apertura de la válvula.

Características principales

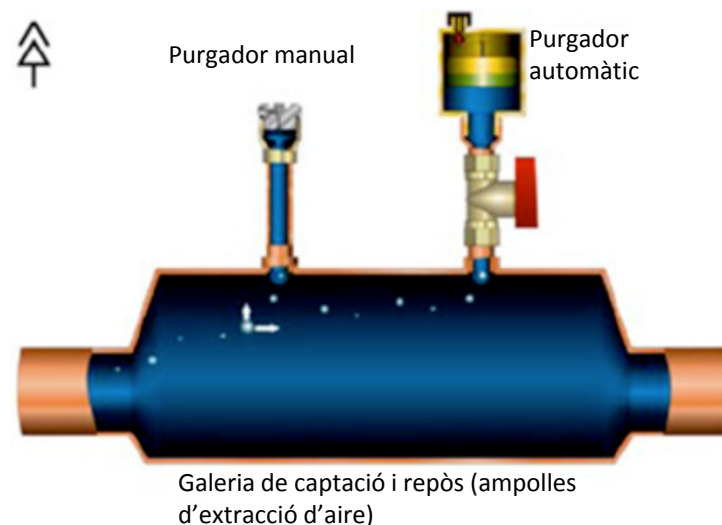
- Accionamiento de purga por flotador.
- Fabricado en latón.
- Presión máxima de trabajo: 10 bar.
- Temperatura máxima de trabajo: 110°C.
- Se suministra en caja individual.

FLEXVENT

- Instalación vertical.
- Incorpora válvula de cierre.
- Puede ser desmontado para mantenimiento del purgador sin vaciar la instalación.
- Rosca 3/8".
- Conexión vertical.

FLEXVENT H

- Acabado niquelado.
- Instalación vertical.
- Rosca 1/2".
- Conexión horizontal.



Galería de captación i repòs (ampolles d'extracció d'aire)

Sistemes d'ompliment i de buidatge

Qualsevol circuit tancat de la instal·lació ha d'incorporar un sistema d'ompliment manual o automàtic que permeti omplir el circuit i mantenir-lo pressuritzat.

Es recomana:

- Adoptar de manera general un sistema d'ompliment automàtic amb dipòsit de recàrrega, on estiga emmagatzemat el fluid amb la proporció requerida d'anticongelant en aigua, de manera que no disminuisca la proporció d'anticongelant quan es recarregue després de les fuites.
- Realitzar l'ompliment del circuit per la part inferior d'aquest per a facilitar l'eixida a l'exterior del possible aire acumulat.
- Instal·lar en els punts més baixos canonades de drenatge a través de les quals es pugui dur a terme el buidatge del circuit d'una instal·lació solar mitjançant una vàlvula de tall.

Vàlvules

L'elecció de les vàlvules, d'acord amb el CTE, s'ha de fer d'acord amb la funció que exercisquen i les condicions extremes de funcionament (pressió i temperatura), seguint preferentment els següents criteris:

- a) Aïllament: vàlvules d'esfera.
- b) Equilibrat de circuits: vàlvules de seient.
- c) Buidatge: vàlvules d'esfera o de mascle.
- d) Ompliment: vàlvules d'esfera.
- e) Purga d'aire: vàlvules d'esfera o de mascle.
- f) Seguretat: vàlvula de ressort.
- g) Retenció: vàlvules de doble comporta, o de claveta.

Les **vàlvules de seguretat** han de poder derivar la potència màxima dels captadors, fins i tot en forma de vapor, de manera que en cap cas se sobrepassi la màxima pressió de treball.

Vàlvules



Vàlvula antiretorn



Vàlvula de tall tipus esfera (o de bola)



Vàlvula de seguretat (de ressort)



Vàlvula d'equilibrat de seient



Vàlvules de mascle cilíndric

ACCESORIOS

VÁLVULA MULTIUSOS
Facilita el llenado, vaciado y purga del circuito hidráulico. Se debe instalar en el punto más bajo del sistema para asegurar y facilitar su buen funcionamiento.
QUICKFILL 3/4" M x 3/4" M.
QUICKFILL 1" M x 1" M.



Símbols



Purgador



Vàlvula de tall



Vàlvula de seguretat



Vàlvula de buidatge



Bomba



Vàlvula antiretorn



Vàlvula de tres vies



Vas d'expansió



Bescanviador de plaques



Cabalímetre



Sonda de temperatura

IAS

Interacumulador solar

AF

Aigua freda



Sonda de pressió

CS

Captador solar

CI

Caldera individual

SLV

Sistema d'ompliment i buidatge

Elements d'una instal·lació solar tèrmica de BT

- ❑ Sistema de captació de la calor.
- ❑ Sistema d'acumulació.
- ❑ Sistema d'intercanvi de calor.
- ❑ Circuit hidràulic.
- ❑ **Sistema d'energia convencional auxiliar:** sistema d'energia convencional (gas, electricitat, etc) que entra en funcionament quan la temperatura d'eixida de l'acumulador és inferior als requeriments de la demanda.
- ❑ Sistema de regulació i control.
- ❑ Sistema de mesura.
- ❑ Sistemes de control de la temperatura dels col·lectors solars.



Font: Guia AVEN

Selecció de la caldera de suport

El cabal d'aigua calenta que pot proporcionar una caldera o escalfador instantani en litres/minut:

$$\text{Cabal} = [1/(C_f \cdot \rho)] \cdot [P / (T_{ACS} - T_{AF})] = (14,3 \text{ l} \cdot \text{°C}/\text{kW} \cdot \text{min}) \cdot [P / (T_{ACS} - T_{AF})]$$

Cabal: Cabal màxim d'aigua calenta subministrat per l'equip (litres/minut).

P: Potència màxima d'escalfament de l'equip per a la producció d'aigua calenta sanitària (kW)

C_f: Calor específica de l'aigua $1,16 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \text{ kW} \cdot \text{min}/\text{kg} \cdot \text{°C}$

ρ: Densitat de l'aigua 1kg/litre

T_{AF}: Temperatura de l'aigua freda de xarxa, en °C.

T_{ACS}: Temperatura de preparació d'aigua calenta sanitària, en °C.

El cabal d'ACS a 40°C que es pot obtenir amb una caldera de 20 kW, suposant una temperatura de l'aigua de xarxa de 15°C seria:

$$\text{Cabal} = (14,3 \cdot P) / (T_{ACS} - T_{AF}) = (14,3 \cdot 20) / (40 - 15) = 11,4 \text{ l/min}$$

Selecció de la caldera de suport

El cabal d'11,4 l/min d'ACS a 40°C podria ser suficient per a atendre una dutxa a ple servei (a uns 9 l/min) o una dutxa i un lavabo funcionant simultàniament, si els cabals requerits per tots dos serveis són moderats (p. ex. 4 l/min per al lavabo i 7,5 l/min per a la dutxa).

**Cabal dels diferents
aparells de consum
d'aigua calenta
sanitària en un
habitatge**

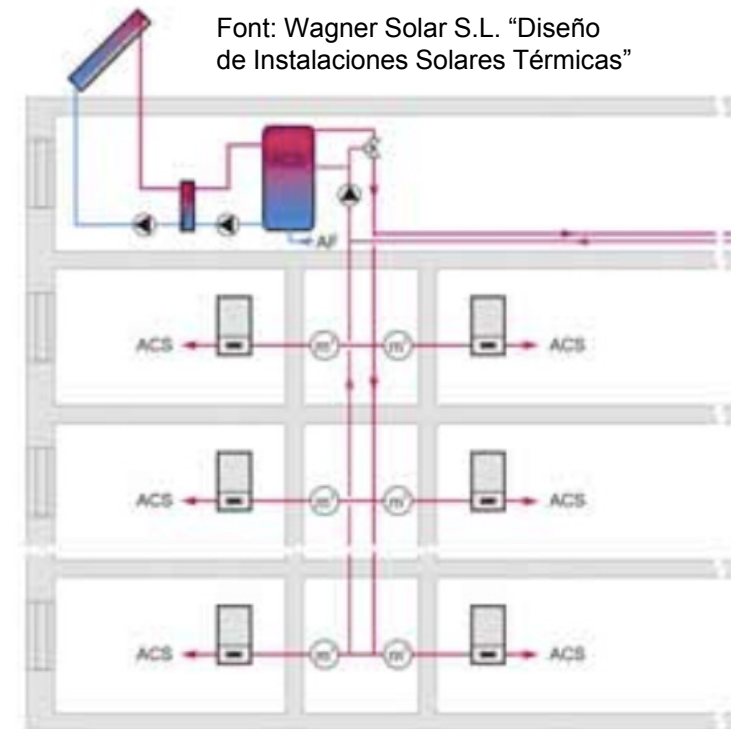
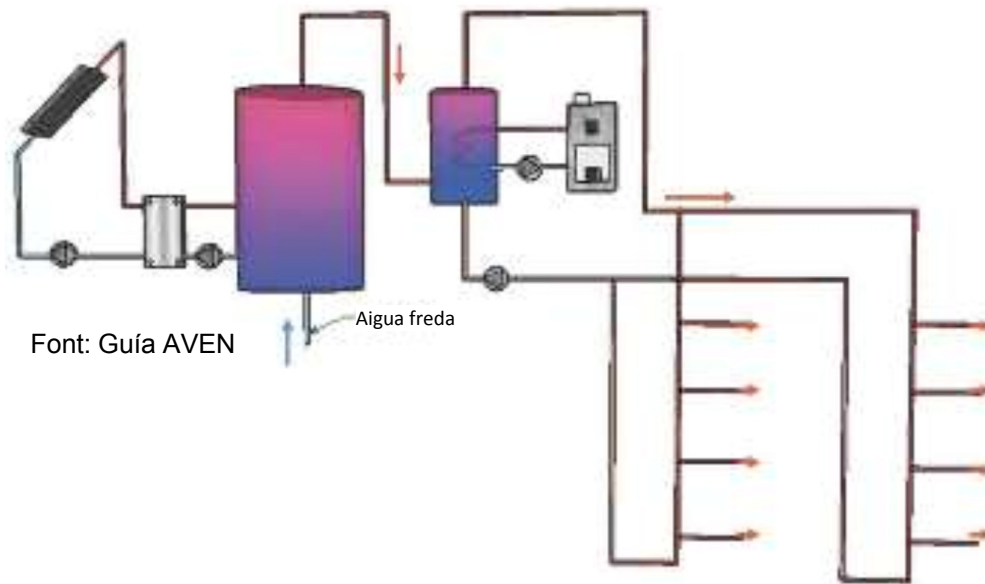
Punt de consum	Cabal a 40°C (litres/minut)
lavabo	3 a 5
dutxa	6 a 9
banyera	10 a 15
bidet	3 a 6
fregador	6 a 8

Si són previsibles grans consums puntuals d'aigua calenta en l'habitatge, pot optar-se per la instal·lació de calderes amb acumulació, que, a més, permeten garantir la seua compatibilitat amb els sistemes solars.

Classificació dels sistemes auxiliars de suport (I)

En funció de l'aportació de calor al total de la instal·lació:

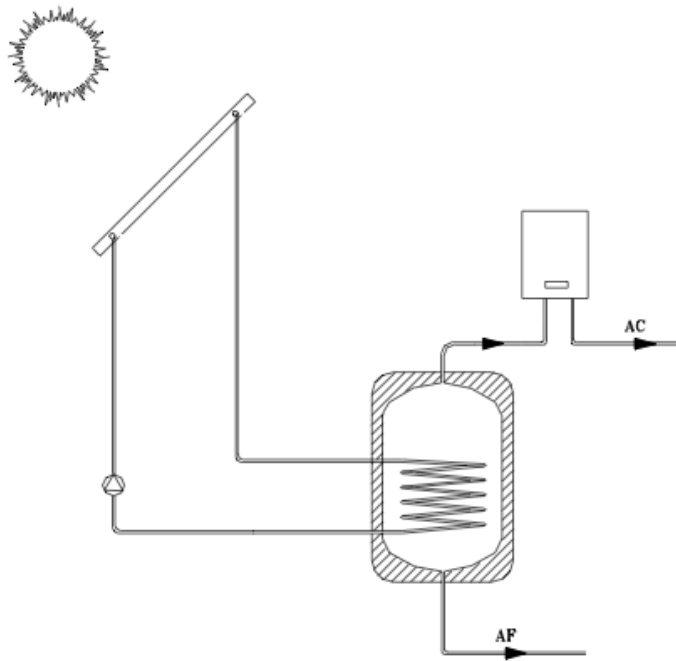
- 1) Suport col·lectiu: es proveeix des d'un únic punt.
- 2) Suport individual: cada consum (o grup de consums) disposa del seu propi subsistema de suport.



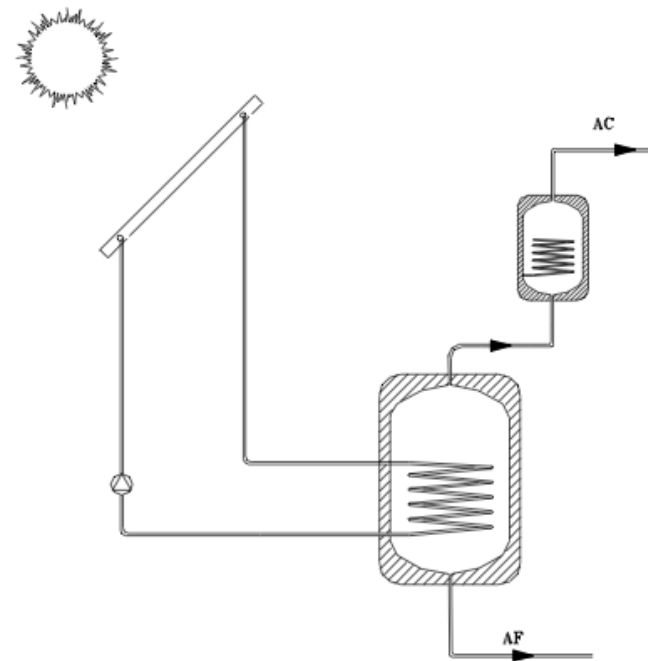
Classificació dels sistemes auxiliars de suport (II)

En funció de si existeix o no acumulació de l'energia de suport:

- 1) Suport en línia o instantani (escalfadors instantanis o calderes).
- 2) Suport amb acumulació auxiliar (termos elèctric i caldera amb acumulació).



INSTANTANI



EN ACUMULADOR AUXILIAR

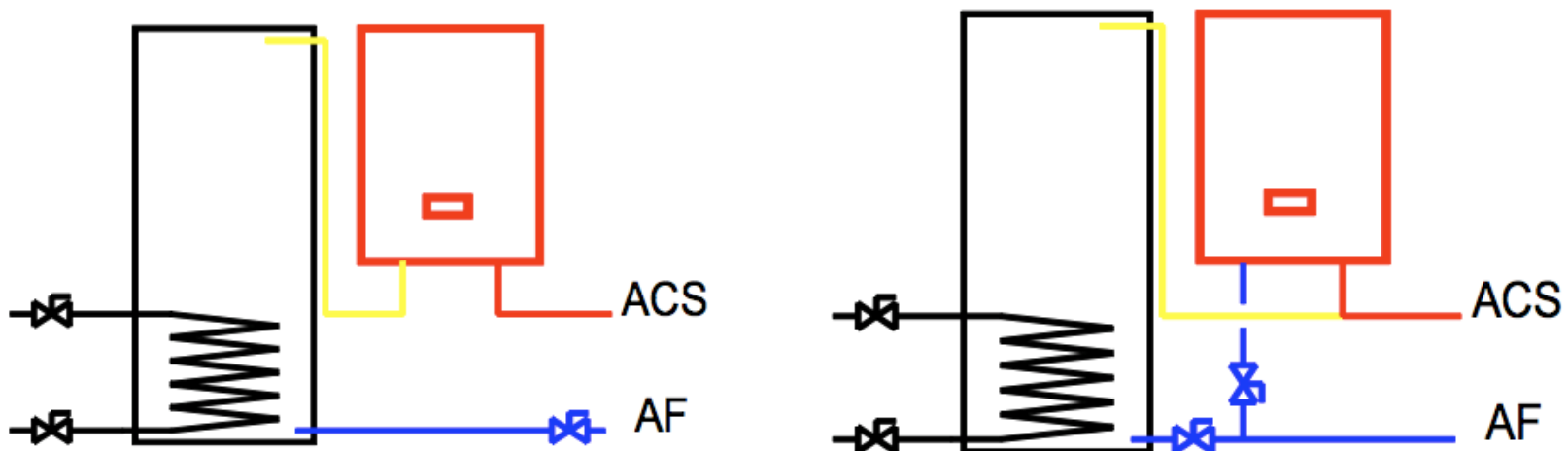
Sistema de suport instantani i amb acumulador auxiliar

- Els **sistemes instantanis** solen utilitzar-se en cas de petites instal·lacions, perquè les potències necessàries per a escalfament instantani són molt elevades quan la instal·lació comença a tenir una certa grandària.
- El CTE estableix que l'escalfador instantani ha de ser capaç de regular la seua potència (flama modulant) per a, amb independència de la temperatura d'entrada, obtenir a la seua eixida una temperatura constant.
- El sistema de suport amb acumulador auxiliar té l'avantatge que hi ha un millor ajust en la temperatura d'utilització i una disponibilitat immediata en la capacitat acumulada.

Classificació dels sistemes auxiliars de suport (III)

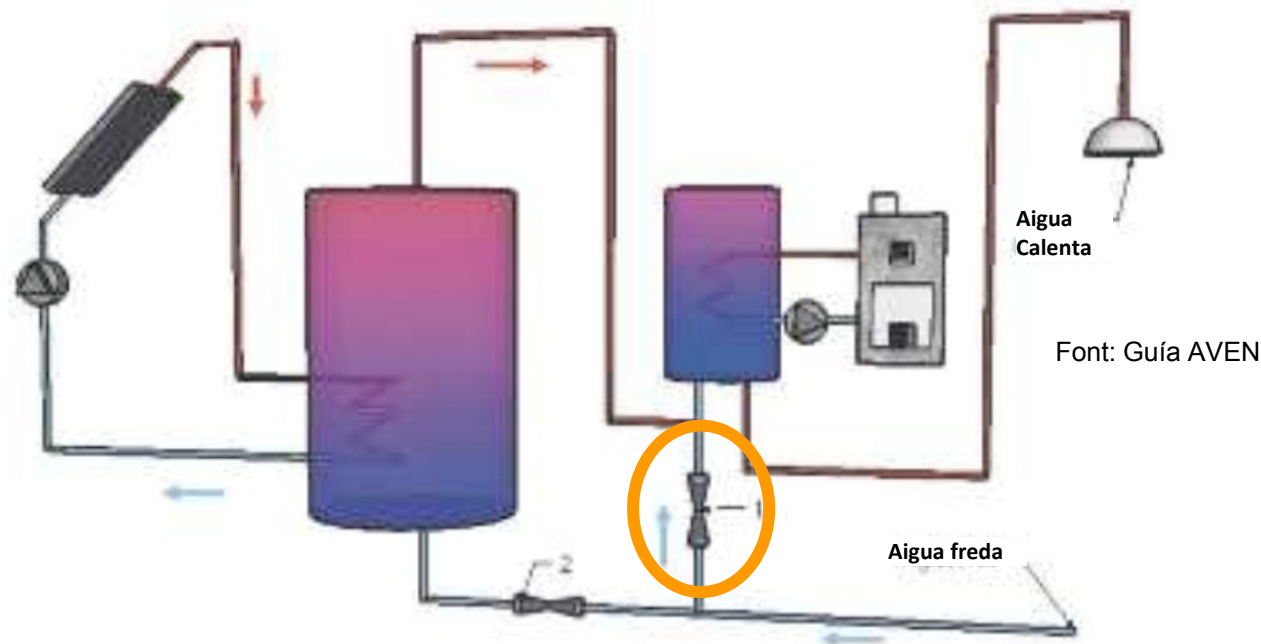
En funció de la seua disposició en el conjunt de la instal·lació:

- 1) **En sèrie amb l'acumulador solar.** L'aigua de consum és calfada inicialment per la instal·lació solar i, en segon lloc, és el sistema de suport el que s'encarrega, quan siga necessari, de realitzar l'escalfament final fins a la temperatura desitjada.
- 2) **En paral·lel amb l'acumulador solar.** El proveïment d'aigua calenta al consum es duu a terme, opcionalment, des del sistema de suport o des de la instal·lació solar.



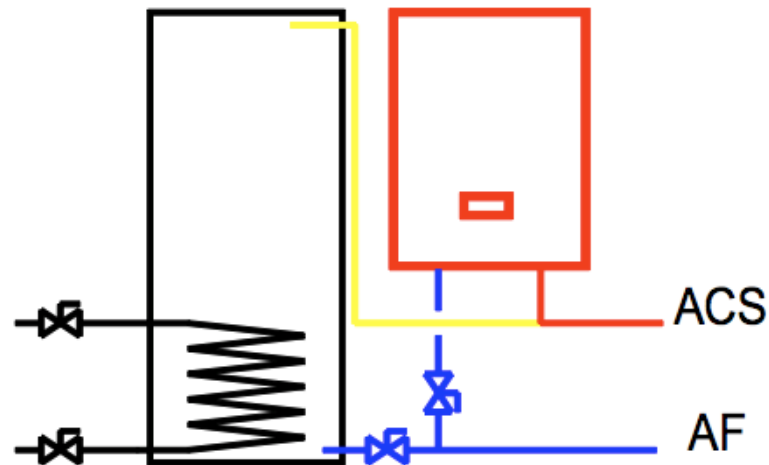
Sistema de suport en sèrie amb l'acumulador

- Es recomana la seua utilització, ja que optimitza les prestacions de la instal·lació.
- Ha de disposar sempre d'un "by-pass" de connexió que permeta no interrompre el subministrament d'aigua calenta quan es fan les operacions de manteniment de les instal·lacions.



Sistema de suport en paral·lel amb l'acumulador

- Requereix un mecanisme de regulació, manual o automàtica, de manera que si, durant el funcionament de la instal·lació solar, la temperatura en l'acumulador solar no arriba a un mínim de consigna, es commuta al sistema de suport.
- S'utilitza únicament en instal·lacions domèstiques molt petites ja existents, en les quals la disposició en sèrie amb el dipòsit solar obligaria a llargs traçats de connexió.



Classificació dels sistemes auxiliars de suport (IV)

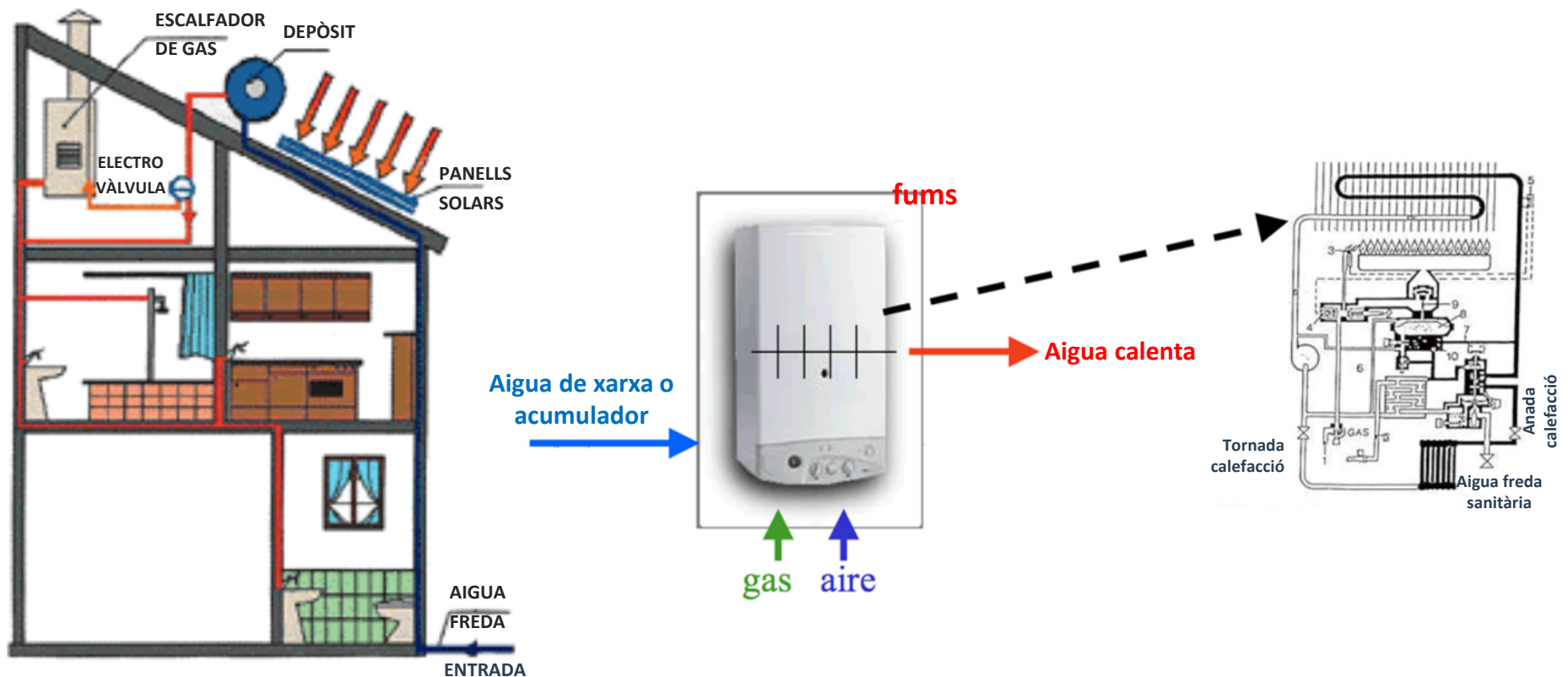
En funció del tipus d'energia que utilitzen per a produir calor tenim els sistemes basats en:

- Electricitat per efecte Joule. És el més desfavorable des del punt de vista d'eficiència energètica.
- Gasoil, gas natural, GLP (gasos líquids a pressió). Aquest tipus de suports, segons el disseny de la instal·lació, poden provenir de les instal·lacions preexistents (adequadament modificades) o bé realitzar-se de manera simultània a la instal·lació solar.

Els sistemes de suport basats en el gas natural són els més avantatjosos des dels punts de vista econòmic i ambiental.

Sistema de suport instantani basat en gas

Sistema de suport instantani basat en l'ocupació d'un escalfador d'aigua per gas (propà, butà, gas natural) que produeix ACS de manera immediata. L'aigua de xarxa o de l'acumulador passa pel serpentí situat damunt del cremador i es calfa en el temps que tarda a passar-hi.



Sistema de suport elèctric instantani

Consisteix en una canonada d'aigua amb una resistència elèctrica de gran potència (entre 3,5 i 36 kW). Requereixen el seu propi circuit elèctric i un cabal mínim per al seu funcionament. El seu ús no és aconsellable.



Instalación sobre o bajo lavabo.
Pequeño, cómodo y sencillo de utilizar.

Un aparato que consume poco, muy sencillo de utilizar y que se adapta perfectamente a cualquier instalación. Así es el nuevo calentador **instantáneo** de Fagor, ya que su reversibilidad lo hace apto para instalarlo tanto bajo como sobre lavabo.



Kit grifo opcional
Cod. 982010061
EAN-13: 8413880118314

3,5 litros/min.

FI-6

EAN-13: 8413880122274

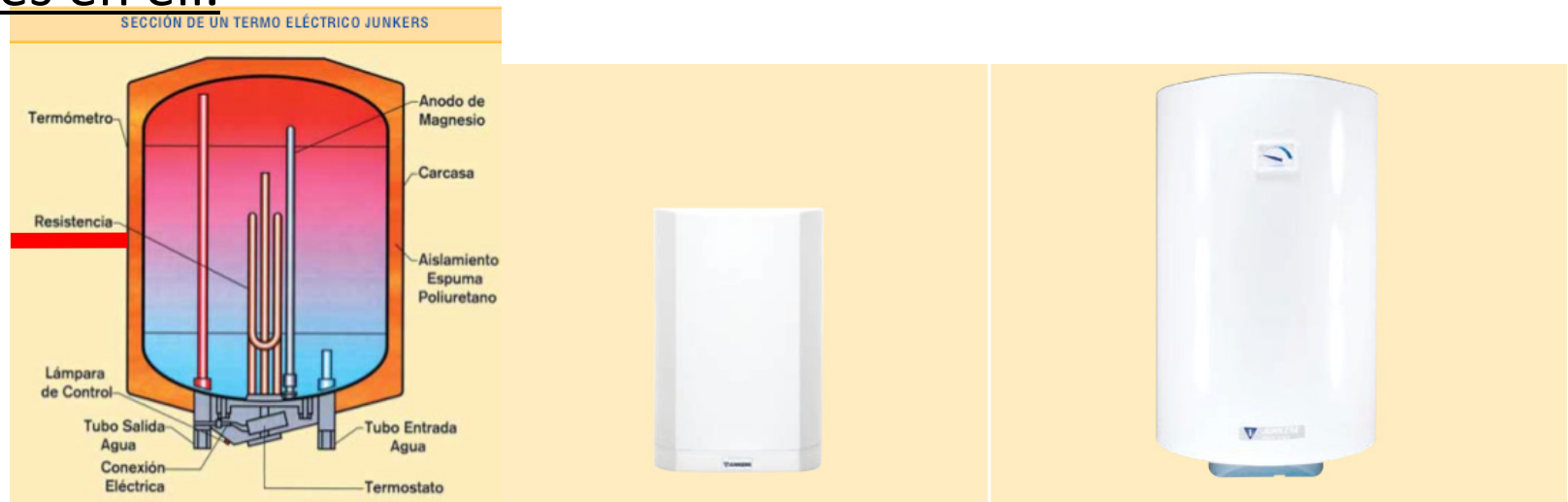
- _ Forma exterior cuadrada
- _ Reversible: Instalación sobre o bajo lavabo
- _ Potencia 6.000 W
- _ Termostato de seguridad
- _ Modulación hidráulica de la temperatura
- _ Conexión/desconexión automática
- _ Piloto de calentamiento

Font: Fagor

Sistema de suport elèctric amb acumulació

Termos elèctric:

L'aigua calenta s'emmagatzema prèviament al seu ús en un dipòsit, i per això la continuïtat del cabal està limitada per la capacitat d'aquest dipòsit. L'aigua augmenta la seua temperatura dins del dipòsit per la presència de resistències elèctriques (termòstat) immerses en ell.



Font: Junkers

Modelo	HS 15-1 E	HS 150-1 E	HS 200-1 E
Capacidad útil (l.)	15	150	200
Medidas	414 mm. alto x 320 mm. ancho x 317 mm. fondo		
Potencia eléctrica (W)	1.200	2.200	2.600
Tiempo de calentamiento ΔT 50°C 10 → 60°C	50 min.	3 h. 55 min.	4 h. 30 min.
Termostato regulable desde el exterior	SI	NO	NO
Temperatura de acumulación °C	35 -70	70	70
Presión máxima (bar)	6,0	6,0	6,0

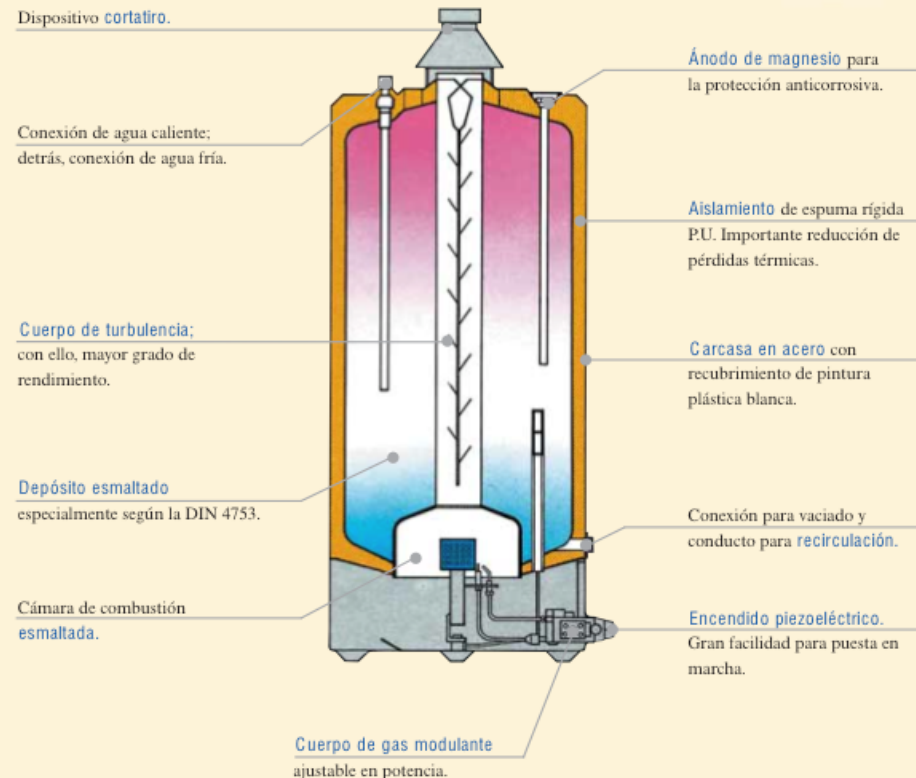
Sistema de suport de gas amb acumulació

Acumulador de gas d'escalfament directe:

Acumulador d'aigua
travessat per un
conducció pel qual
circulen els fums d'un
cremador (atmosfèric o
forçat) de gas.

El acumulador a gas es, por definición, un aparato para la producción de agua caliente por acumulación que utiliza como combustibles gas natural, butano o propano.

Los acumuladores a gas Junkers en sus cuatro modelos S 120, S 160, S 190, S 290 son la solución ideal para grandes demandas de agua en chalets, casas unifamiliares, casas rurales, pensiones, hoteles, centros deportivos, gimnasios, talleres, pequeñas industrias y en cualquier lugar donde precisen grandes caudales de agua caliente y simultaneidad en el consumo.



Font: Junkers

Sistema de suport de gas amb acumulació

Acumulador de gas d'escalfament directe:

Acumulador d'aigua travessat per un conducte pel qual circulen els fums d'un cremador (atmosfèric o forçat) de gas.

Fácil instalación

Sólo necesita tomas de gas y agua, no es necesario ni un enchufe ni pilas. El encendido de la llama piloto se efectúa a través del piezoeléctrico.

Sencillez de manejo

Cada uno de los mandos de control del acumulador tiene asignada una única función, facilitando así el manejo del mismo.

Funcionamiento sencillo

Basta con encender la llama piloto a través del piezoeléctrico para tener el depósito en disposición de servicio. Con el selector de temperatura puede regularse la acumulación del agua entre 35 ° y 75 °C.

Gracias a una sonda termostática se controla la temperatura del agua en reserva, la cual se suministra según necesidades, de una forma rápida y a una presión constante, aunque se consuma agua simultáneamente de varios puntos.



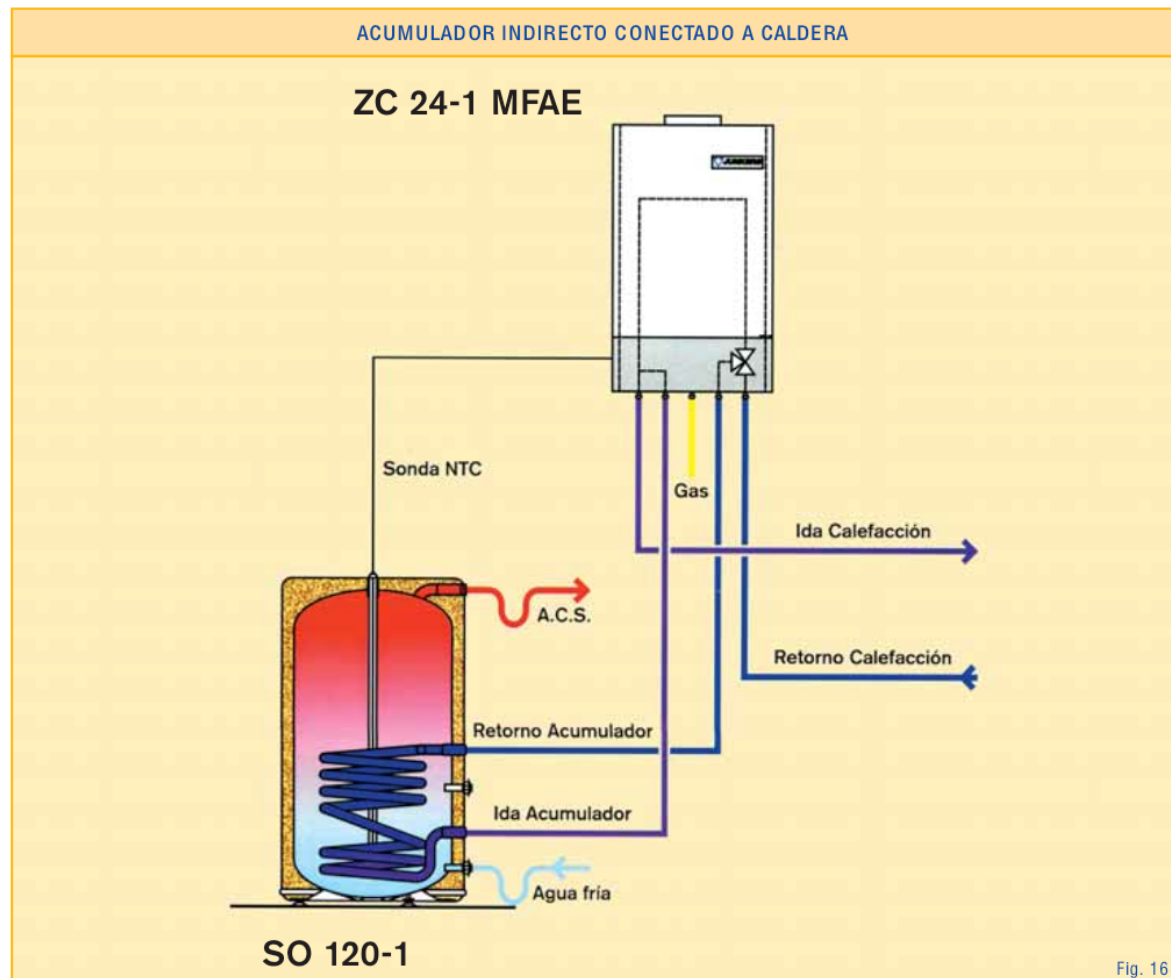
	Acumulador de agua a gas	Acumulador de agua a gas	Acumulador de agua a gas	Acumulador de agua a gas
Modelo	S 120 KP L.	S 160 KP L.	S 190 KP L.	S 290 KP K.
Alto (mm.)	1.227	1.477	1.727	1.681
Diámetro	500	500	500	635
Capacidad del depósito	115	155	190	280
Tiempo de recuperación hasta 60°C (min.)	69	81	89	69
Potencia del quemador (kW)	5,9	6,8	7,3	14,9
Cantidad de agua disponible con depósito a 70°C				
a 60°C de salida	150	202	260	360
a 38°C de salida	267	360	464	570

Font: Junkers

Sistema de suport de gas amb acumulació

Acumulador de gas d'escalfament indirecte:

Acumulador d'aigua en el qual aquesta es prepara mitjançant l'intercanvi de calor amb el fluid calent procedent d'una caldera de gas.



Sistema de suport de gas amb acumulació

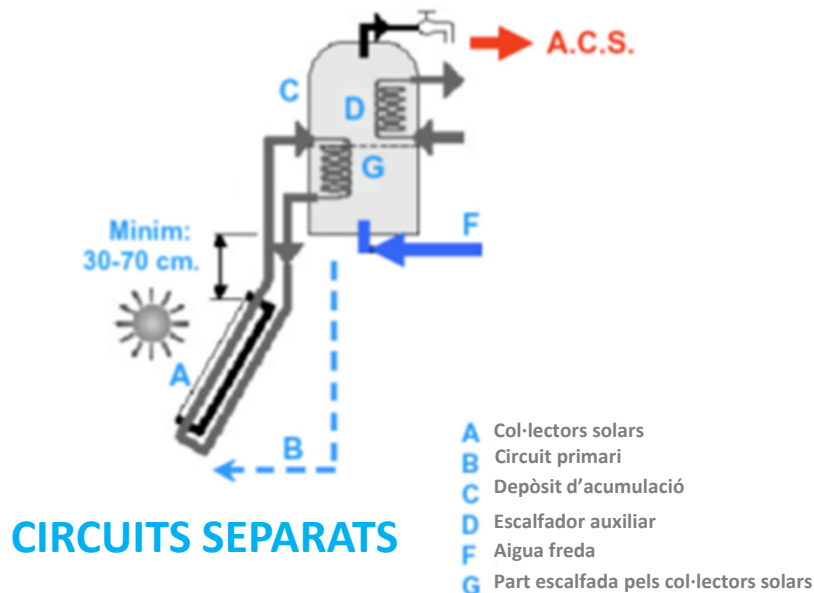
Acumulador de gas d'escalfament indirecte:



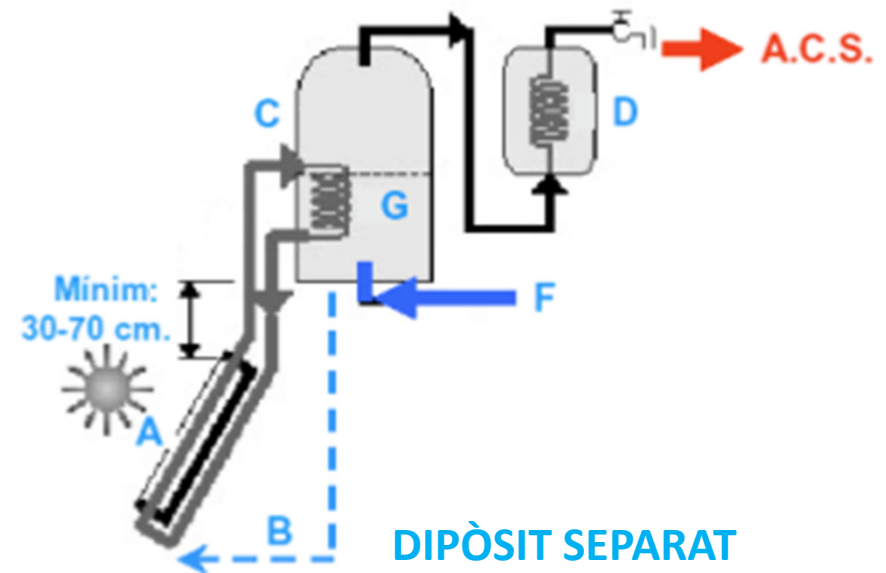
	Acumuladores intercambiadores	Acumuladores intercambiadores	Acumuladores intercambiadores
Modelo	SO 120-1	SO 160-1	SO 200-1
Alto (mm.)	965	1.215	1.465
Diámetro (mm.)	ø 510	ø 510	ø 510
Tipo de montaje	Sobre suelo	Sobre suelo	Sobre suelo
Capacidad del depósito (l.)	114	153	192
Tiempo de recuperación a potencia max. (min.)	38	51	64
Potencia del intercambiador (kW)	24	24	24
Nº de espiras	6	6	6
Pérdida energía diaria (kWh/día)	1,35	1,61	1,81
Presión máxima (bar)	10	10	10
Peso vacío (kg.)	43	49	54

Sistemes de suport en instal·lacions per termosifó

- Dos circuits separats, amb bescanviador en dipòsit d'aigua. El CTE no permet un circuit d'aigua únic.
- Sistema auxiliar en acumulador principal (no permès per CTE).



- Dos circuits separats, amb bescanviador en dipòsit d'aigua. El CTE no permet un circuit d'aigua únic.
- Sistema auxiliar en acumulador secundari o en línia.



El CTE estableix que les instal·lacions compactes per termosifó han de limitar-se al cas de **menys de 10 m² de superfície de captadors**.

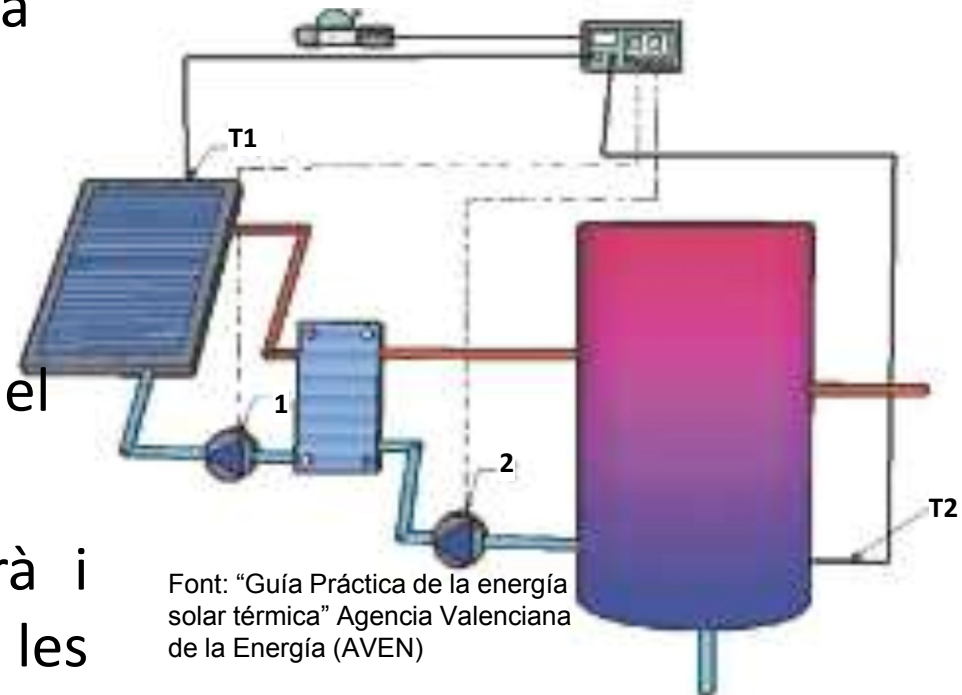
Elements d'una instal·lació solar tèrmica de BT

- ❑ Sistema de captació de la calor.
- ❑ Sistema d'acumulació.
- ❑ Sistema d'intercanvi de calor.
- ❑ Circuit hidràulic.
- ❑ Sistema d'energia convencional auxiliar.
- ❑ **Sistema de regulació i control.** Constituit pels dispositius encarregats del control dels diferents elements que constitueixen la instal·lació; els de més importància són els lligats al funcionament de les bombes de circulació. Asseguren el correcte funcionament del sistema, optimitzen l'eficiència energètica i incorporen les proteccions necessàries.
- ❑ Sistema de mesura.
- ❑ Sistemes de control de la temperatura dels col·lectors solars.



Sistema de regulació i control

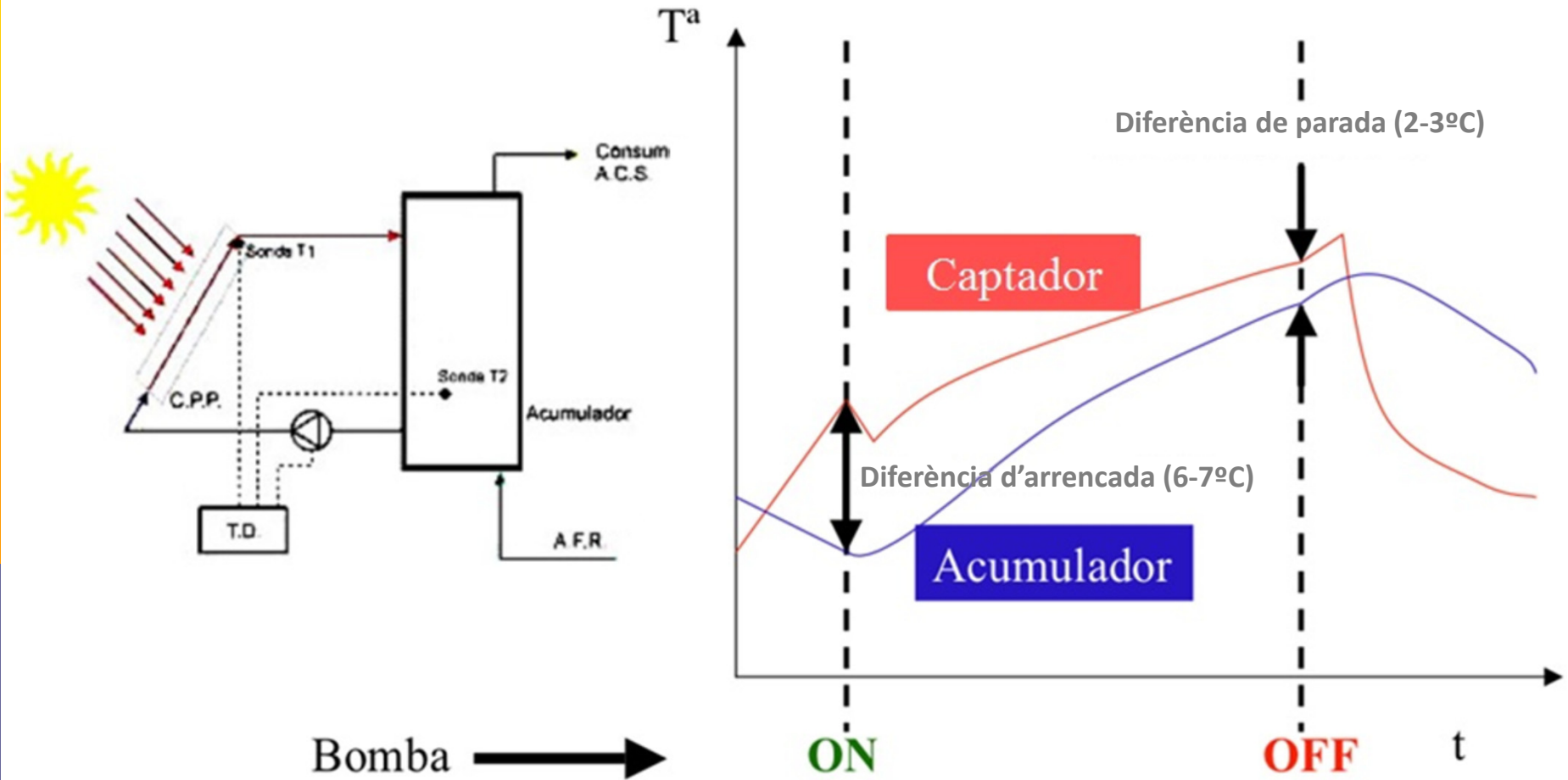
- Segons el CTE, la regulació de la bomba per mitjà de la T de funcionament serà de tipus diferencial entre la T del fluid caloportador en l'eixida de la bateria de col·lectors (T1) i la del dipòsit d'acumulació (T2).
- El sistema de control actuarà i estarà ajustat de manera que les bombes del circuit primari (1) i del circuit secundari (2) no estiguen en marxa quan la diferència de temperatures siga menor de 2°C i no estiguen parades quan la diferència siga major de 7°C.



Font: "Guía Práctica de la energía solar térmica" Agencia Valenciana de la Energía (AVEN)

- La diferència de temperatures entre els punts d'arrancada i de parada del termòstat diferencial no serà menor de 2°C.

Sistema de regulació i control



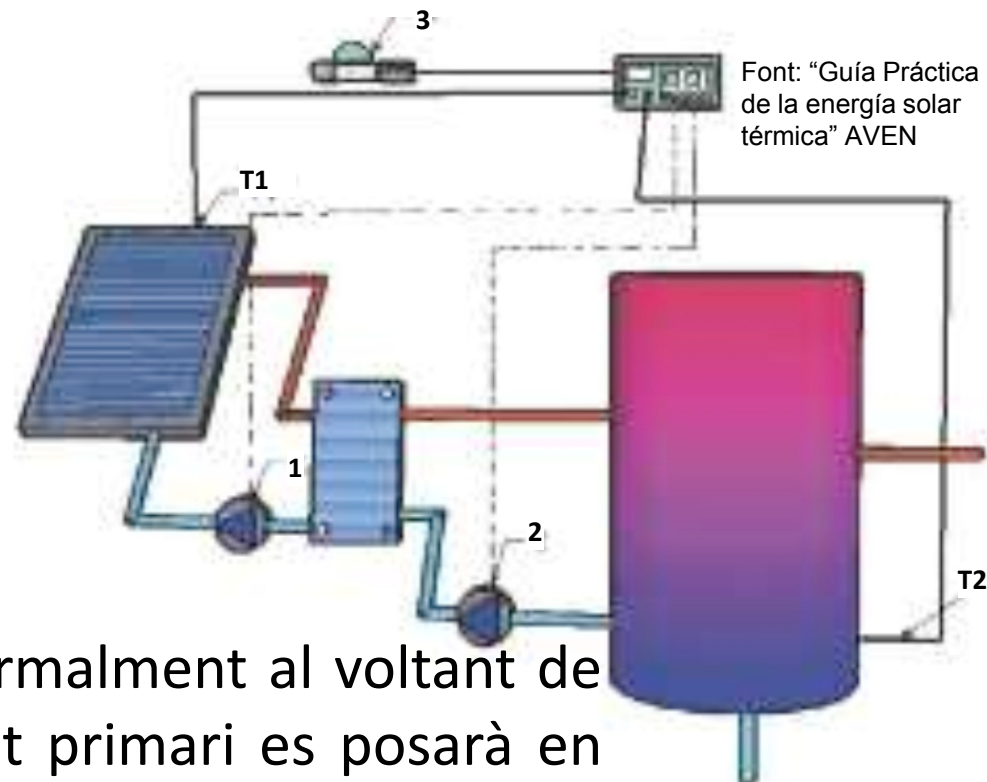
Sistema de regulació i control

També es pot regular el funcionament de la bomba controlant a més la sonda d'insolació (3).

Aquesta sonda se situa al costat dels captadors amb els seus mateixos valors d'inclinació i orientació i regularà el trànsit de líquid pel circuit primari.

Quan hi haja prou insolació (normalment al voltant de 100 W/m^2), la bomba del circuit primari es posarà en funcionament.

Després la instal·lació funcionarà de la manera descrita anteriorment, seguint les directrius del CTE. Amb aquesta sonda d'insolació s'aconsegueix que les dues bombes funcionen per separat.



Sistema de regulació i control: altres equips auxiliars.

- **Equips de protecció contra gelades:** Consisteix en un sensor que activa la bomba quan detecta una temperatura lleugerament superior a la de congelació en el fluid de treball a l'entrada dels captadors. Amb açò s'aconsegueix que no es congele el fluid caloportador i puga danyar la instal·lació.
- **Control de temperatura màxima de l'acumulador:** El sensor de temperatura se situa en la part superior de l'acumulador per a protegir el sistema de temperatures que puguen provocar una fallada o un trencament de l'acumulador.

Sistema de regulació i control

Tots aquests equips estan compostos per sensors de temperatura amb les seues respectives beines i cables de connexió.

Els equips consten d'un circuit de control que, mitjançant la mesura de certs paràmetres, actua regulant el funcionament de la bomba a través d'un circuit de potència. Per a comandar la bomba en instal·lacions domèstiques, s'utilitza normalment un relé de 10 A monofàsic.

Sondas y Vainas

00TE021300	Sonda inmersión PT 100, uso exterior, captador
00TE021301	Sonda inmersión PT 1000, uso interior, acumulador
00TE021302	Sonda de contacto PT 1000, uso exterior, captador solar
00TE021303	Sonda de contacto PT 1000, uso interior, acumulador
00TE021320	Vaina para sonda 60 mm
00TE021321	Vaina para sonda 100 mm
00TE021322	Vaina para sonda 150 mm
00TE021323	Vaina para sonda 200 mm



Centralitas de Regulación

Con termostato auxiliar para sistemas de apoyo o disipación de seguridad.

- Pantalla digital.
- Visualización simultánea de 2 temperaturas.
- Funcionamiento automático, manual y on-off programable desde menú principal.
- Funciones especiales y función termostato adicional.
- Tres entradas de sondas y dos salidas de relé.
- Limitación de temperatura máxima 2 a 85°C.
- Con sondas de inmersión, vainas no incluidas.
- Dispositivo anti-hielo ajustable -10 a 9,9°C.



00TE021020	DELTA SOL B. Para 1 fuente de energía y 1 receptor de calor Incluye 3 sondas de inmersión PT 100
00TE021021	DELTA SOL B-PRO. Para 2 fuentes de energía, captadores, este-oeste y 2 receptores de calor. Incluye 4 sondas de inmersión.
00TE021022	RESOL MIDI-PRO. Para 2 fuentes de energía y 4 receptores de calor Incluye 6 sondas de inmersión PT 100 Salida RS 232 para conexión a PC
00TE021030	CS-10. Celula solar para medida de la insolación (sin cable)



Elements d'una instal·lació solar tèrmica de BT

- Sistema de captació de la calor.
- Sistema d'acumulació.
- Sistema d'intercanvi de calor.
- Circuit hidràulic.
- Sistema d'energia convencional auxiliar.
- Sistema de regulació i control.
- **Sistema de mesura.** Sistema de mesura de l'energia subministrada.
- Sistemes de control de la temperatura dels col·lectors solars.

Sistema de mesura

- Les instal·lacions solars de més de 14 kW han de disposar d'un sistema de mesura de l'energia subministrada a fi de poder verificar el compliment del programa de gestió energètica i les inspeccions periòdiques d'eficiència energètica.
- El disseny del sistema de comptabilització d'energia i de control ha de permetre a l'usuari de la instal·lació comprovar el correcte funcionament de la instal·lació, de manera que aquest pugui controlar diàriament la producció de la instal·lació.
- En el cas d'habitatges l'energia produïda per la instal·lació ha de poder ser verificada de manera centralitzada per aquell en qui la comunitat delegue o de manera individualitzada per cada usuari particular mitjançant panells de visualització, visors de lectura de comptadors, etc., accessibles.
- En el cas d'instal·lacions solars amb acumulació solar distribuïda serà suficient la comptabilització de l'energia solar de manera centralitzada en el circuit de distribució cap als acumuladors individuals.

Elements d'una instal·lació solar tèrmica de BT

- Sistema de captació de la calor.
- Sistema d'acumulació.
- Sistema d'intercanvi de calor.
- Circuit hidràulic.
- Sistema d'energia convencional auxiliar.
- Sistema de regulació i control.
- Sistema de mesura.
- **Sistemes de control de la temperatura dels col·lectors solars.** Protegeixen els col·lectors enfront de gelades i sobreescalfaments.

Sistemes de control de la temperatura

Es tracta de sistemes que protegeixen els col·lectors enfront de gelades i sobreescalfaments.

- Recirculació del fluid. S'activa la bomba per a temperatures ambientals superiors en uns 3°C a la temperatura de congelació del fluid caloportador i eviten que es gele el fluid a l'interior del col·lector.
- Drenatge automàtic. S'utilitzen dipòsits auxiliars a l'eixida del camp d'acumuladors que estan buits durant el normal funcionament de la instal·lació. Quan la instal·lació deixa de funcionar, es buida el fluid dels col·lectors en els dipòsits auxiliars evitant així refredaments del líquid en el col·lector solar. Aquest mètode també evita sobreescalfaments en els col·lectors.

Sistemes de control de la temperatura dels col·lectors solars

- Dissipador mecànic de la calor, per a evitar sobreescalfaments. Dispositiu acoblat a la part superior dels col·lectors solars que permet dissipar l'excés de calor generada. Aquest excés de calor es produeix quan es tenen les màximes temperatures de treball (irradiació major o consum d'aigua menor):
 - En llargs períodes d'inactivitat dels col·lectors solars. Per exemple en períodes estivals que els habitants de la casa no hi estan.
 - En períodes de reduïda demanda d'aigua calenta.
 - En cas d'avaría de la bomba o de qualsevol altre element que no deixi circular el fluid pel circuit primari.



EXEMPLES D'INSTAL·LACIÓ



Font: Salvador Escoda

3.2. Tipus d'instal·lacions solars de baixa temperatura.



Classificació de les instal·lacions

Les instal·lacions es poden classificar segons:

1. El principi de circulació:

- a) Instal·lacions per termosifó o circulació natural.
- b) Instal·lacions per circulació forçada.

2. El sistema de transferència de calor

- a) Instal·lacions de transferència directa sense bescanviador de calor.
- b) Instal·lacions amb bescanviador de calor independent.
- c) Instal·lacions amb bescanviador de calor a l'acumulador solar.
 - i. Submergit
 - ii. De doble paret.

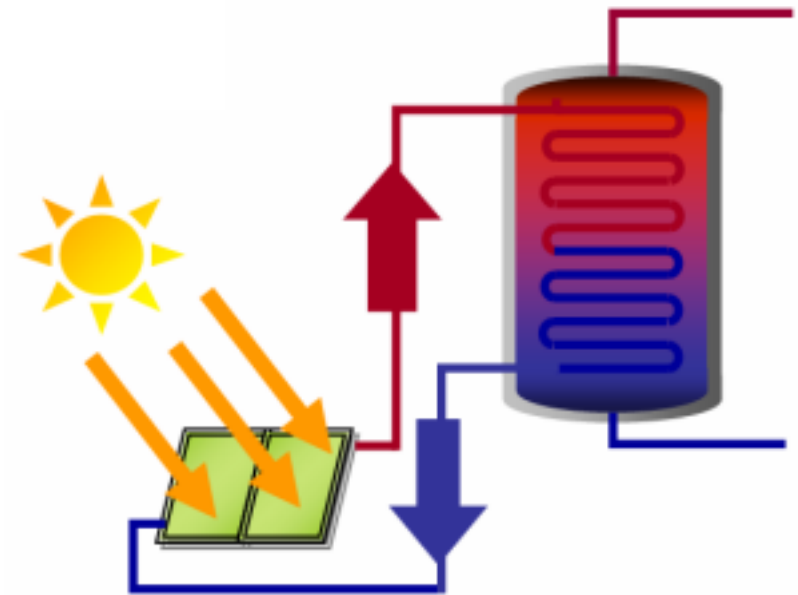
Classificació de les instal·lacions

3. Segons el sistema d'acumulació (i d'intercanvi). Si la instal·lació presenta:

- a) Només sistema d'acumulació en el circuit de consum → un únic bescanviador solar.
- b) Només sistema d'acumulació solar → bescanviador de consum.
- c) Només sistema d'acumulació d'inèrcia → doble sistema d'intercanvi (solar i de consum).
- d) Amb doble sistema d'acumulació (consum i inèrcia) → doble sistema d'intercanvi (solar i de consum).

1.a) Instal·lacions per termosifó o compactes.

- Són instal·lacions en què la diferència de densitats del fluid caloportador (a causa de la seua diferència de temperatures) és la força motora que impulsa, per convecció lliure, el fluid sense necessitat d'una bomba.
- Perquè existisca la circulació per termosifó, el dipòsit ha d'estar situat damunt del captador solar (> 30 cm).
- Són típics en sistemes compactes, en què es ven l'equip complet amb el dipòsit damunt dels captadors.



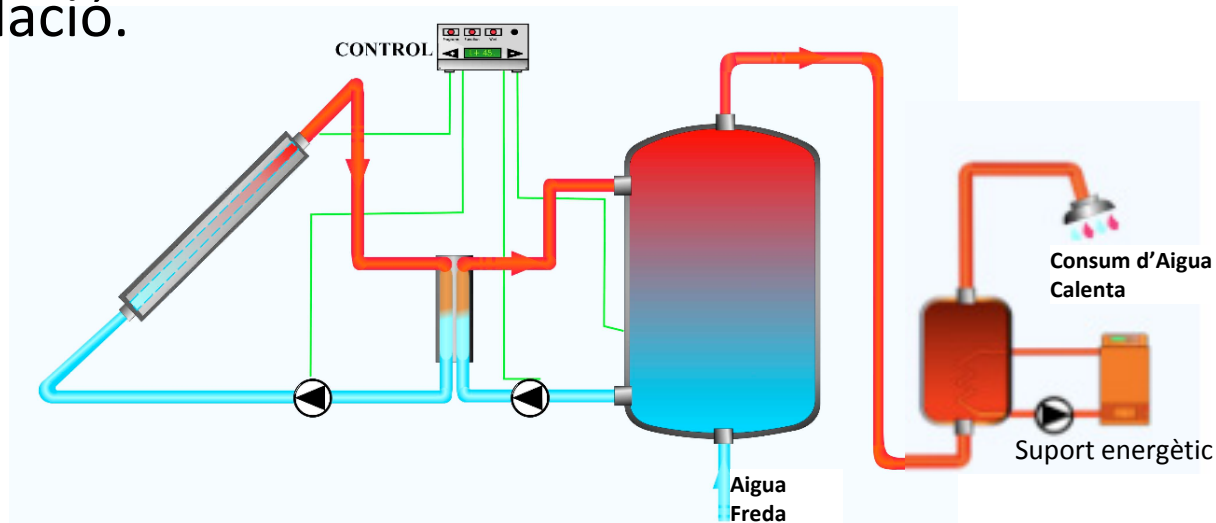
1.a) Instal·lacions per termosifó o compactes.

- Són econòmics, fàcils d'instal·lar i requereixen un manteniment menor a causa del menor nombre d'elements de la instal·lació.
- El rendiment de la instal·lació és inferior a causa del menor control sobre els paràmetres de funcionament (temperatura i cabal).
- El disseny de la instal·lació s'ha de fer acuradament per a minimitzar les pèrdues de càrrega i facilitar el moviment del fluid.
- S'utilitzen habitualment en petites instal·lacions individuals.



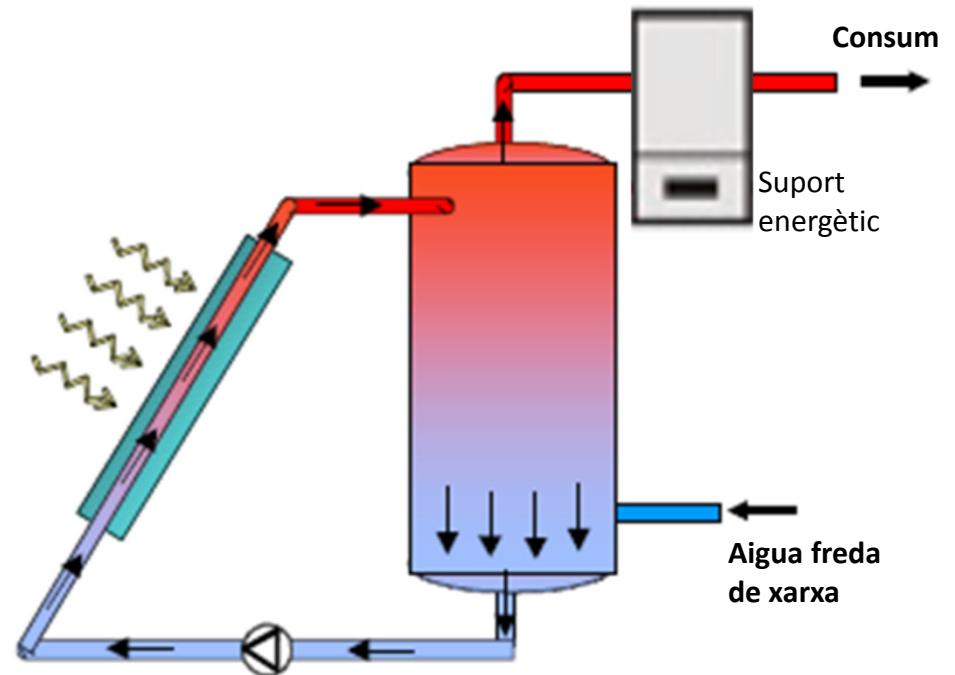
1.b) Instal·lacions de circulació forçada.

- Són instal·lacions en les quals s'utilitza una bomba com a força motora del fluid.
- Aquesta configuració és més complexa que la compacta, ja que té un nombre més elevat d'elements.
- El rendiment de la instal·lació és major que el de la compacta en poder fixar les condicions de temperatura i cabal amb les quals es vol que treballi la instal·lació.
- Requereix un equip de control que governe els elements de la instal·lació.



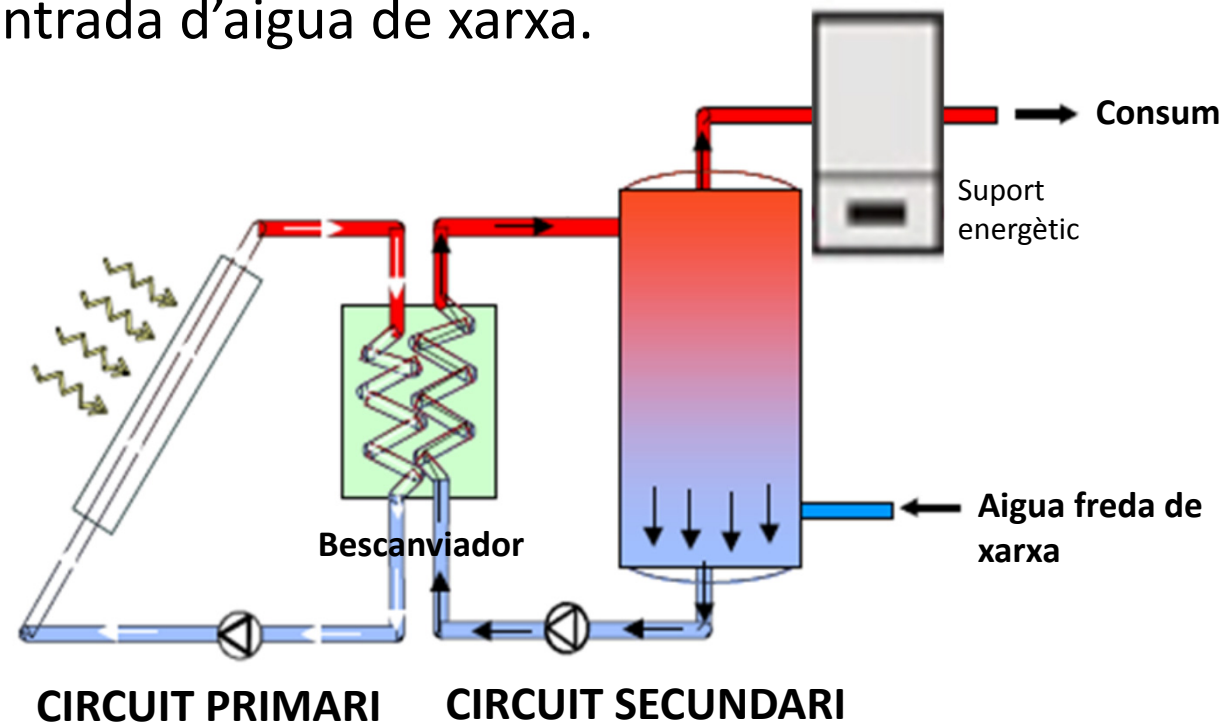
2.a) Instal·lacions de transferència directa sense bescanviador de calor.

- Existeix un únic circuit entre els col·lectors i l'aigua de consum
→ major rendiment, ja que no existeixen elements intermedis addicionals.
- Aquest sistema únicament es pot utilitzar quan:
 - Per raons climàtiques no és necessari afegir a l'aigua dels col·lectors un **anticongelant** que impedisca la seua congelació.
 - No fa falta afegir **additius anticalcaris** → no s'utilitza a la Comunitat Valenciana per problemes d'incrustacions calcàries deguts a l'elevada duresa de l'aigua.



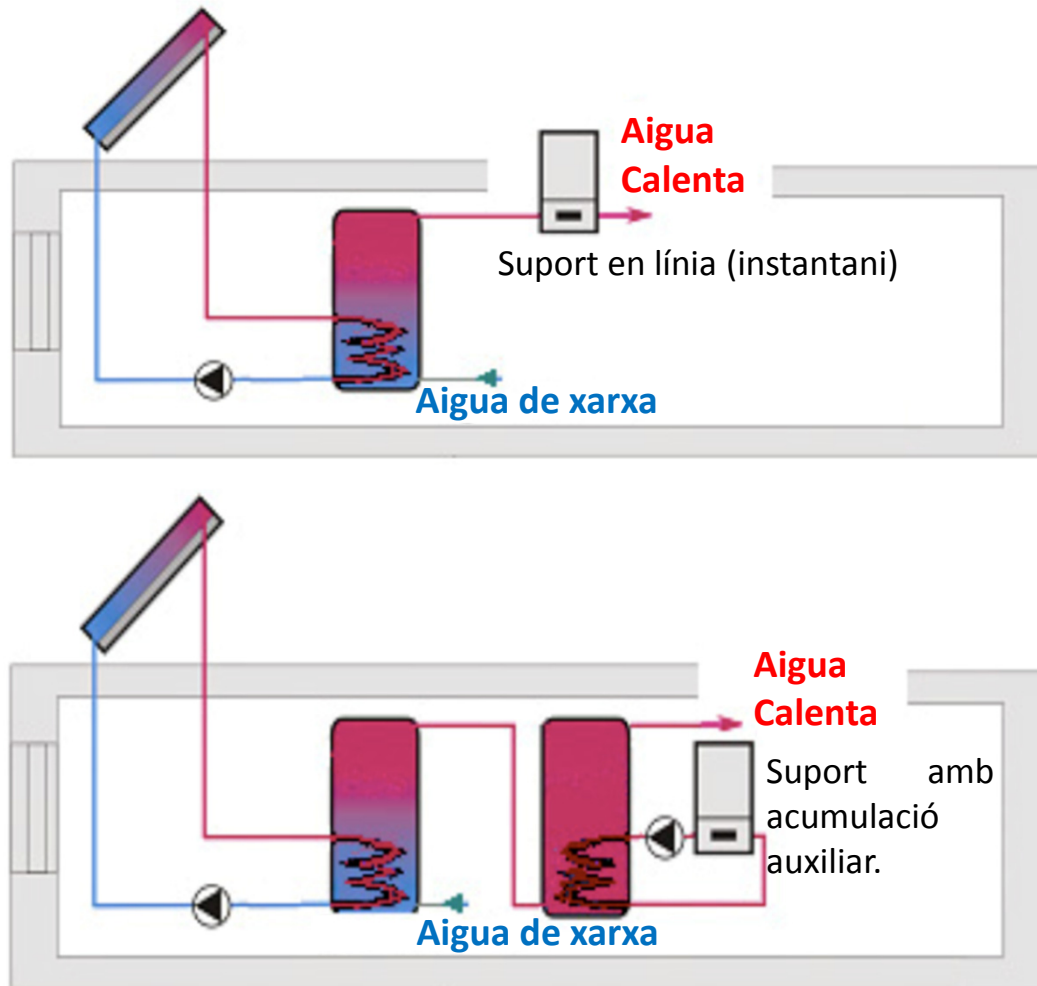
2.b) Instal·lacions amb bescanviador de calor independent.

- Són instal·lacions en les quals existeixen dos circuits diferenciats interconnectats a través d'un sistema d'intercanvi de calor.
- Estan formats per un circuit primari tancat i un circuit secundari seguit pel sistema de suport.
- Amb aquests sistemes s'eviten els problemes d'incrustacions calcàries en el circuit primari, però no en el secundari on es produeix l'entrada d'aigua de xarxa.



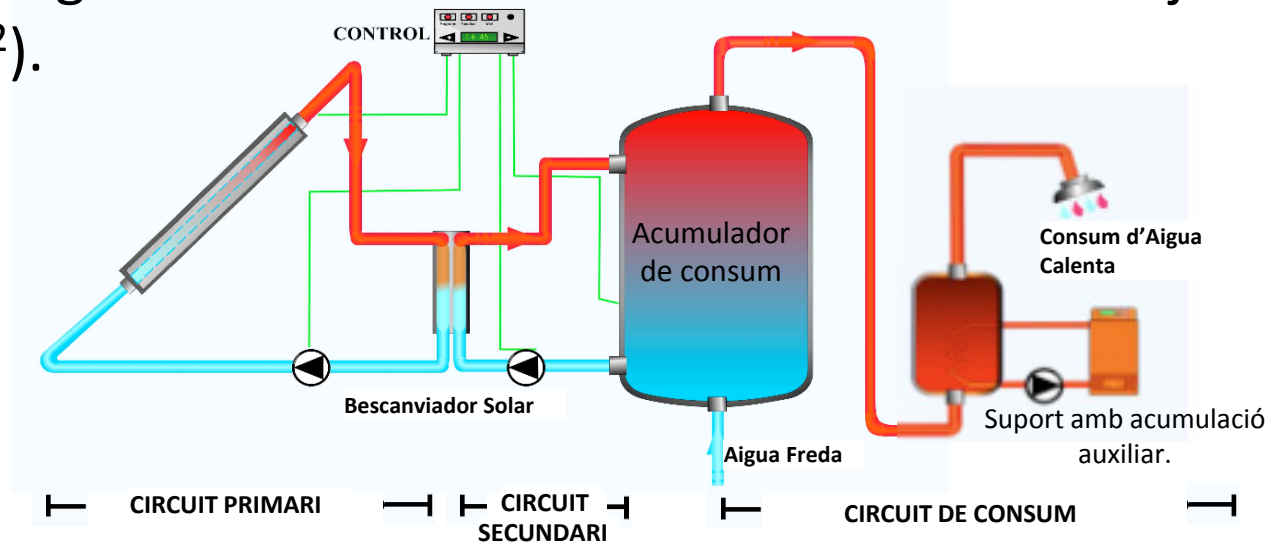
2.c) Instal·lacions amb bescanviador de calor en l'acumulador solar (Interacumulador).

En instal·lacions de petita grandària el bescanviador sol incorporar-se al sistema d'acumulació (interacumulador).



3.a) Instal·lació amb sistema d'acumulació en el circuit de consum i bescanviador solar.

És la configuració més utilitzada en instal·lacions mitjanes i grans (> 20 m²).



Avantatge:

- ✓ Major simplicitat respecte a la resta de configuracions.

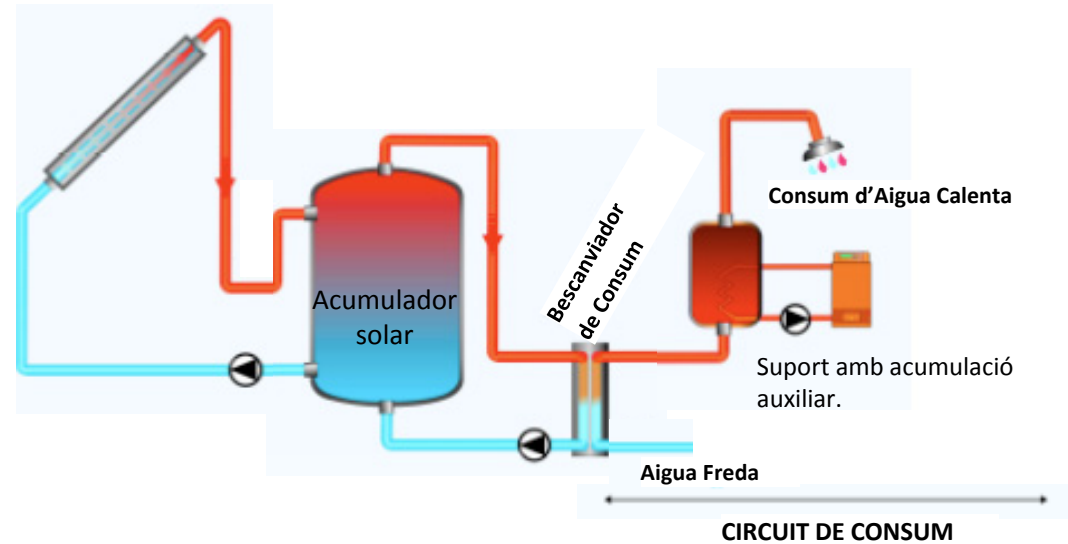
Desavantatge:

- ✓ Major cost d'inversió i manteniment de l'acumulador de consum:
 - ✓ L'acumulador no està en un circuit tancat i hi està contínuament circulant aigua de consum → majors problemes de corrosió.
 - ✓ Com que està en la part de consum → majors requisits d'higiene (legionel·la)

3.b) Instal·lació amb sistema d'acumulació solar i bescanviador de consum.

Avantatge:

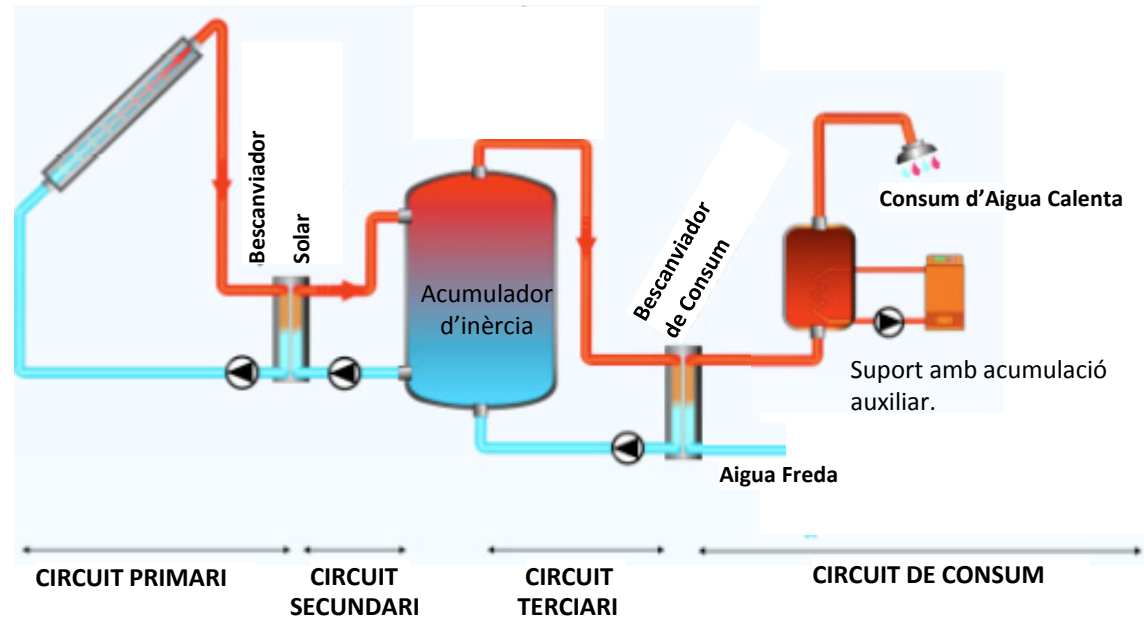
- ✓ Menor cost de l'acumulador solar en trobar-se el sistema d'acumulació en un circuit tancat (menor problema de corrosió).



Desavantatge:

- ✓ Com que no incorpora bescanviador solar, en cas necessari, es requeririen grans quantitats d'anticongelant a causa del gran volum de fluid en el circuit tancat. Per aquesta raó, el seu ús ha de reduir-se als casos en què no existisca risc de gelades i puga utilitzar-se l'aigua com a fluid de treball en els col·lectors solars.

3.c) Instal·lació amb sistema d'acumulació d'inèrcia i doble sistema d'intercanvi.



Avantatges:

✓ El fluid de l'acumulador d'inèrcia no circula pels captadors solars; per això el sistema de captació treballa amb un volum inferior → l'ús d'anticongelant és possible en ser menor el volum de fluid al qual s'ha d'afegir.

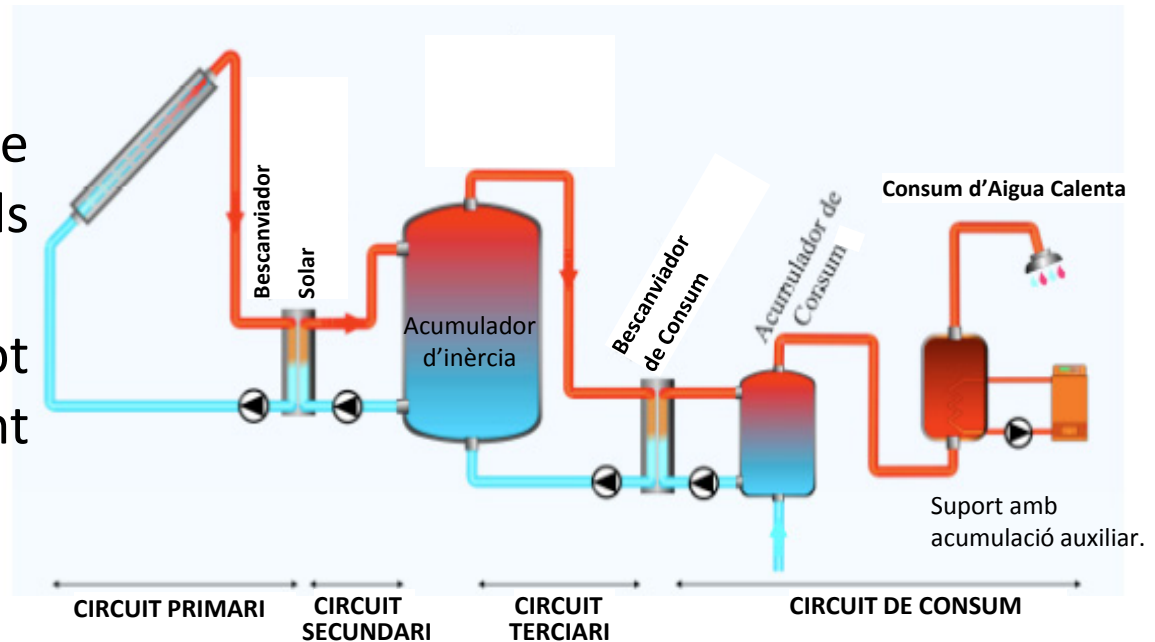
✓ Menor cost de l'acumulador d'inèrcia en trobar-se el sistema d'acumulació en un circuit tancat (menor problema de corrosió).

Desavantatge: Es redueix el rendiment a causa del doble sistema d'intercanvi.

3.d) Instal·lació amb doble sistema d'acumulació i doble sistema d'intercanvi.

Desavantatge:

- ✓ A causa de la doble acumulació i intercanvi els rendiments són inferiors.
- ✓ La seua utilització pot estar justificada únicament per a grans instal·lacions.



Avantatges:

- ✓ Es redueixen els costos de l'acumulació de consum, que ara és més petita en repartir-se el volum total amb el d'inèrcia.
- ✓ Dimensionaments molt semblants del bescanviador solar i del de consum, ja que la incorporació de l'acumulador de consum permet mantenir valors similars en els cabals de circulació dels dos circuits.

Selecció (I)

- No hi ha un criteri únic de selecció, **el criteri general ha de ser la reducció de costos de l'energia tèrmica produïda, a més de la seguretat de proveïment d'aigua calenta i la fiabilitat del sistema** (cosa que generalment es tradueix en simplicitat).
- Com a criteris específics:
 - En relació a la utilització o no d'interacumulador:
 - Quan la potència del bescanviador < 7 kW \rightarrow Prendre bescanviador intern (interacumulador).
 - Per a potències > 35 kW \rightarrow Bescanviador extern.
 - En situacions intermèdies es recomana utilitzar bescanviadors externs quan el sistema d'acumulació estiga constituït per més d'un dipòsit.

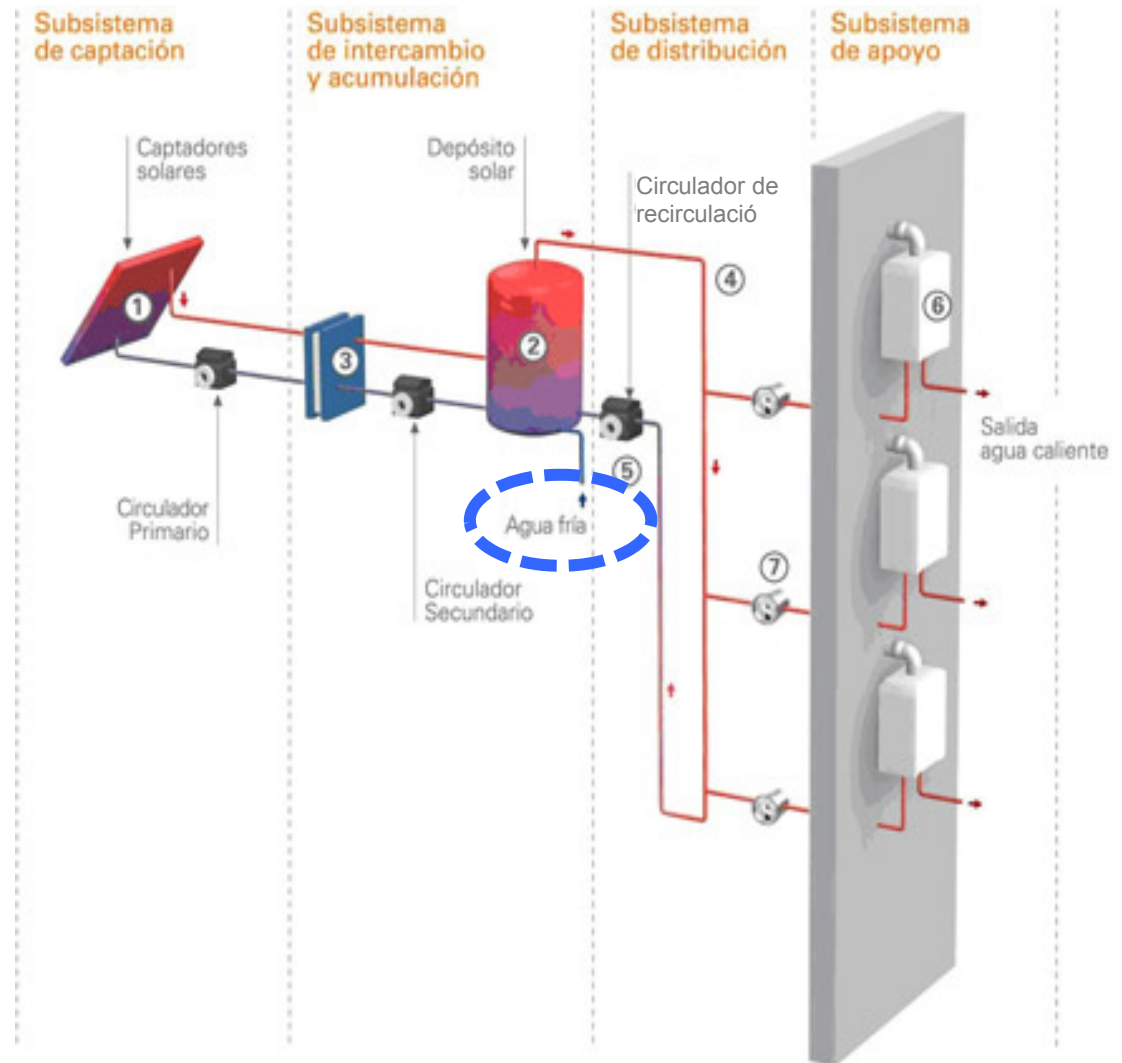
- La utilització de la configuració amb acumuladors d'inèrcia i de consum pot estar justificada, normalment en el cas de grans instal·lacions, per a:
 - reduir els costos de l'acumulació de consum, o
 - ajustar el dimensionament del bescanviador de consum.

Configuracions d'instal·lacions ST en l'edificació

- En edificis amb un nombre reduït d'habitatges (entre 2 i 8) és possible plantejar instal·lacions en les quals cada usuari tinga el seu propi camp de captadors, el seu acumulador i el seu sistema auxiliar de suport.
- No obstant això, quan el nombre d'habitatges creix, el més econòmic i funcional és fer que els usuaris compartisquen alguns elements de la instal·lació (sempre comparteixen el camp de captadors).
- Segons compartisquen o no l'acumulació solar i el sistema de suport, apareixen diferents configuracions:
 - A. Acumulació centralitzada i suport distribuït.
 - B. Acumulació i suport centralitzats.
 - C. Acumulació centralitzada i bescanviadors de calor en habitatges.
 - D. Acumulació distribuïda.
 - E. Acumulació mixta.

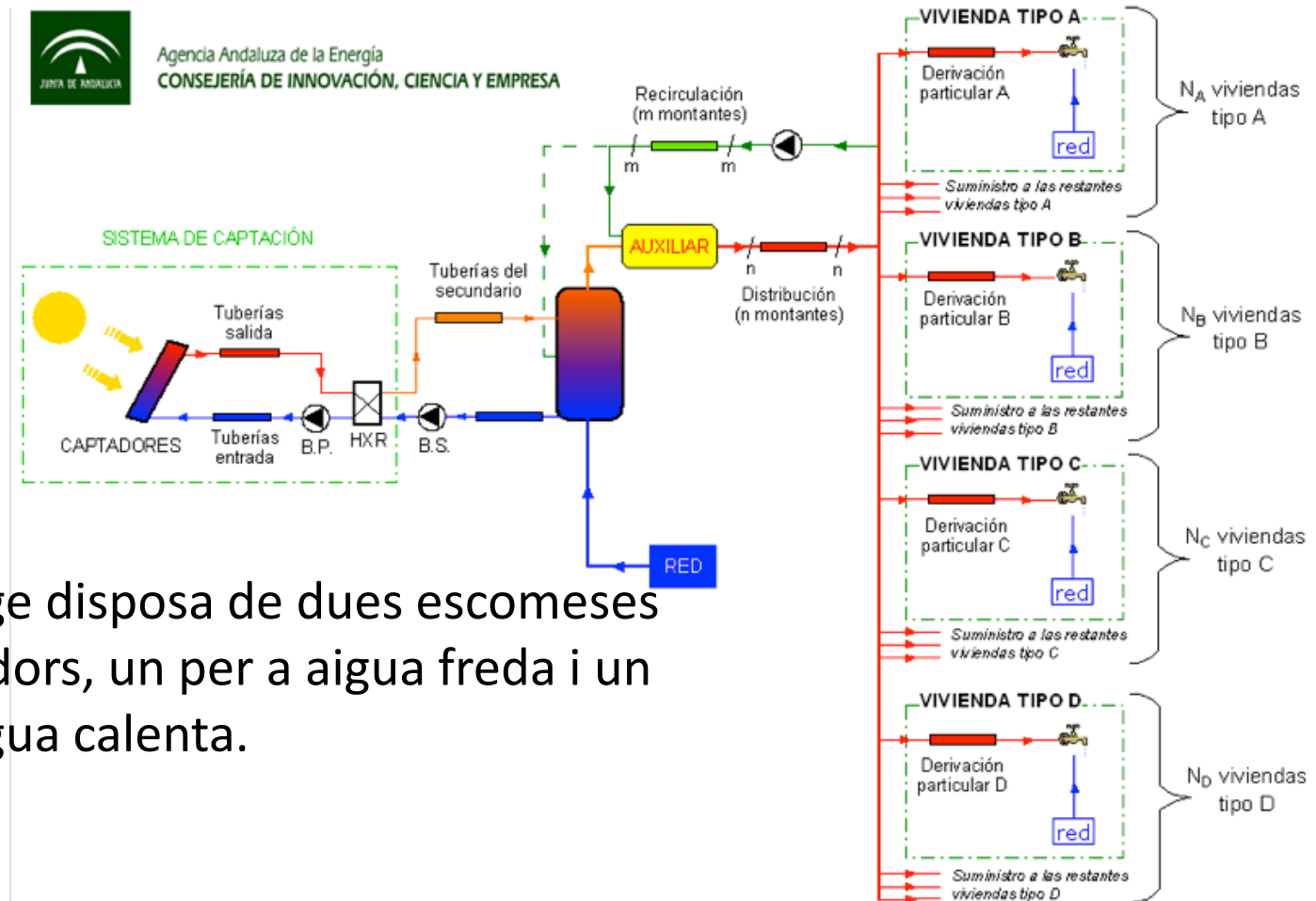
A. Acumulació centralitzada i suport distribuït.

- És el més simple i el que millors prestacions (contribució solar i rendiment de captació) presenta.
- El sistema solar proporciona aigua preescalfada a l'entrada de cada sistema de suport. El circuit de distribució reparteix a cada habitatge l'aigua preescalfada i cada habitatge disposa d'un sistema de suport que completa l'escalfament de l'aigua.



B. Acumulació i suport centralitzat.

- L'acumulador i el sistema auxiliar de suport són comuns, de manera que cada habitatge rep aigua calenta a punt per a l'ús.



- Cada habitatge disposa de dues escomeses i dos comptadors, un per a aigua freda i un altre per a aigua calenta.

B. Acumulació i suport centralitzat.

➤ Els avantatges d'aquest esquema són:

1. És el que presenta menor espai ocupat en els habitatges (captació en el terrat, acumulació i sistema de suport en una cambra de màquines).
2. Tota la instal·lació està centralitzada i pot ser objecte d'un manteniment periòdic i controlat.

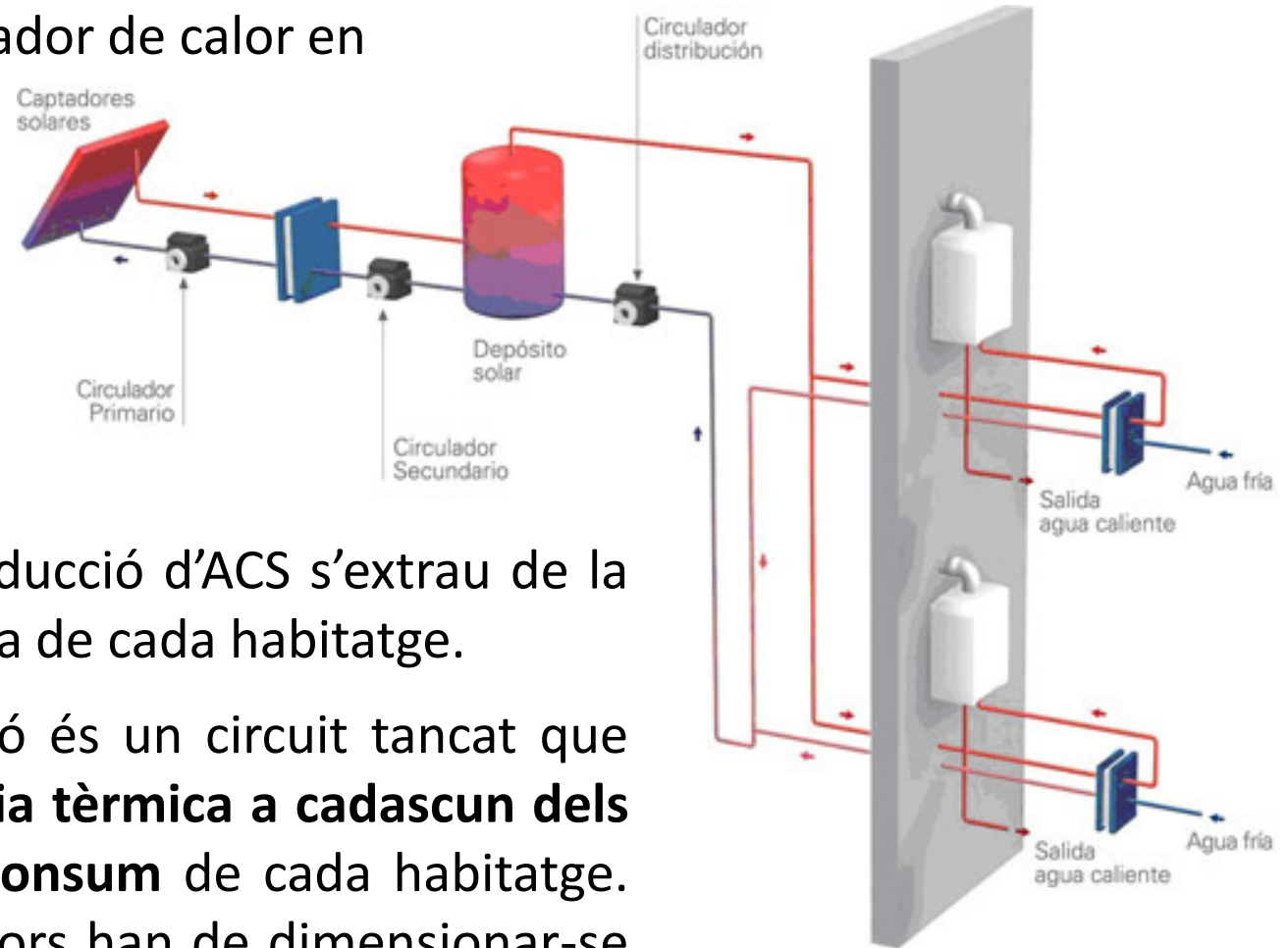
➤ Els principals inconvenients són:

1. Igual que en el cas anterior, a més del comptador general per a l'escomesa d'aigua freda, ha d'existir un comptador d'aigua en l'escomesa de l'aigua calenta en cada habitatge que, en aquest cas, comptabilitza el cabal d'aigua preescalfada per a facilitar el repartiment de les despeses en funció del consum d'ACS.
2. Normalment es requereix un **circuit de recirculació** que permet mantenir una temperatura homogènia en totes les escomeses d'aigua calenta en cada habitatge, per a això, el disseny del circuit de recirculació s'ha de fer limitant la disminució de temperatura en tot el seu traçat.

C. Acumulació centralitzada i bescanviador i suport distribuït.

S'instal·la un bescanviador de calor en cada habitatge

- L'aigua per a la producció d'ACS s'extrau de la xarxa interior d'aigua de cada habitatge.
- L'anell de distribució és un circuit tancat que **subministra l'energia tèrmica a cadascun dels bescanviadors de consum** de cada habitatge. Aquests bescanviadors han de dimensionar-se per a la punta de demanda d'ACS de cada habitatge.



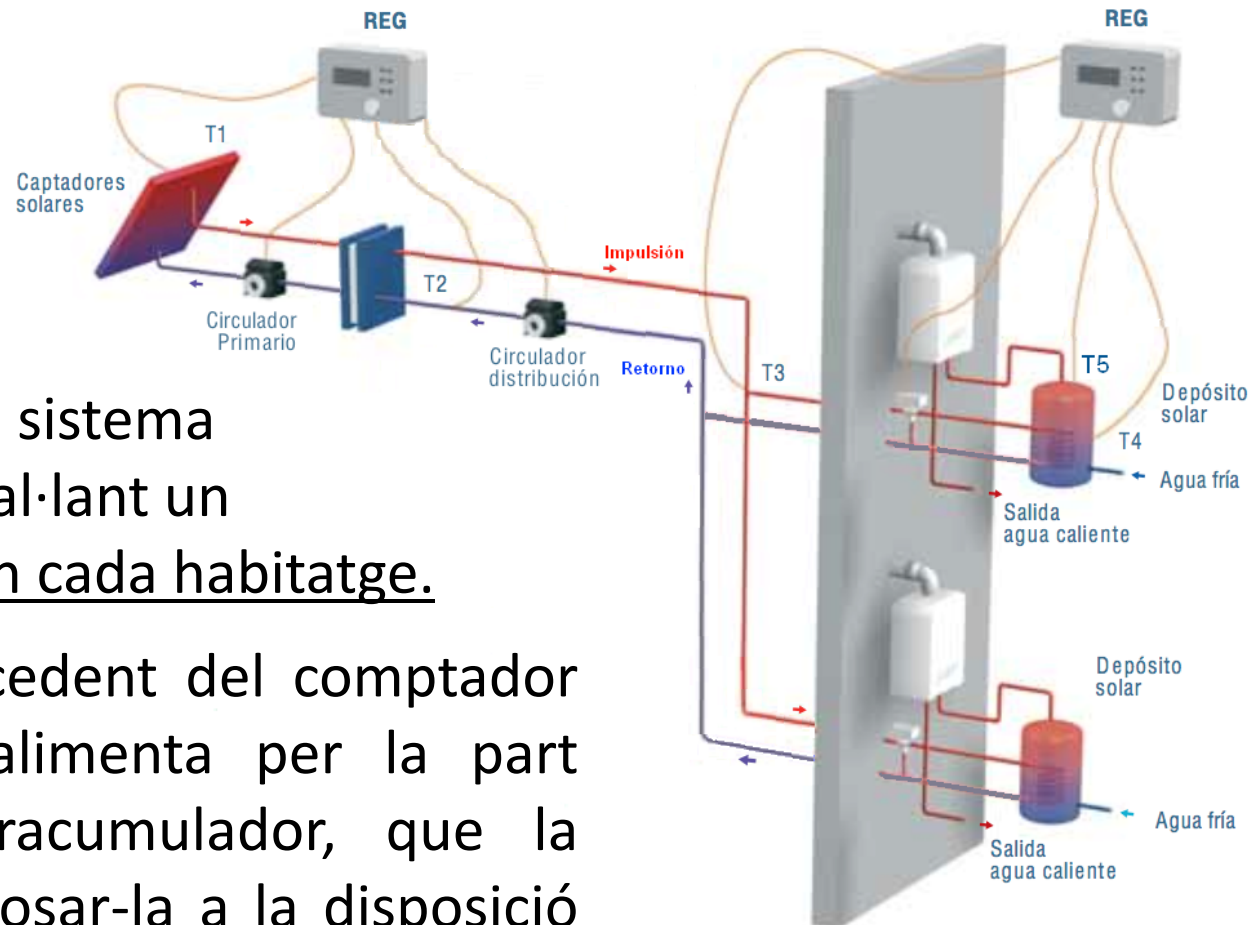
aperca.org

C. Acumulació centralitzada i bescanviador i suport distribuït.

- L'ACS de consum ja no és comunitària, sinó que procedeix d'aquest comptador d'aigua freda, per la qual cosa no és necessària ni la mesura de l'aigua preescalfada ni fer el repartiment de la despesa d'aigua entre els veïns.
- El sistema d'acumulació pot ser centralitzat o individual. L'acumulació centralitzada evita la problemàtica dels espais ocupats en cada habitatge.
- La presència del bescanviador de calor en cada habitatge, en separar circuits, converteix l'esquema en intrínsecament segur contra la legionel·losi.
- Es facilita el manteniment de la instal·lació solar evitant la necessitat de tallar o desviar el subministrament d'ACS a tots els habitatges, ja que l'aigua que s'ha de calfar no passa a través de l'acumulador solar. Durant el període de manteniment és el sistema de suport el que proporciona l'ACS.

D. Acumulació i suport distribuït.

- Es descentralitza el sistema d'acumulació, instal·lant un interacumulador en cada habitatge.
- L'aigua freda, procedent del comptador de l'habitatge, s'alimenta per la part inferior de l'interacumulador, que la preescalfa per a posar-la a la disposició del sistema de suport.
- Els interacumuladors es dimensionen per a la demanda d'ACS de cada habitatge.



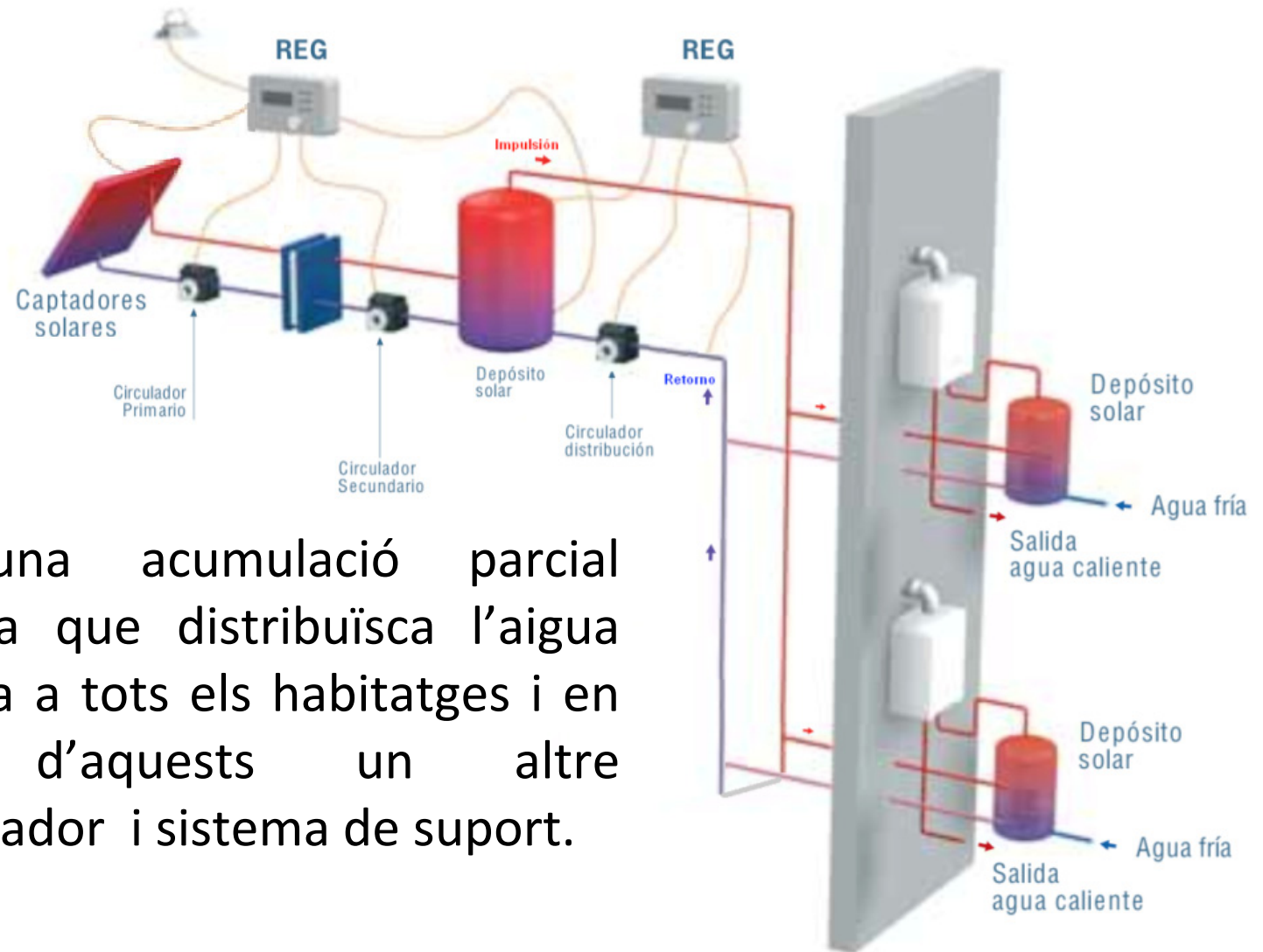
aperca.org

D. Acumulació i suport distribuït.

- Els avantatges bàsics d'aquesta configuració són:
 - Elimina la presa d'aigua de xarxa compartida (independitza totes les despeses a excepció del manteniment dels elements comuns).
 - Les pèrdues de calor en la distribució són menors que en les instal·lacions amb acumulador central.
- Els seus inconvenients són:
 - L'espai que ocupen els interacumuladors en els habitatges (i el sistema auxiliar de suport).
 - Les pèrdues de calor en els acumuladors són majors (presenten major àrea amb l'ambient per al mateix volum total).
 - La regulació és complexa, ja que hauria de poder actuar-se sobre cadascun dels acumuladors dels habitatges.

E. Acumulació mixta i suport distribuït.

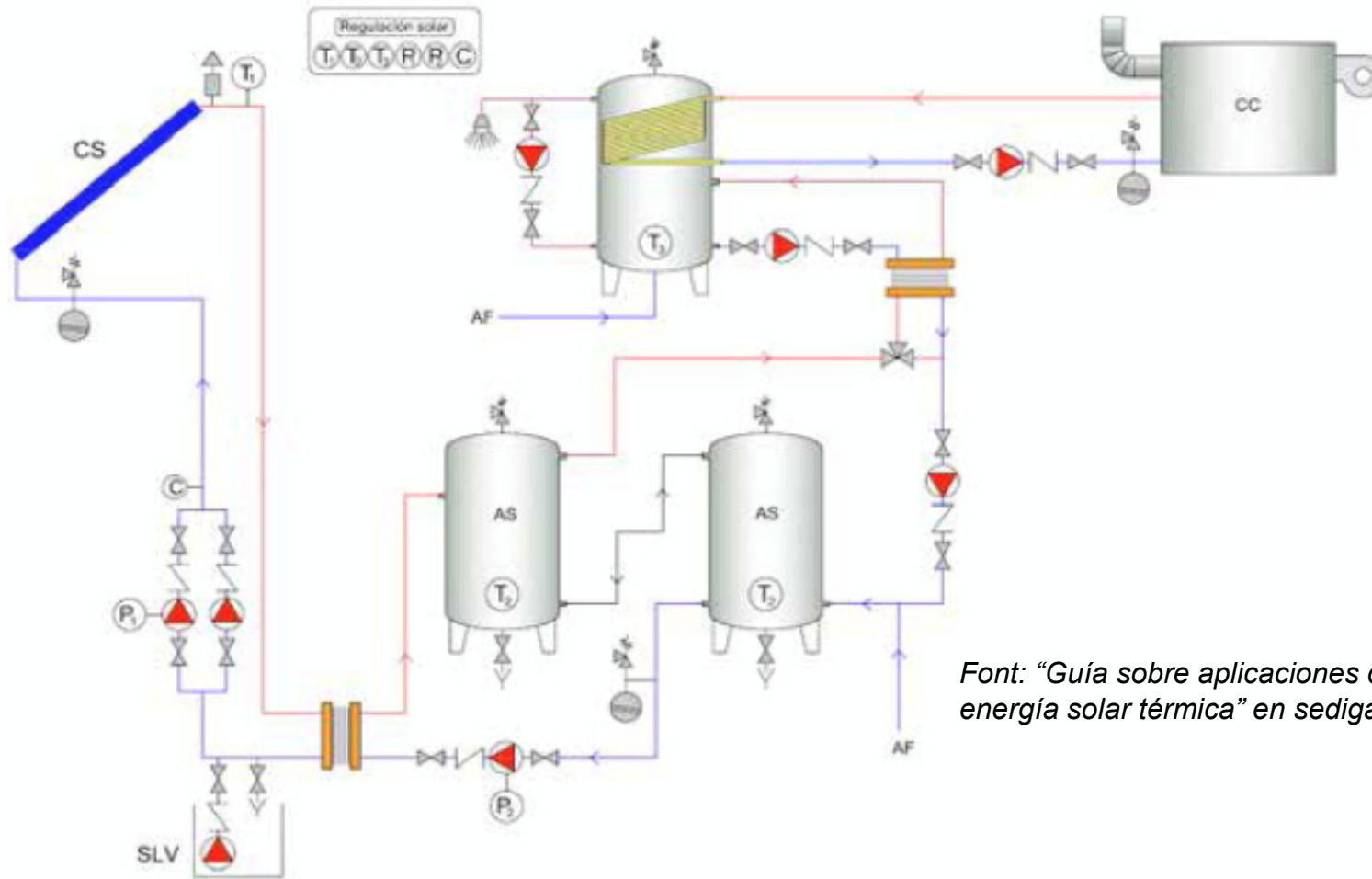
- S'utilitza una acumulació parcial centralitzada que distribuïska l'aigua preescalfada a tots els habitatges i en cadascun d'aquests un altre interacumulador i sistema de suport.




















E. Acumulació mixta i suport distribuït.

- Amb aquest sistema es redueix la grandària dels dipòsits en els habitatges, però es perd rendiment en tenir dos bescanviadors de calor.
- La regulació és complexa perquè hauria de poder actuar-se sobre cadascun dels acumuladors dels habitatges.

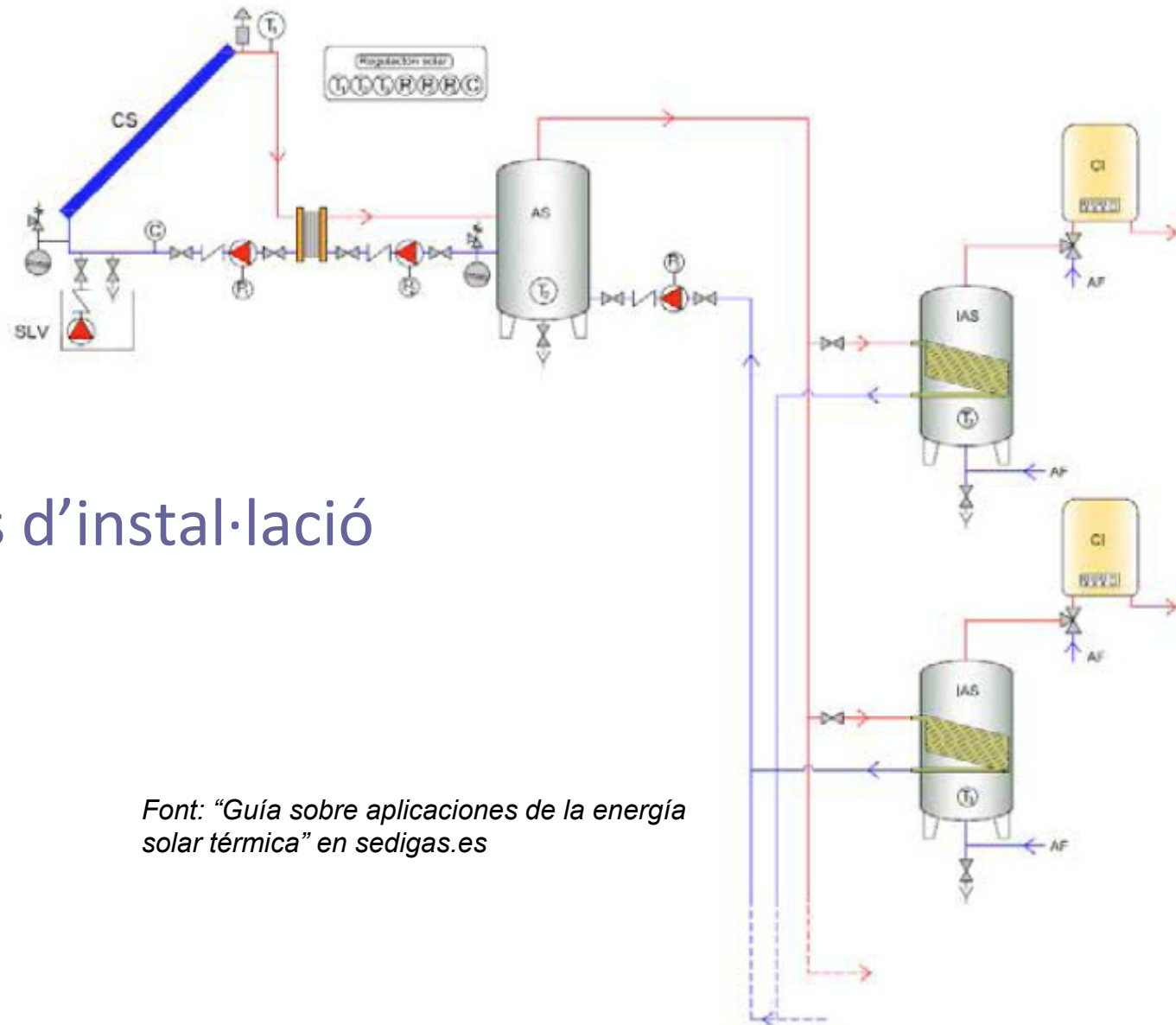
A quin tipus d'instal·lació correspon?














Font: "Guía sobre aplicaciones de la energía solar térmica" en sedigas.es

- | | | | | | | | |
|---|--|--|---|--|--|---|--|
|  Purgador |  Válvula de tall |  Válvula de seguretat |  Válvula de buidatge |  Cabalímetre |  Sonda de temperatura |  IAS Interacumulador solar |  AF Aigua freda |
|  Bomba |  Válvula antiretorn |  Válvula de tres vies |  Vas d'expansió |  Sonda de pressió |  CS Captador solar |  CI Caldera individual |  SLV Sistema d'ompliment i buidatge |
|  Bescanviador de plaques | | | | | | | |

A quin tipus d'instal·lació correspon?



Font: "Guía sobre aplicaciones de la energía solar térmica" en sedigas.es

	Purgador		Válvula de tall		Válvula de seguretat		Válvula de buidatge		Cabalímetre		Sonda de temperatura	IAS	Interacumulador solar	AF	Aigua freda
	Bomba		Válvula antiretorn		Válvula de tres vies		Vas d'expansió		Sonda de pressió	CS	Captador solar	CI	Caldera individual	SLV	Sistema d'ompliment i buidatge

3.3. Disseny i dimensionament d'una instal·lació solar tèrmica a baixa temperatura.



Procediment

□ A l'hora de realitzar el càlcul de la instal·lació s'han de tenir en compte diferents aspectes:

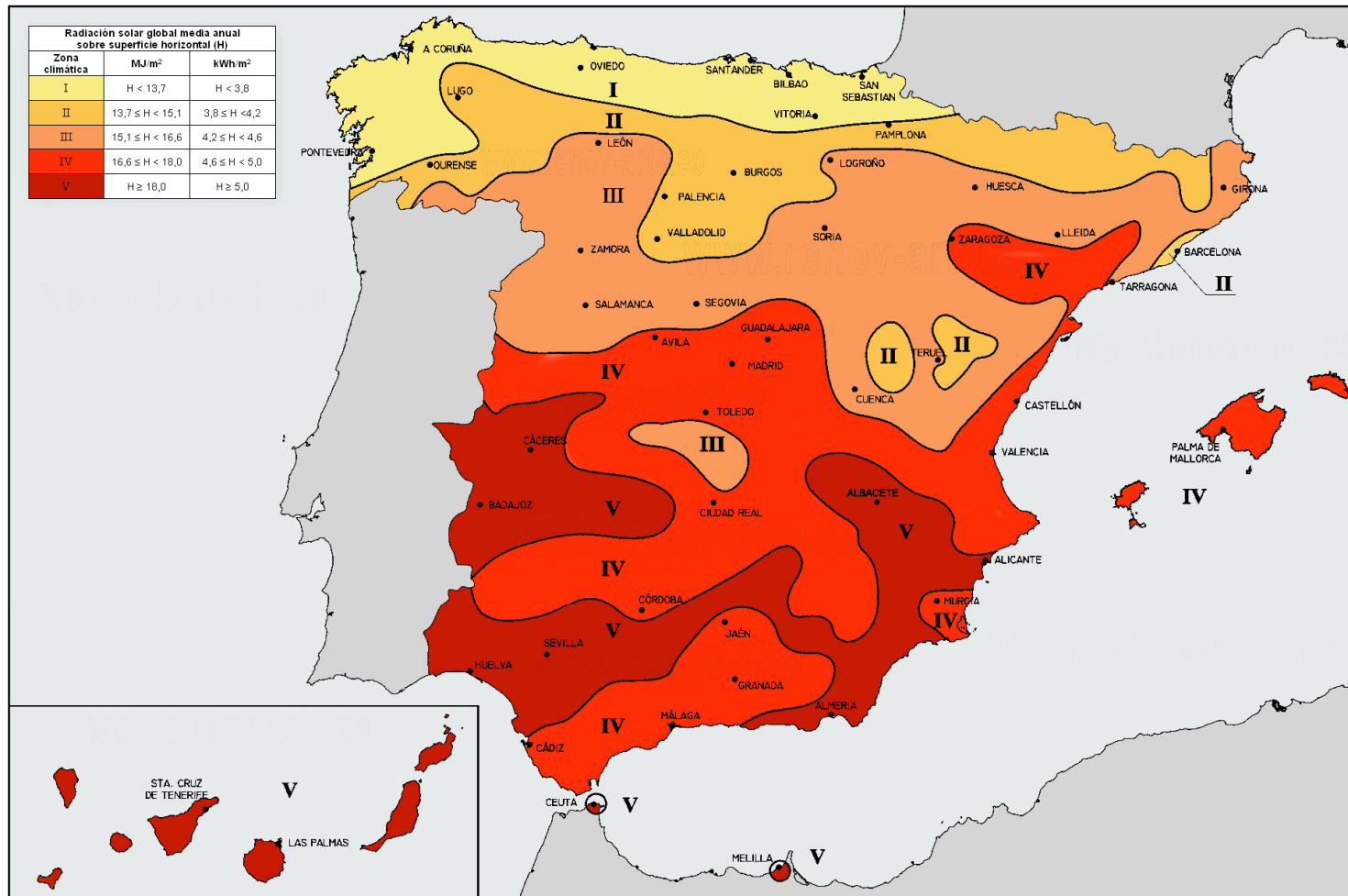
1. Ubicació geogràfica.
2. Determinació de la demanda energètica.
3. Càlcul de l'energia incident en el captador. Depèn de:
 - a) Inclinació i orientació dels panells.
 - b) Pèrdues per orientació i inclinació.
 - c) Pèrdues per ombres (llunyanes i pròximes).
4. Contribució solar i rendiment mitjà anual.

I amb aquestes dades es predetermina la superfície de captació necessària i el volum d'acumulació → Mètode F-CHART.

Seguidament es dimensiona el bescanviador, el vas d'expansió i la bomba de circulació (vist en l'apartat anterior).

1. Ubicació geogràfica.

- Definida per la latitud i longitud del lloc.
- El CTE divideix Espanya en 5 zones climàtiques



2. Càlcul de la demanda d'energia tèrmica.

Els factors que influeixen en aquesta demanda són el consum d'aigua calenta, la temperatura d'ús de l'aigua calenta i la temperatura d'entrada d'aigua freda de la xarxa:

$$Q_{ACS} = C_{dia} \cdot N \cdot C_e \cdot \rho \cdot (T_{ACS} - T_{AF})$$

Q_{ACS} : Energia requerida per unitat de temps per a l'escalfament d'ACS en MJ/mes

C_{dia} : Consum diari d'aigua a la temperatura T_{ACS} en litres/dia

N : Nombre de dies del mes considerat

C_e : Calor específica (per a l'aigua és de $4,187 \cdot 10^{-3}$ MJ/kg °C)

ρ : Densitat (per a l'aigua és d'1 kg/l)

T_{ACS} : Temperatura mitjana de l'aigua utilitzada com a referència per al càlcul de la demanda d'ACS en °C

T_{AF} : Temperatura de l'aigua de la xarxa en °C

2. Càlcul de la demanda d'energia tèrmica.

C_{dia} : Consum diari d'aigua a la temperatura T_{ACS} ?

- En instal·lacions sobre edificis ja construïts es recomana que la determinació del consum d'aigua calenta es faça a partir de mesures prèvies d'aquests consums realitzades durant un període de temps prou representatiu.
- Si no es disposa d'aquestes mesures (per no existir comptadors de l'aigua consumida o per ser un edifici en fase de projecte), l'estimació de la demanda d'aigua calenta es fa en funció de l'ús de l'edifici: habitatges, hospitals, hotels, bugaderies, etc., i l'aplicació de taules (UNE 94002:2004, CTE o de l'ordenança solar de la localitat si existira).

2. Càlcul de la demanda d'energia tèrmica.

La norma UNE 94002:2005 proporciona el consum d'aigua calenta per a una temperatura d'ús de l'aigua de 45 °C:

Consums segons l'ús	Consum unitari (l/dia)
Habitatge	40 per persona
Hospitals i clíniques	80 per persona
Ambulatori i centre de salut	60 per persona
Hotel*****	100 per persona
Hotel****	80 per persona
Hotel***	60 per persona
Hotel/hostal**	50 per persona
Hotel/pensió*	40 per persona
Càmping	30 per persona
Residència (ancians, estudiants, etc.)	60 per persona
Centre penitenciari	40 per persona
Alberg	35 per persona
Vestidors / dutxes col·lectives	30 per persona
Escola sense dutxes	6 per persona
Escola amb dutxes	30 per persona
Casernes	40 per persona
Fàbriques i tallers	30 per persona
Oficines	3 per persona
Gimnasos	30 per persona
Bugaderies	3 a 5 per quilo de roba
Restaurants	12 per persona
Cafeteries	2 per persona

2. Càlcul de la demanda d'energia tèrmica.

En edificis l'ús dels quals no siga exclusiu d'habitatge, en compliment de la legislació per a prevenció i control de la legionel·losi, es tria una T de preparació de l'ACS major (60°C). El CTE proporciona el consum d'aigua calenta per a una temperatura d'ús de l'aigua de 60 °C.

Font: Codi tècnic de l'edificació.
Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60 °C⁽¹⁾

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

(1) Els litres d'ACS/dia a 60°C es calculen a partir de la taula de la norma UNE 94002:2005 utilitzant $T_{AF}=12^{\circ}\text{C}$ (constant), $T_{ref}=60^{\circ}\text{C}$ i $T=45^{\circ}\text{C}$ en l'expressió:

$$C_T = C_{ref} \cdot \left(\frac{T_{ref} - T_{AF}}{T - T_{AF}} \right)$$

2. Càlcul de la demanda d'energia tèrmica.

- En l'ús residencial de l'habitatge, el **càlcul del nombre de persones per habitatge** pot fer-se utilitzant els següents valors mínims indicats pel Codi tècnic de l'edificació:

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.

- D'acord amb el CTE, en els edificis d'habitatges plurifamiliars s'ha d'utilitzar el factor de centralització corresponent al nombre d'habitatges de l'edifici que multiplicarà la demanda diària d'aigua calenta sanitària a 60 °C calculada.

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

Font: Codi tècnic de l'edificació.

2. Càlcul de la demanda d'energia tèrmica.

El CTE indica que el consum d'aigua calenta a una temperatura T diferent de la de referència (60°C per a CTE, 45°C para UNE 94002), es calcula amb l'expressió:

$$C_T = C_{ref} \cdot \left(\frac{T_{ref} - T_{AF}}{T - T_{AF}} \right)$$

C_{ref} : Consum d'aigua calenta obtingut de la taula (l/dia)

T : Temperatura de l'acumulador final ($^{\circ}\text{C}$)

T_{ref} : Temperatura de referència

T_{AF} : Temperatura d'entrada de aigua freda ($^{\circ}\text{C}$)

C_T : Consum equivalent d'aigua a la temperatura T (l/dia).

	Altura (m)	gen.	febr.	març	abril	maig	juny	jul	ago	set.	cct.	nov.	des.
Alacant	7	11,2	11,7	12,6	13,9	15,8	18,1	20,0	20,3	18,8	16,2	13,4	11,5
Castelló	18	10,2	10,9	11,9	12,9	14,9	17,5	19,4	19,6	18,3	15,6	12,5	10,9
València	8	10,4	11,1	11,8	13,1	15,0	17,4	19,3	19,6	18,2	15,6	12,6	10,7

Norma UNE 94002:2005: T. mitjana de l'agua de xarxa ($^{\circ}\text{C}$) de les tres capitals de província de la Comunitat Valenciana

Temperatura d'entrada d'aigua freda

Tabla B.1 Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C)

Capital de provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A Coruña	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Alacant	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao/Bilbo	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón/Castelló	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas de Gran Canaria	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Ourense	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona/Iruña	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santa Cruz de Tenerife	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Santander	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Segovia	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarragona	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valladolid	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria-Gasteiz	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

T. mitjana de l'aigua de xarxa (°C)
Font: Codi tècnic de l'edificació.

Temperatura d'entrada d'aigua freda

Tabla 4. Temperatura mínima media del agua de la red general, en °C, obtenida a partir de medidas directas. Los datos han sido agrupados en seis perfiles característicos. (Fuente: CENSOLAR).

Nota: También se podrán tomar en consideración los valores indicados en la norma UNE 94002.

PROVINCIA	ALTITUD (m) (de la capital)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	542	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2 ALBACETE	686	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3 ALICANTE	7	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4 ALMERÍA	65	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5 ASTURIAS	232	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6 ÁVILA	1126	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7 BADAJOZ	186	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8 BALEARES	28	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9 BARCELONA	95	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10 BURGOS	929	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11 CÁCERES	459	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12 CÁDIZ	28	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13 CANTABRIA	69	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14 CASTELLÓN	27	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15 CEUTA	206	8	9	10	12	13	14	13	14	13	12	11	8	11,3
16 CIUDAD REAL	628	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17 CÓRDOBA	128	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18 LA CORUÑA	54	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19 CUENCA	949	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20 GERONA	95	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21 GRANADA	775	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22 GUADALAJARA	685	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23 GUIPÚZCOA	181	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24 HUELVA	4	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25 HUESCA	488	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26 JAÉN	586	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27 LEÓN	908	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28 LÉRIDA	323	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29 LUGO	465	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30 MADRID	667	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
31 MÁLAGA	40	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
32 MELILLA	47	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
33 MURCIA	42	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
34 NAVARRA	449	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
35 ORENSE	139	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,2
36 PALENCIA	734	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
37 LAS PALMAS	6	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
38 PONTEVEDRA	19	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
39 LA RIOJA	380	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
40 SALAMANCA	803	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
41 STA. CRUZ DE TENERIFE	37	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
42 SEGOVIA	1002	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
43 SEVILLA	30	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
44 SORIA	1063	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
45 TARRAGONA	60	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
46 TERUEL	915	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
47 TOLEDO	540	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
48 VALENCIA	10	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
49 VALLADOLID	694	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
50 VIZCAYA	32	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
51 ZAMORA	649	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
52 ZARAGOZA	200	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3

Font: CENSOLAR

Temperatura d'entrada d'aigua freda

Tabla B1: Altura de referencia (m) y Temperatura (°C) diaria media mensual de agua fría para las capitales de provincia

	Altura de referencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A Coruña	5	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	686	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante	3	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	16	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	1128	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	186	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	18	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao	19	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	860	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	439	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	4	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón	30	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	0	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	635	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	123	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	1001	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	75	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	685	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	679	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	56	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	488	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	574	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas Gran Canaria	8	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	838	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida	155	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	384	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	454	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	655	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	8	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla	2	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia	42	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Ourense	139	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo	232	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia	740	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca	34	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona	449	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra	290	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca	800	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián	40	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santa Cruz de Tenerife	4	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Santander	15	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Segovia	1001	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla	12	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria	1063	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarragona	51	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel	915	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo	529	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia	13	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valladolid	691	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria-Gasteiz	525	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora	649	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza	200	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

Font: Guia de l'Associació Solar de la Indústria Tèrmica

Temperatura d'entrada d'aigua freda

Per a qualsevol localitat Y que no siga capital de província, la temperatura d'aigua freda mensual (T_{AFY}) s'obté a partir de la temperatura d'aigua freda de la seua capital de província (T_{AFCP}), aplicant l'expressió indicada al CTE:

$$T_{AFY} = T_{AFCP} - B \cdot \Delta z$$

Δz : Diferència entre l'altura de la localitat i l'altura de la capital de província. Si la localitat està a major altura que la capital, Δz és positiu, i és negatiu en cas contrari.

B: Constant que pren els següents valors:

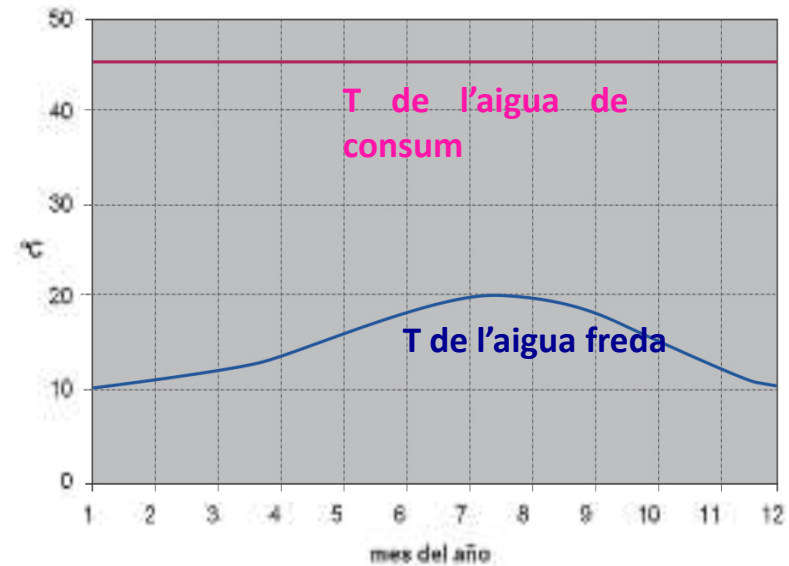
B = 0,010 per als mesos d'octubre a març

B = 0,005 per als mesos d'abril a setembre

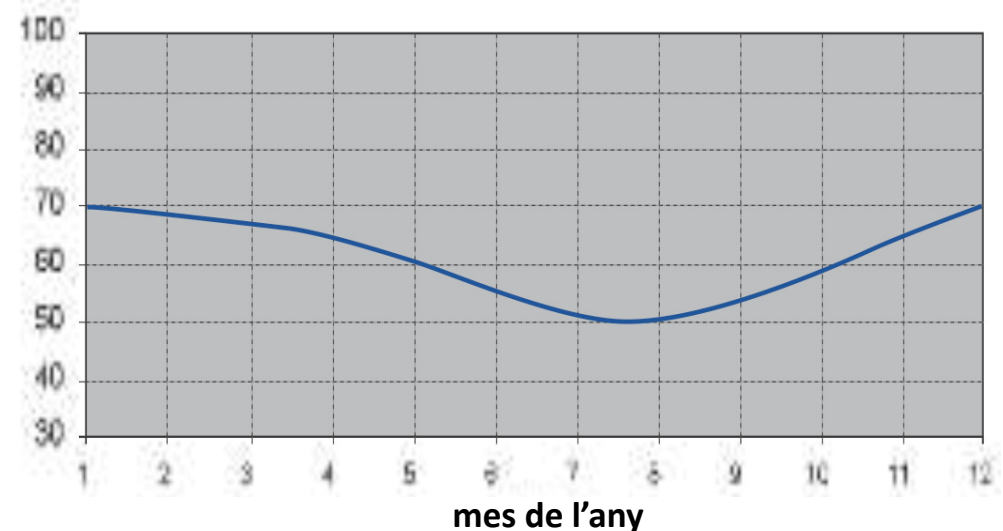
Temperatura d'entrada d'aigua freda i demanda d'energia tèrmica

Distribució de temperatura de l'aigua freda al llarg de l'any i diferència amb la temperatura de consum:

A partir d'aquesta diferència de temperatures s'obté la corba de demanda d'energia tèrmica, que s'observa que és superior en els mesos d'hivern a causa de la menor temperatura de l'aigua freda.



Font: Guia AVEN



Exemple 1



Calculeu l'energia tèrmica necessària en el mes de gener, en un hotel d'Oviedo de 4 estrelles que té una capacitat per a 76 persones. Preneu 60°C com a temperatura mitjana de l'aigua de referència utilitzada per a l'ACS. La temperatura mitjana de l'aigua de la xarxa durant el mes de gener és de 6°C .

3.a) Orientació i inclinació dels captadors.

- Els valors màxims d'irradiació solar global anual s'aconsegueixen amb orientació sud, encara que variacions de fins a 20° respecte al sud no afecten sensiblement el rendiment.
- L'angle d'inclinació dels col·lectors sobre un pla horitzontal es determina tenint en compte dos factors:
 - latitud geogràfica i
 - període d'utilització de l'equip solar tèrmic.

El CTE estableix els següents angles d'inclinació (β) en funció de la latitud de la instal·lació:

- Demanda constant anual: $\beta = \text{Latitud geogràfica}$.
- Demanda preferent a l'hivern: $\beta = \text{Latitud} + 10^\circ$.
- Demanda preferent a l'estiu: $\beta = \text{Latitud geogràfica} - 10^\circ$.

S'admeten en qualsevol dels tres casos desviacions de $(\text{Latitud} \pm 10)^\circ$ com a màxim.

Pèrdues límit per orientació i inclinació i ombres (CTE)

El CTE estableix els requisits que ha de complir la instal·lació quant a pèrdues per orientació i inclinació i ombres:

Cas	Orientació i inclinació	Ombres	Total
General	10%	10%	15%
Superposició	20%	15%	30%
Integració arquitectònica	40%	20%	50%

- Es considera que existeix **integració arquitectònica** quan el captador solar substitueix algun dels elements de l'envolupant.
- Es considera que existeix **superposició arquitectònica** quan el captador solar està en paral·lel amb alguna envolupant, però no la substitueix.

Seleccionada l'orientació i inclinació dels panells i descomptant les pèrdues per orientació i inclinació més les pèrdues per ombreig, es calcula la irradiació mitjana diària (mes a mes) que incideix sobre el captador.

4. Fracció solar i rendiment de la instal·lació.

- La fracció solar és el quocient entre els valors anuals de l'energia solar aportada per la instal·lació i la demanda energètica anual. Ens dóna la part de la demanda que és coberta per la instal·lació solar.

$$FS = \frac{Q_s}{Q_{ACS}} (\%)$$

Q_s : Energia tèrmica anual produïda per la instal·lació solar

Q_{ACS} : Demanda tèrmica total d'ACS.

- El rendiment anual de la instal·lació (η_a) és el quocient entre l'energia tèrmica aportada per la instal·lació i l'energia solar incident sobre els captadors:

$$\eta_a = \frac{Q_s}{E \cdot A} (\%)$$

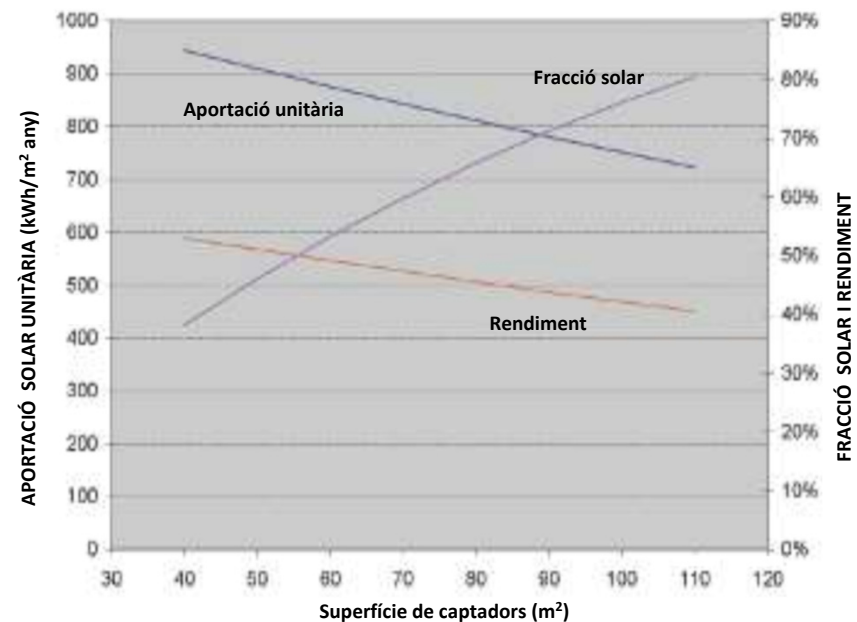
E: Irradiació anual.

A: Superfície de captació.

4. Fracció solar i rendiment de la instal·lació.

A mesura que augmenta la superfície de captació:

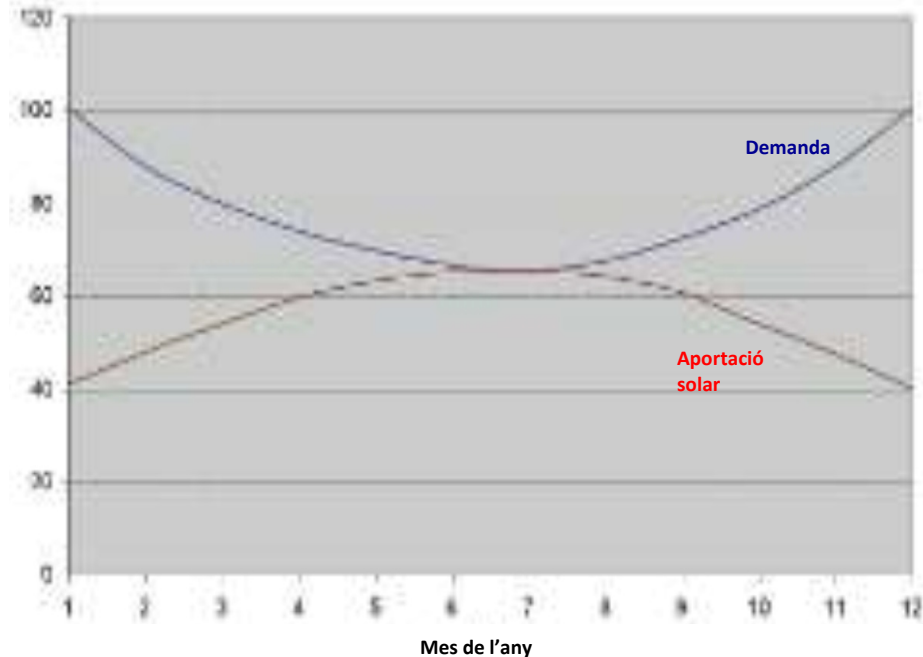
- Augmenta la quantitat d'energia aportada per la instal·lació i per tant la fracció solar.
- Major salt tèrmic en els col·lectors i, per tant, disminueix el rendiment dels col·lectors.
- Disminueix la quantitat d'energia aportada per cada m^2 de col·lector (aportació unitària).
- Disminueix el rendiment de la instal·lació.



4. Fracció solar i rendiment de la instal·lació.

Per a habitatges unifamiliars el disseny es fa per a aprofitar tota l'energia produïda per la instal·lació solar i minimitzar els excedents d'energia de la següent forma:

- La instal·lació ha de cobrir aprox. el 100% de la demanda a l'estiu, sense que resulte quasi necessari el sistema de suport.
- La demanda no satisfeta pel sistema solar durant la resta dels mesos ha de ser coberta pel sistema de suport.



4. Fracció solar i rendiment de la instal·lació.

El CTE fixa una **contribució solar mínima** entre el 30 i el 70% de la demanda total d'ACS de l'edifici en funció de la zona climàtica (I a V) i de diferents nivells de demanda en l/d d'ACS a una temperatura de referència de 60°C :

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.

Exigències de contribució solar mínima per a l'aplicació de climatització de piscines cobertes:

	Zona climàtica				
	I	II	III	IV	V
Piscines cobertes	30	30	50	60	70

5.a) Mètode orientatiu de càlcul de l'àrea de captació a partir del rendiment mitjà.

Ens proporciona l'àrea de captació requerida en funció de la demanda d'ACS i del valor de la fracció solar o cobertura solar de la demanda que es vol aconseguir.

$$A = \frac{FS \cdot Q_{ACS}}{E_A \cdot \eta_m}$$

FS: Fracció o aportació solar (%)

A: Àrea de captació (m²)

E_A : Irradiació solar anual disponible sobre el pla de captació (MJ/m²)

η_m: Rendiment mitjà de la instal·lació (%).

Se sol prendre de forma empírica un rendiment mitjà del 40%.

Q_{ACS}: Demanda tèrmica anual d'energia (MJ)

És un càlcul aproximat perquè el rendiment mitjà depèn del disseny de la instal·lació, principalment de la corba de rendiment dels captadors solars utilitzats, però ens pot donar una idea orientativa de la superfície de captació necessària.

Exemple 2: Càlcul de l'àrea de captació.

Calculeu la demanda mensual d'energia tèrmica i la mitjana anual que ha d'aportar la nostra instal·lació (Q_s) per a produir ACS en un edifici plurifamiliar amb 50 habitatges, cadascun de 3 habitacions, situat a València per a $T_{ACS}=45^{\circ}\text{C}$.

Adicionalment, calculeu l'àrea de captació aproximada, tenint en compte que els panells estaran orientats al sud amb una inclinació de 40° i la instal·lació té un rendiment mitjà del 40%.

Exemple 2: Càlcul de l'àrea de captació.

DADES DE PARTIDA:

- Ubicació: València
- Demanda d'ACS (a 60°C):
4.760 l/dia
- Demanda d'ACS (a 45°C):
7.136 l/dia
- Temperatura ACS: 45°C
- Demanda tèrmica:
330.358 MJ/any
- Cobertura de la demanda: 50%
- Inclinació dels panells: 40°
- Irradiació anual: 6.838 MJ/m²
- Rendiment mitjà anual: 40%

angle	gener	febrer	març	abril	maig	juny	juliol	agost	setembre	octubre	novembre	desembre	Anual
20	12,9	14,7	18,9	21,2	22,1	23,2	24,0	22,3	20,3	16,4	13,2	11,0	6704
25	13,7	15,3	19,3	21,2	21,8	22,6	23,5	22,2	20,5	17,0	14,0	11,8	6786
30	14,5	15,9	19,7	21,1	21,3	22,0	22,9	21,9	20,7	17,5	14,7	12,5	6840
35	15,2	16,4	19,9	20,9	20,7	21,3	22,2	21,5	20,8	18,0	15,4	13,2	6863
40	15,8	16,7	20,0	20,6	20,1	20,5	21,4	21,0	20,7	18,3	15,9	13,7	6838
45	16,3	17,0	19,9	20,1	19,3	19,5	20,5	20,4	20,5	18,5	16,3	14,2	6770
50	16,7	17,2	19,8	19,5	18,5	18,5	19,5	19,7	20,2	18,6	16,6	14,6	6675
55	16,9	17,2	19,5	18,8	17,6	17,5	18,5	18,9	19,7	18,5	16,9	14,8	6534
60	17,1	17,2	19,1	18,1	16,5	16,3	17,3	18,0	19,2	18,4	17,0	15,0	6363
65	17,1	17,0	18,6	17,2	15,5	15,1	16,1	16,9	18,5	18,1	17,0	15,1	6149
70	17,1	16,7	18,0	16,2	14,3	13,9	14,8	15,9	17,7	17,8	16,8	15,0	5906

ÀREA DE CAPTACIÓ

$$A = \frac{FS \cdot Q_{ACS}}{E_A \cdot \eta_m} = \frac{0,5 \cdot 330358}{6838 \cdot 0,4} = 60,39 \text{ m}^2$$

Solució en fitxer
Exemple2_Tema3_TomoIV.xls

Exemple 3

Calculeu la superfície de captació necessària per a l'hotel de 4 estrelles situat a Oviedo (latitud 43°) de l'exemple 1. La instal·lació està situada en una terrassa plana amb els captadors amb una inclinació de 45° i orientació sud. No hi ha ombres projectades sobre el camp de captació.

MES	Dies del mes considerat	t_{AF}	Radiació (MJ/m ² *dia) en pla horitzontal	K per a inclinació de 45° i latitud de 43°
Gener	31	6	5,3	1,45
Febrer	28	7	7,7	1,33
Març	31	9	10,6	1,19
Abril	30	11	12,2	1,05
Maig	31	12	15	0,95
Juny	30	13	15,2	0,91
Juliol	31	14	16,8	0,95
Agost	31	13	14,8	1,06
Setembre	30	12	12,4	1,24
Octubre	31	11	9,8	1,45
Novembre	30	9	5,9	1,59
Desembre	31	6	4,6	1,57

5. b) Mètode F-CHART.

- En el mètode de càlcul simplificat anterior es determina la producció energètica de la instal·lació solar suposant un rendiment mitjà anual, la qual cosa no és més que una aproximació, ja que el rendiment mitjà de la instal·lació varia en funció de l'àrea total de captació, és a dir,

Si $A_c \uparrow \rightarrow \downarrow$ rendiment unitari $\rightarrow \downarrow$ rendiment de la instal·lació

- A més, aquesta producció energètica depèn de paràmetres variables amb el temps: temperatura, radiació, cabals, etc.
- El mètode F-Chart consisteix en la determinació de la fracció solar mes a mes (f) a partir de dues magnituds adimensionals D_1 i D_2 . Coneguda la fracció solar de cadascun dels mesos es determina la fracció solar anual i mitjançant càlculs iteratius es va variant l'àrea de captació (i volum d'acumulació) fins a aconseguir la fracció solar requerida.

5. b) Mètode F-CHART.

L'equació que utilitza aquest mètode, basada en correlacions obtingudes a partir de multitud de dades experimentals, és la següent:

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3$$

f: Fracció solar, calculada mes a mes.

D_1 : Quocient entre l'energia absorbida pels captadors i la demanda calorífica mensual. Depèn de la radiació mitjana del mes i del factor d'eficiència òptica dels panells solars.

D_2 : Quocient entre l'energia que perden els captadors i la demanda calorífica mensual. Depèn del coeficient de pèrdues dels col·lectors, de la temperatura de l'ACS, de la temperatura de l'aigua de xarxa, de la temperatura ambient mitjana mensual i del volum d'acumulació.

El factor d'eficiència òptica i el coeficient de pèrdues dels col·lectors s'obtenen a partir de la corba de rendiment dels col·lectors, subministrada pel fabricant.

5. b) Mètode F-CHART.

Passos:

- ① Obtenció de la radiació solar mensual sobre superfície inclinada (E_{imes} en kWh/m²mes):
 - Generalment es disposa de la radiació sobre superfície horitzontal, per la qual cosa cal multiplicar pel coeficient K_{mes} funció del mes, de la latitud i de la inclinació (apareix tabulat en el Plec de condicions tècniques de l'IDAE).
 - Generalment ens donen la radiació mitjana diària (H_{dia}), per la qual cosa cal multiplicar pels dies del mes (N)
 - Si els panells no estan orientats al sud sinó que presenten una determinada azimuth (α), s'aplica la correcció (pèrdues per orientació):

$$P_{or} = 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2$$

- S'han de considerar les pèrdues per ombreig (P_{om})

$$EI_{mes} = k_{mes} \cdot H_{dia} \cdot N \cdot (1 - P_{or}) \cdot (1 - P_{om})$$

5. b) Mètode F-CHART.

Passos:

② Càlcul D_1 :

$$D_1 = \frac{EA_{mes}}{DE_{mes}} \quad \begin{array}{l} \text{(Energia absorbida pel captador)} \\ \text{(Demanda energètica mensual)} \end{array}$$

On l'energia absorbida pels captadors EA_{mes}

$$EA_{mes} = S_c \cdot F'_R(\tau\alpha) \cdot EI_{mes}$$

S_c és la superfície de captador i F'_R un factor adimensional:

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha)_n \cdot \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \frac{F'_R}{F_R}$$

Factor d'eficiència òptica del captador (η_o)

Modificador de l'angle d'incidència (0,95 per a captadors de coberta de vidre)

Factor de correcció del conjunt captador-bescanviador (0,95)

5. b) Mètode F-CHART.

Passos:

③ Càlcul D_2 :

$$D_2 = \frac{EP_{mes}}{DE_{mes}} \quad \begin{array}{l} \text{(Energia perduda pel captador)} \\ \text{(Demanda energètica mensual)} \end{array}$$

On l'energia perduda pels captadors EP_{mes}

$$EP_{mes} = S_C \cdot F'_R U_L \cdot (100 - T_{AMB}) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

$$F'_R U_L = F_R U_L \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot 10^{-3}$$

Coefficient global de pèrdues del captador (corba de rendiment)

$$K_1 = \left[\frac{V}{75 \cdot S_C} \right]^{-0,25}$$

Factor de correcció per emmagatzematge

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18T_{AC} + 3,86T_{AF} - 2,32T_{AMB})}{(100 - T_{AMB})}$$

Factor de correcció per a ACS, on $T_{AC} = 45^\circ \text{C}$

5. b) Mètode F-CHART (T_{AMB}).

Mitjana de la temperatura ambient durant les hores de sol, en °C
(Font: CENSOLAR)

Provincia	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Año
A Coruña	10	10	11	12	14	16	18	19	18	15	12	10	13,8
Álava	5	5	9	10	13	17	19	19	17	13	8	5	11,7
Albacete	4	6	9	11	15	22	24	24	18	14	9	5	13,5
Alicante	11	12	14	16	19	23	25	26	24	19	15	12	18,0
Almería	12	12	14	16	18	22	25	25	23	19	16	13	18,0
Asturias	9	9	11	12	14	17	20	19	18	15	12	10	13,9
Ávila	2	3	6	9	12	16	20	20	16	11	6	3	10,4
Badajoz	9	10	13	15	18	23	26	25	23	18	13	9	16,9
Baleares	10	10	12	14	17	21	24	24	23	18	14	12	16,6
Barcelona	9	10	12	15	18	22	24	24	22	17	13	10	16,4
Burgos	2	5	7	9	12	16	19	19	16	11	6	3	10,4
Cáceres	8	9	12	14	17	22	26	26	22	17	12	8	16,1
Cádiz	11	12	15	17	19	22	24	25	23	19	16	12	17,9
Cantabria	9	9	11	12	14	17	19	19	18	15	12	10	13,8
Castellón	10	11	13	15	18	22	24	25	23	19	14	11	17,1
Ceuta	12	12	13	15	17	20	22	23	21	18	15	13	16,8
Ciudad Real	5	7	10	13	16	21	25	25	21	15	9	6	14,5
Córdoba	9	11	13	16	19	24	28	28	24	19	14	10	18,0
Cuenca	3	4	7	10	13	18	22	21	18	12	7	4	11,6
Girona	7	8	11	13	17	21	23	23	21	16	11	8	15,0
Granada	7	8	11	13	16	22	26	25	22	16	12	8	15,5
Guadalajara	3	6	9	12	16	20	24	23	20	14	8	5	13,4
Guipúzcoa	8	8	11	12	16	17	15	19	18	15	11	8	13,2
Huelva	11	12	14	18	19	22	25	25	23	19	15	12	17,9
Huesca	5	6	10	12	16	20	23	22	19	14	9	5	13,5
Jaén	8	10	12	14	18	24	28	27	23	18	13	9	17,0
León	3	4	8	10	12	17	20	19	17	12	7	4	11,1
Lleida	5	9	11	12	16	20	24	24	22	15	8	7	14,4
Lugo	6	7	9	11	13	16	18	17	17	13	9	6	11,9
Madrid	5	6	10	13	16	21	24	24	20	14	9	6	14,0
Málaga	12	13	15	16	19	23	25	26	23	20	16	13	18,4
Melilla	12	13	14	16	18	22	24	25	23	19	16	13	17,9
Murcia	11	12	14	16	19	23	26	26	24	19	14	12	18,0
Navarra	5	5	9	11	14	18	20	20	18	13	8	5	12,2
Ourense	7	7	11	13	16	19	22	21	19	14	9	7	13,8
Palencia	3	5	8	10	13	18	21	21	18	12	7	4	11,7
Las Palmas	18	20	19	20	20	21	24	24	26	23	22	20	21,4
Pontevedra	9	10	12	14	16	18	20	20	18	15	12	9	14,4
La Rioja	5	6	10	12	15	19	22	21	19	14	9	6	13,2
Salamanca	4	5	8	10	14	18	21	21	18	12	7	4	11,9
Sta.C.Tenerife	17	17	18	19	20	22	24	25	24	23	20	18	20,6
Segovia	2	4	8	10	13	18	22	21	17	12	7	3	11,5
Sevilla	10	12	15	17	20	25	28	28	25	20	15	11	18,9
Soria	2	3	7	9	12	16	20	19	16	11	6	3	10,4
Tarragona	9	10	12	14	17	20	23	23	21	18	13	10	15,9
Teruel	2	3	7	9	13	17	19	19	17	11	7	3	10,6
Toledo	6	7	11	13	17	22	26	25	21	15	10	6	15,0
Valencia	10	11	13	15	18	22	24	24	22	18	14	11	16,9
Valladolid	3	5	9	11	14	18	21	20	18	13	8	4	12,0
Vizcaya	7	11	11	11	14	16	18	19	18	16	12	12	13,8
Zamora	4	5	9	11	14	19	22	21	18	13	7	4	12,3
Zaragoza	6	8	11	14	17	21	23	24	21	15	10	7	14,8

población	comarca	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	media
Sagunt	El Camp de Morvedre	11,1	11,3	13,8	15,9	18,8	22,9	24,9	22,9	22,9	19,5	14,6	11,6	17,5
Liria	El Camp de Túria	10,0	10,8	13,4	15,2	18,4	22,9	25,1	25,6	22,5	18,9	13,2	10,6	17,2
Villar del Arzobispo	Els Serrans	8,1	9,6	11,6	13,4	16,6	21,6	23,6	23,8	20,7	16,6	11,4	8,8	15,5
Enguera	La Canal de Navarrés	6,2	7,9	10,6	12,4	16,0	21,2	23,8	24,0	20,3	16,0	9,3	7,1	14,6
Moixent	La Costera	6,4	7,4	11,9	14,5	18,1	23,0	26,0	24,8	22,2	18,3	11,8	7,4	16,0
Xàtiva	La Costera	10,3	11,6	14,4	16,4	19,9	24,8	27,1	27,0	23,7	19,7	13,6	11,2	18,3
Buñol	La Foia de Bunyol	6,6	8,3	11,2	12,9	16,2	21,1	23,5	23,7	20,5	16,2	10,2	7,3	14,8
Requena (La Portera)	La Plana d'Utiel-Requena	7,5	7,8	11,9	13,8	17,3	22,5	25,4	25,5	21,6	16,2	11,5	8,4	15,8
Alzira	La Ribera Alta	11,0	12,0	14,5	16,9	19,8	24,0	26,4	26,7	23,7	20,0	14,4	11,5	18,4
Carrícola	La Vall d'Albaida	10,0	11,1	14,0	16,0	19,1	24,0	26,6	26,7	23,3	19,1	13,3	11,0	17,9
Ontinyent	La Vall d'Albaida	8,5	9,7	12,7	14,6	17,9	22,9	25,6	25,6	22,1	17,9	11,7	8,9	16,5
Jalance	La Vall d'Ayora	7,7	9,3	12,6	14,7	18,4	23,7	26,4	26,4	22,4	17,6	11,4	8,1	16,6
Sueca	La Ribera Baixa	12,4	13,0	15,5	17,6	20,3	24,4	26,7	26,9	24,2	20,9	15,7	13,1	19,2
Oliva	La Safor	11,1	11,5	13,9	16,3	18,9	23,1	25,7	26,0	23,3	19,6	14,7	12,2	18,0
Picanya	L'Horta Oest	11,1	11,6	14,2	16,2	19,1	23,3	25,4	25,9	23,2	20,1	14,6	12,0	18,1
Ademuz	Racó d'Ademús	4,9	6,4	9,7	11,3	15,3	20,3	22,7	22,5	19,0	14,2	8,0	5,0	13,3
València	València	11,9	12,7	15,1	16,9	19,7	24,0	26,1	26,5	24,0	20,5	15,2	12,6	18,8

Província de València. Mitjana de les temperatures ambient (°C)
Font: Guia AVEN (Agència Valenciana de l'Energia)

5. b) Mètode F-CHART.

Passos:

- ④ En el procés iteratiu, començar amb una àrea de captació

$$S_c = 1,25 \text{ m}^2/\text{habitatge}$$

I volum d'acumulació: $50 < \frac{V}{A} < 100 \text{ l/m}^2$

- ⑤ Per al càlcul de la FS anual: coneguda la fracció solar mensual (f) i la demanda mensual (D_{mes}) calculem l'aportació mensual ($Q_{s(\text{mes})}$)

$$FS_{\text{anual}} = \frac{Q_s(\text{anual})}{DE(\text{anual})} = \frac{\sum Q_{s(\text{mes})}}{\sum DE_{\text{mes}}}$$

5. b) Mètode F-CHART.

Programes en línia:

1) <http://konstruir.com/c.t.e/he-4-contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/index.php> (encara no adaptat a les modificacions del CTE de setembre del 2013)

2) http://www.fotovoltaica.com/cen_fchart/cen_fchart.htm

Exemples d'utilització:

<http://konstruir.com/c.t.e/he-4-contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/ejemplos.php>

5. b) Mètode F-CHART.

8 habitatges unifamiliars amb 3 dormitoris, situats a València, amb energia de suport basada en gas natural. Considereu que els captadors utilitzats són WIESSMANN VITOSOL 200F SV2 (l'enllaç 1 encara no està adaptat a les modificacions del CTE de setembre del 2013)

PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE POR MEDIO DE ENERGÍA SOLAR CTE DB-HE-4

Cálculos de superficie de captación para la producción de agua caliente sanitarias, con el objetivo de cumplir con la contribución marcada por la fracción solar mínima establecida en el CTE.

DATOS DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONSUMO.

La tipología de edificio es : **Viviendas unifamiliares**
 El edificio dispone de :8 viviendas con 3 dormitorios, para lo que el CTE establece 4 personas por vivienda. Con lo que nos resulta un número de 32 personas.
 Con un consumo previsto de 30 litros por persona.
 La Temperatura de utilización prevista es de 60 °C.
 Consumo total = 960 litros por día.

28 litros



DATOS GEOGRÁFICOS

Provincia:	VALENCIA
Latitud de cálculo:	40°
Zona Climática :	IV

Los porcentajes de utilización a lo largo del año previstos son:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
% de ocupación:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

CÁLCULO DE LA DEMANDA DE ENERGIA

	CÁLCULO ENERGÉTICO											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Días por mes:	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Consumo de agua [L/día]:	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960
Tª. media agua red [°C]:	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8
Incremento Ta. [°C]:	52	51	49	47	46	45	44	45	46	47	49	52
Demán. Ener. [KWh]:	1.795	1.590	1.692	1.570	1.588	1.503	1.519	1.553	1.537	1.623	1.637	1.795

Total demanda energética anual: 19.402 KWh

DATOS RELATIVOS AL SISTEMA

DATOS DEL CAPTADOR SELECCIONADO		Factor de eficiencia óptica	
Modelo	WIESSMANN VITOSOL 200F SV2	Coefficiente global de pérdidas	3,359 W/(m²·°C)
Dimensiones:	1,056 m x 2,38 m.	Área Útil	2,33 m².

6 captadores con un área útil de captación de 13.98 m2. Volumen de acumulación ACS de 980 l

Datos de posición

Inclinación:	45 °
Desorientación con el sur:	0 °

Pérdidas en el caso General

Pérdidas por inclinación. (óptima 40°)	1,09%
Pérdidas por desorientación con el sur:	0,00%
Pérdidas por sombras	0 %

Se hace un cálculo de pérdida por orientación con respecto a Sur a través de la formula $\rho = 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot a^2$.

Se hace un cálculo del valor de pérdidas por inclinación del captador, diferente a la óptima (la latitud 40°), a partir de una media ponderada de los valores de pérdida por inclinación comparados con la orientación óptima. Los datos de pérdida por inclinación sobre una superficie horizontal se han extraído de las tablas Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE. Contienen datos en intervalos de 5°, por ello nos calculan pérdidas en función a ese incremento.

Constantes consideradas en el cálculo

Factor corrector conjunto captador-intercambiador	0.95
Modificador del ángulo de incidencia	0.96
Temperatura mínima ACS	45°

CÁLCULO ENERGÉTICO MEDIANTE EL METODO F-CHART

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Rad. horiz. [kWh/m2-mes]:	65,41	82,32	128,34	150,90	177,32	189,90	204,91	178,25	139,20	103,23	72,60	56,73
Coef. K. incl[45°] lat[40°]	1,40	1,29	1,15	1,01	0,91	0,88	0,92	1,03	1,20	1,39	1,52	1,50
Rad. inclin. [kWh/m2-mes]:	91,57	106,19	147,59	152,41	161,36	167,11	188,52	183,60	167,04	143,49	110,35	85,10
Demán. Ener. [KWh]:	1.795	1.590	1.692	1.570	1.588	1.503	1.519	1.553	1.537	1.623	1.637	1.795
Ener. Ac. Cap. [KWh/mes]:	953	1.105	1.536	1.586	1.679	1.739	1.961	1.910	1.738	1.493	1.148	885
D1=EA/DE	0,53	0,69	0,91	1,01	1,06	1,16	1,29	1,23	1,13	0,92	0,70	0,49
K1	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
K2	0,80	0,83	0,89	0,94	0,94	0,92	0,93	0,88	0,87	0,89	0,87	0,79
Ener. Per. Cap. [KWh/mes]:	2,443	2,254	2,599	2,616	2,599	2,338	2,389	2,259	2,212	2,468	2,440	2,365
D2=EP/DE	1,36	1,42	1,54	1,67	1,64	1,55	1,57	1,45	1,44	1,52	1,49	1,32
f	0,40	0,52	0,65	0,71	0,74	0,80	0,87	0,84	0,79	0,66	0,52	0,37
EU=f'DE	709	820	1.104	1.112	1.172	1.201	1.319	1.311	1.217	1.073	844	661

Total producción energética útil anual: 12.543 KWh

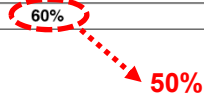
5. b) Método F-CHART.

RESULTADOS

RESULTADO OBTENIDOS	
Total demanda energética anual:	19.402 kWh
Total producción energética útil anual:	12.543 kWh
Factor F anual aportado de:	65%

EXIGENCIAS DEL CTE	
Zona climática tipo:	IV
Sistema de energía de apoyo tipo:	General: gasóleo, propano, gas natural, u otras
Contribución Solar Mínima:	60%

CUMPLE LAS EXIGENCIAS DEL CTE



EXIGENCIAS DEL CTE Respecto al límite de pérdidas por orientación o inclinación			
	Orien. e incl.	Sombras.	Total
Pérdida permitidas en CTE. Caso General	10%	10%	15%
Pérdida en el proyecto	1,09%	0,00%	1,09%

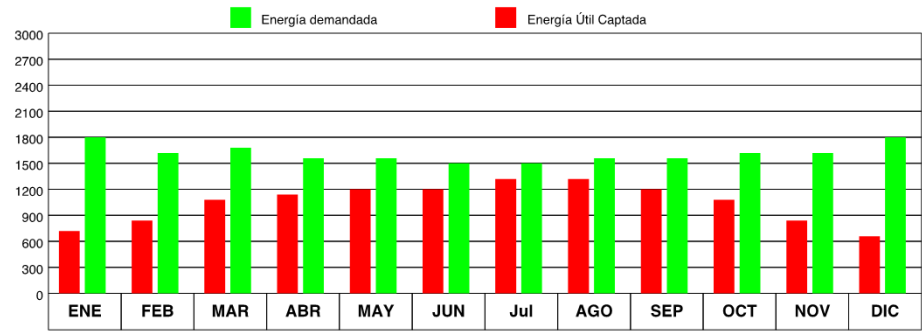
CUMPLE LAS EXIGENCIAS DEL CTE

CÁLCULO ENERGÉTICO												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Jul	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Deman. Ener.[kWh/mes]:	1.795	1.590	1.692	1.570	1.588	1.503	1.519	1.553	1.537	1.623	1.637	1.795
Ener. Util cap.[kWh/mes]:	709	820	1.104	1.112	1.172	1.201	1.319	1.311	1.217	1.073	844	661
% ENERGIA APORTADA	40%	52%	65%	71%	74%	80%	87%	84%	79%	66%	52%	37%

Cumple la condición del CTE, no existe ningún mes que se produzca más del 110% de la energía demandada.

Cumple la condición del CTE, no existen 3 meses consecutivos que se produzca más de un 100% de la energía demandada.

GRAFICA COMPARATIVA DEMANDA-ENERGIA CAPTADA



Tema 4: Energia solar fotovoltaica



Índex

Estimació: 8 hores presencials i 8 hores no presencials

4.1. Panells fotovoltaics.

4.1.1. Principi de funcionament de les cèl·lules FV.

4.1.2. Característica I-V i la seua dependència amb la T i la radiació incident.

4.1.3. Components del panell.

4.1.4. Fabricació de panells.

4.1.5. Tipus.

4.1.6. Procediment de certificació.

4.2. Sistemes fotovoltaics.

4.2.1. Components del sistema: bateries, reguladors, convertidors CC/CC, inversors (CC/CA).

4.2.2. Tipus de sistemes fotovoltaics.

4.2.2.1. Sistema fotovoltaic aïllat.

4.2.2.2. Sistema fotovoltaic connectat a xarxa.

4.2.2.3. Sistema híbrid.

4.3. Aplicacions.

4.4. Dimensionament d'instal·lacions i normativa aplicable.

Objectius

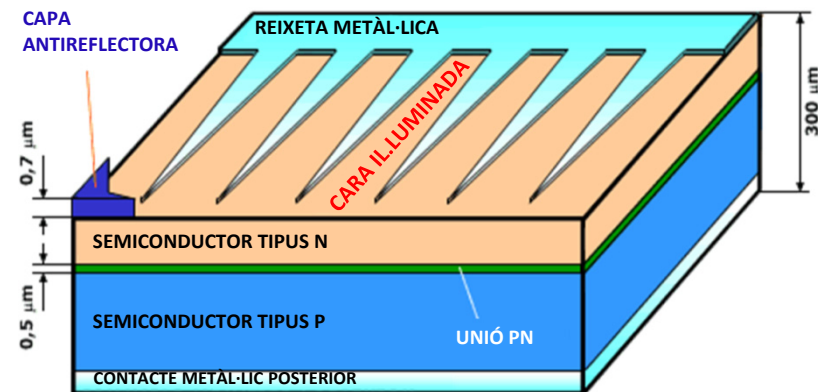
- Conèixer el funcionament d'una cèl·lula fotovoltaica, els materials constructius, processos de fabricació i tipus disponibles en el mercat.
- Descriure el comportament d'un panell solar (corbes característiques), els paràmetres que proporciona el fabricant, etc.
- Justificar la necessitat d'elements auxiliars per al funcionament de la instal·lació i descriure la seua utilitat:
 - Necessitat, funcionament, tipus i característiques de les bateries.
 - Necessitat, funcionament, tipus i característiques dels inversors.
 - Necessitat, funcionament, tipus i característiques dels reguladors.
 - Necessitat, funcionament, tipus i característiques d'altres elements auxiliars.

Objectius

- Diferenciar les diferents tipologies d'instal·lacions fotovoltaïques des del punt de vista de la producció energètica, la utilització i el servei que ofereixen.
- Explicar el procediment de càlcul dels sistemes fotovoltaïcs de generació elèctrica.
- Dimensionament dels diferents elements que componen els sistemes fotovoltaïcs més significatius.
- Reconèixer, interpretar i calcular les pèrdues energètiques que afecten aquestes instal·lacions.

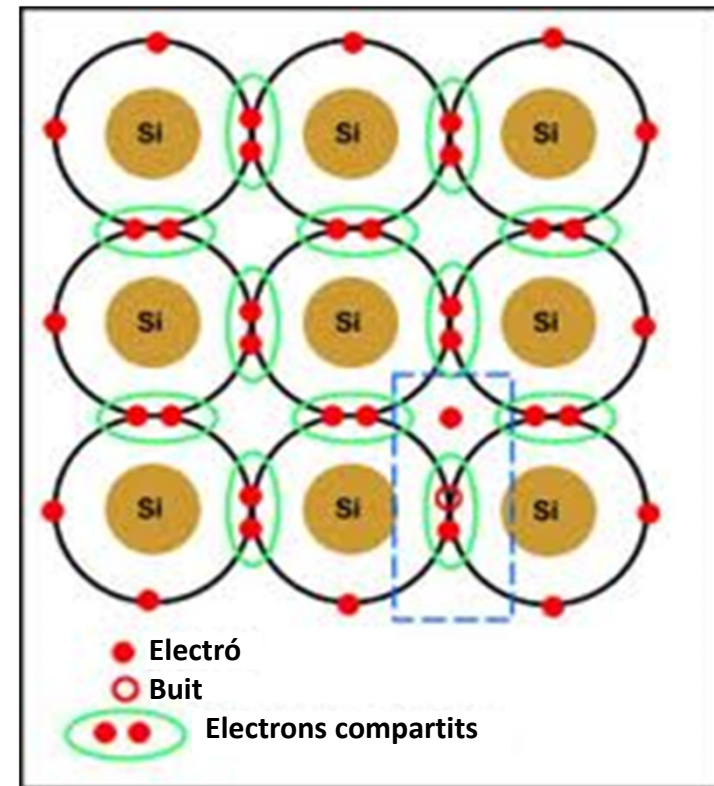
4.1. Principi de funcionament. Introducció.

- ❑ L'energia solar fotovoltaica es basa en la captació d'energia solar i la seua transformació en energia elèctrica per mitjà de cèl·lules fotovoltaiques.
- ❑ Es basa en l'**efecte fotoelèctric**, és a dir, en la conversió de l'energia lumínica procedent del sol en energia elèctrica.
- ❑ Els panells fotovoltaics estan formats per dispositius semiconductors de tipus díode en els quals, en rebre radiació solar (fotons d'energia), es produeixen salts energètics dels electrons que donen lloc a una petita diferència de potencial entre extrems del dispositiu.



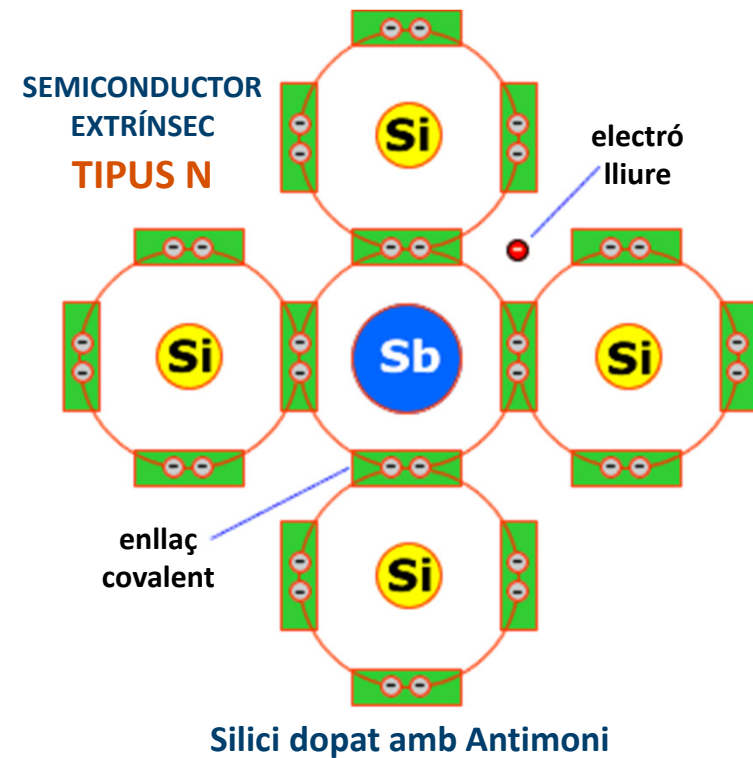
Principi de funcionament: Unió p-n (I)

- El silici té 14 electrons dels quals 4 són de valència, que estan disponibles per a unir-se amb electrons de valència d'altres àtoms.
- En un cristall de silici químicament pur, cada àtom comparteix els seus 4 electrons de valència amb els seus 4 àtoms veïns mitjançant enllaços covalents → no hi ha quasi electrons lliures.
- Únicament uns pocs electrons aconseguen alliberar-se per vibració dels enllaços en augmentar la temperatura i deixen un buit o absència d'electró.



Principi de funcionament: Unió p-n (II)

- **Semiconductor tipus n:**
 s'introdueixen àtoms de fòsfor o antimoni (5 electrons de valència) en el cristall de silici → 4 electrons s'utilitzaran en enllaços covalents amb àtoms de Si adjacents i el cinquè pot ser separat de l'àtom de fòsfor amb molt poca energia (l'energia tèrmica a temperatura ambient és ja suficient) i tenir llibertat de moviment en el reticle del cristall.
- Els portadors de càrrega majoritaris són electrons.

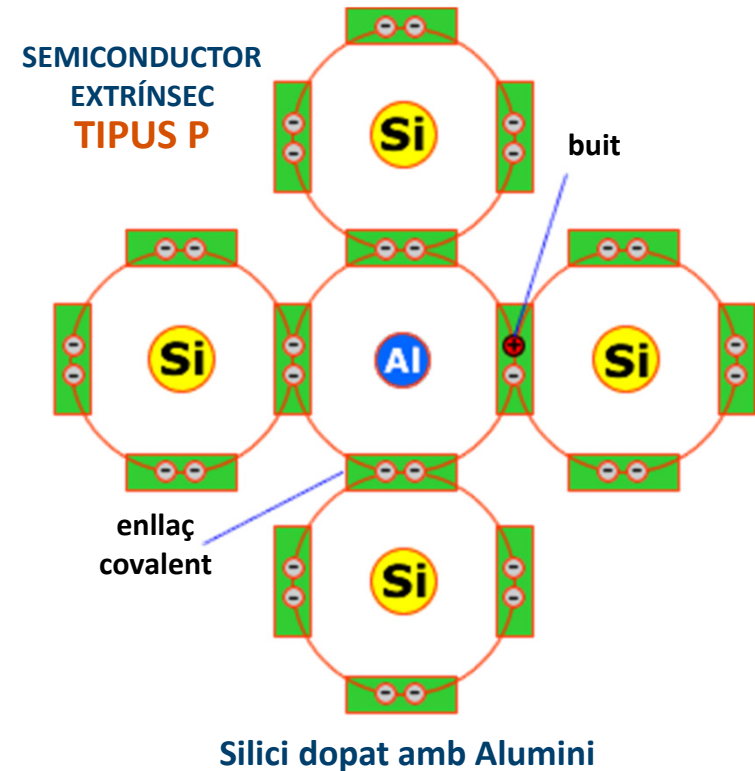


Principi de funcionament: Unió p-n (III)

□ Semiconductor tipus p:

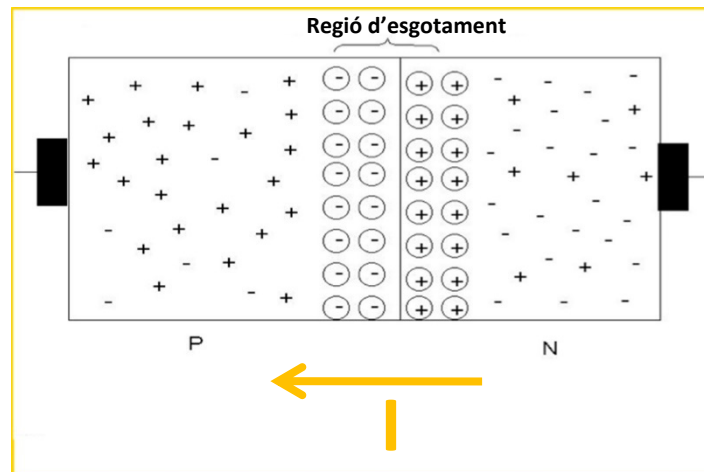
s'introdueixen àtoms d'alumini o bor (3 electrons de valència) en el cristall de silici → faltará un electró per a completar l'enllaç amb els àtoms adjacents de Si → buit.

- Els portadors de càrrega majoritaris són buits.



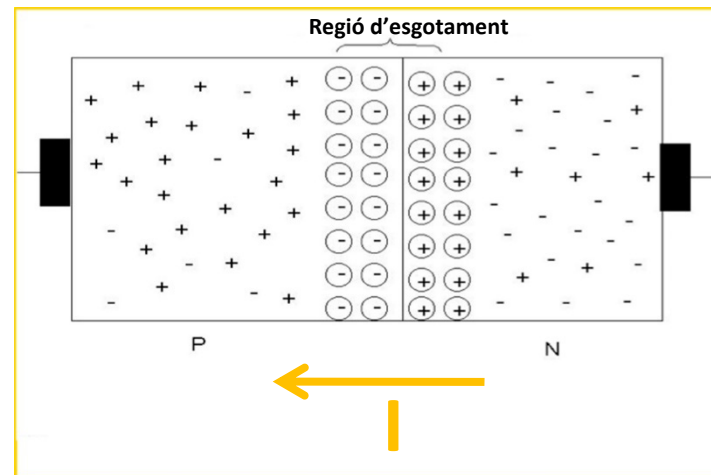
Principi de funcionament: Unió p-n (IV)

- **Unió p-n:** A causa de la gran concentració d'electrons en la part N i buits en la part P, es produirà una **difusió** de buits de la regió P a la N i d'electrons de la N a la P.
- Els electrons de la zona N que passen a la P es recombinaran amb buits d'aquesta regió pròxims a la unió. En desaparèixer aquests buits, la càrrega iònica dels àtoms dopants queda descompensada resultant en una càrrega iònica fixa negativa. D'altra banda, els buits de la zona P passen a la N on es recombinaran amb electrons d'aquesta regió. La desaparició d'aquests electrons dóna lloc a una càrrega iònica fixa positiva.



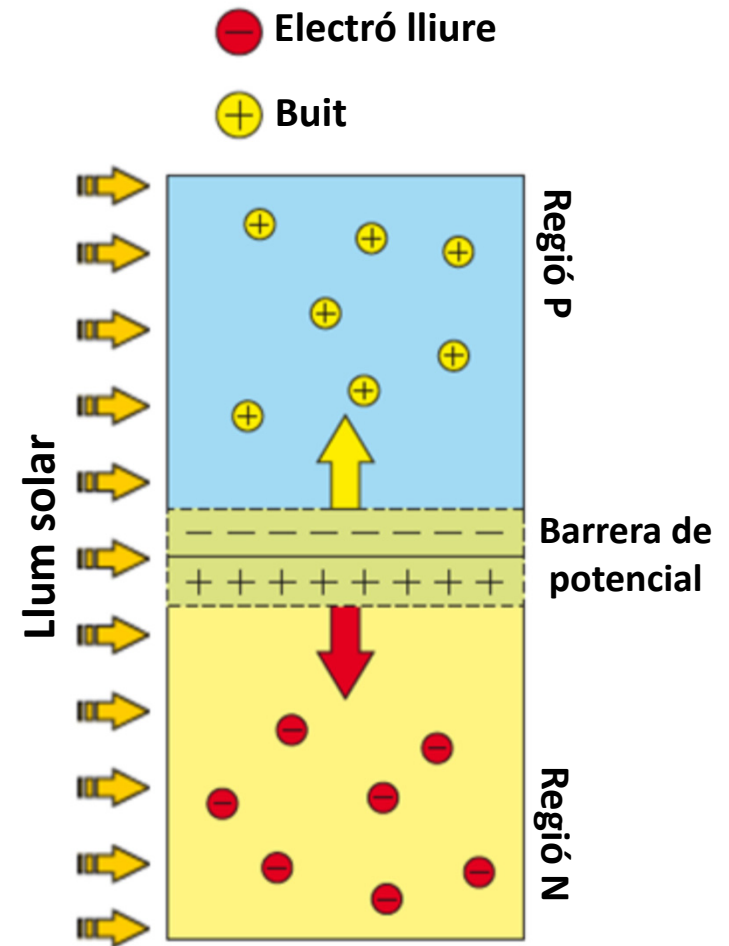
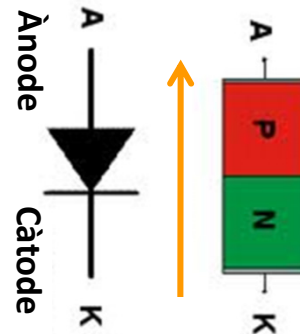
Principi de funcionament: Unió p-n (IV).

- Resultat: En les proximitats de la unió es produirà una zona de càrregues iòniques fixes (negativa en la zona P i positiva en la N) que dóna lloc a un camp elèctric dirigit de la zona N a la P que s'oposa als moviments de difusió, fins que s'aconsegueix l'equilibri. Perquè continue existint corrent (de portadors majoritaris) hem d'aplicar una tensió en sentit contrari a aquest camp (tensió positiva entre ànode i càtode) → funcionament com a díode.



Principi de funcionament: Efecte fotovoltaic (I)

- Quan incideix radiació solar sobre la cèl·lula, els parells electró-buit generats per absorció de fotons són separats pel camp elèctric de la unió "P-N", evitant que aquests es recombinen, i portant els electrons a la zona "N" i els buits a la zona "P". Aquesta acumulació de càrrega produeix una diferència de potencial que s'oposa a la barrera de potencial abans generada.

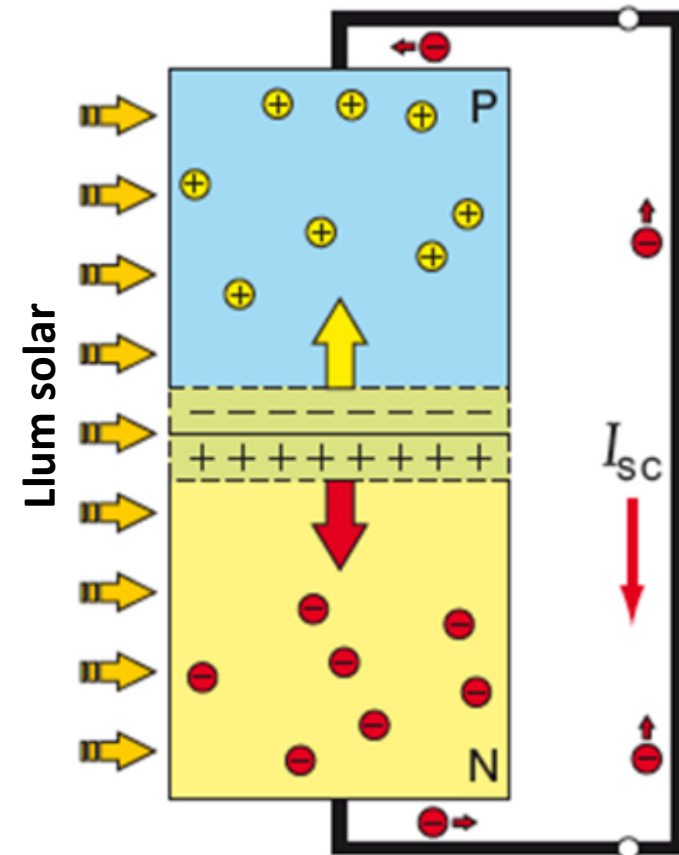


- Per a garantir que el nombre de recombinacions siga el menor possible i aprofitar la majoria de les càrregues lliures produïdes, el nombre de "paranys" o defectes del cristall ha de ser el menor possible. Açò s'aconsegueix utilitzant cristalls de silici pur o silici monocristal·lí.

Principi de funcionament de la cèl·lula solar (II)

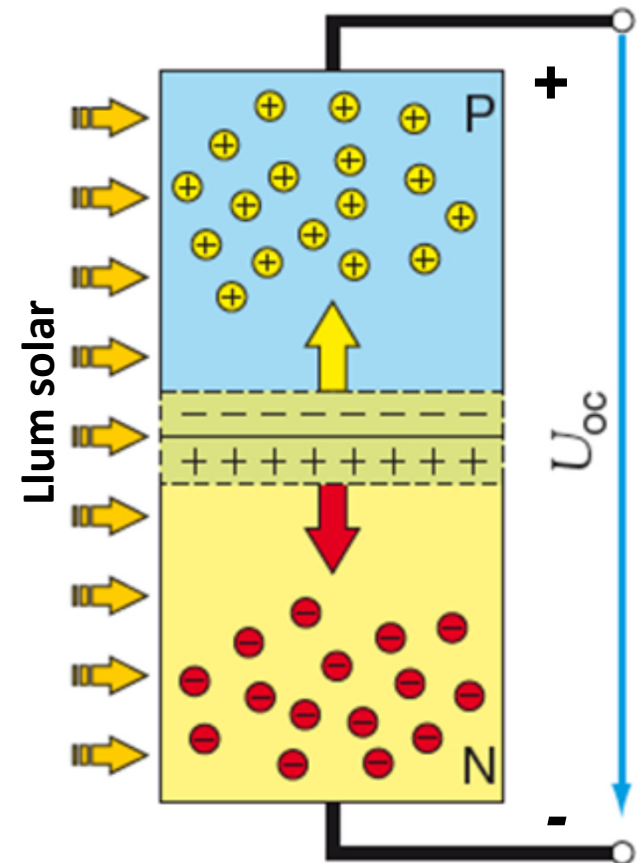
- Si curtcircuitem la cèl·lula, els electrons de la regió N es desplacen a través del conductor i es recombinen amb els buits de la zona P. El corrent que circularà pel conductor es mantindrà mentre que estiga il·luminat; el corrent és proporcional a la il·luminació. Aquest corrent rep el nom de corrent de curtcircuit, I_{sc} .

CORRENT DE CURTCIRCUIT (I_{sc}): Màxim valor de corrent que circula per una cèl·lula fotovoltaica i es dóna quan la cèl·lula està en curtcircuit.



Principi de funcionament de la cèl·lula solar (III)

- El camp elèctric de la unió “P-N” separa els parells electró-buit generats produint-se una acumulació d’electrons en el costat N i buits en el costat P.
- Si la cèl·lula està en circuit obert, la diferència de potencial generada per aquesta acumulació de càrregues afavoreix els processos de difusió-recombinació tendint, per contra, a portar els electrons cap a la regió P i els buits cap a la regió N.
- L’acumulació de càrregues, per tant, tindrà un límit que dependrà de la dificultat dels portadors de càrrega per a trobar-se i recombinar-se a l’interior del semiconductor.

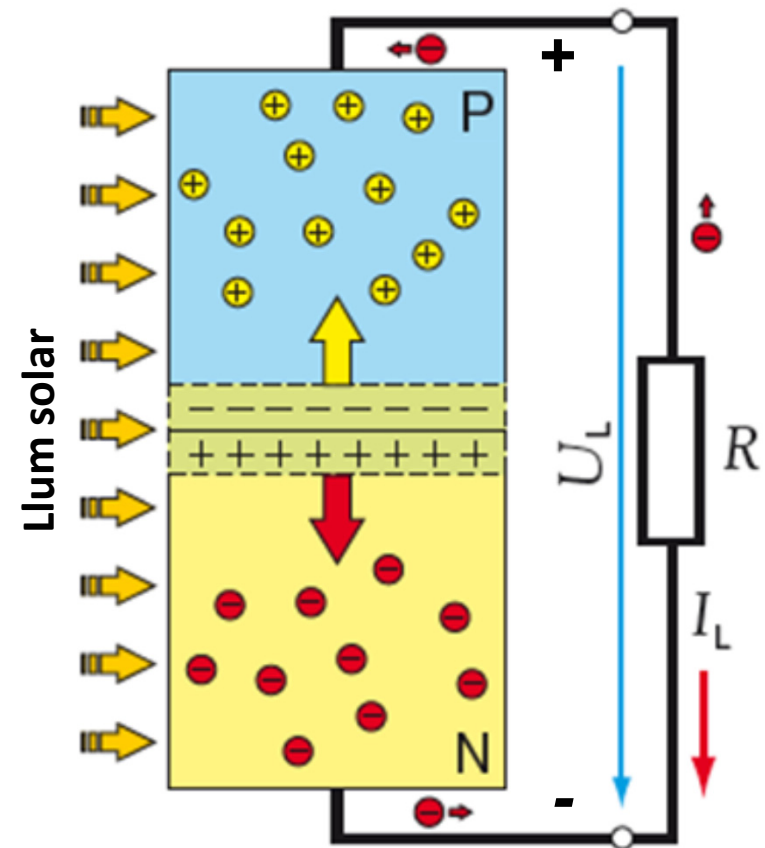


TENSIÓ DE CIRCUIT OBERT (V_{oc}): És el màxim valor de tensió en extrems de la cèl·lula i es dona quan aquesta no està connectada a cap càrrega.

Principi de funcionament de la cèl·lula solar (IV)

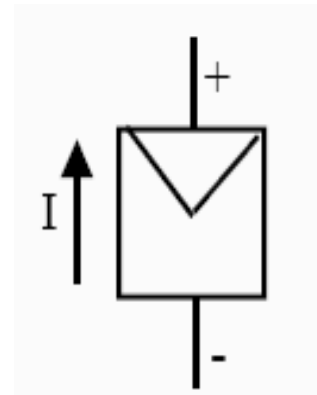
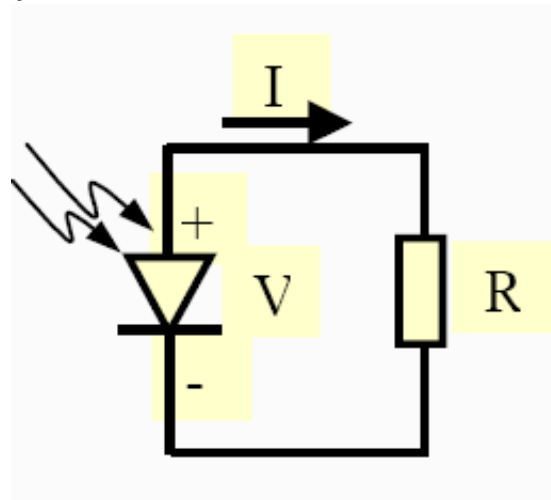
- Si es connecta una determinada càrrega, aquesta resistència condicionarà la diferència de potencial generada per la cèl·lula.

- Si R és gran, hi haurà una acumulació major de portadors en la unió PN, augmentant la diferència de potencial sobre la resistència i incrementant la recombinació de portadors en la cèl·lula.
- Si R és petita, la majoria dels portadors circularan pel circuit exterior, reduint l'acumulació de portadors en la unió PN i disminuint la diferència de potencial sobre la resistència.



La cèl·lula FV i el seu símbol

- La cèl·lula solar es pot veure com un díode, en general de silici, dissenyat per a maximitzar l'absorció de fotons i minimitzar la reflexió.
- Quan es connecta una cèl·lula solar a una resistència de càrrega i s'il·lumina, circula un corrent I en el sentit càtode-ànode (invers al del díode convencional).



SÍMBOL

4.1.2. Característica I-V de les cèl·lules FV i la seua dependència amb la temperatura i la radiació.

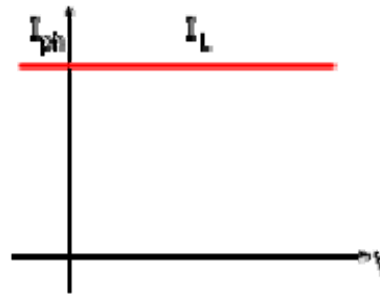


Equació característica de la cèl·lula FV (I)

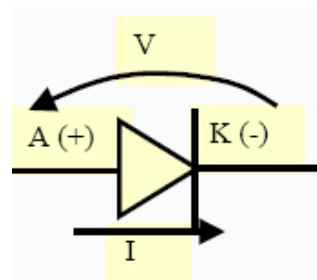
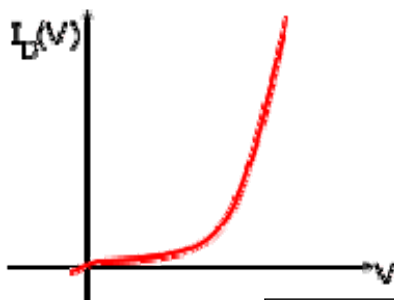
□ El corrent que s'entrega a la càrrega és la suma de:

- **Corrent d'il·luminació:** degut a la generació de portadors que produeix la il·luminació.

$$I_{ph} = I_L$$



- **Corrent de foscó:** degut a la recombinació de portadors que produeix la tensió generada entre extrems del dispositiu en entregar corrent a una càrrega.



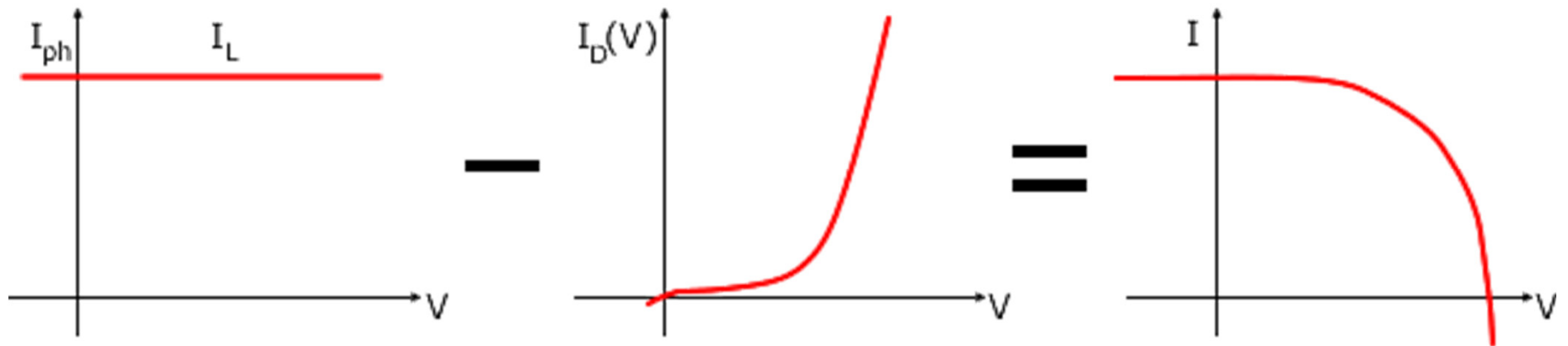
$$I = I_S \cdot \left[e^{\frac{e \cdot V}{m \cdot k \cdot T}} - 1 \right]$$

I_S : corrent de saturació de foscó.
 V : tensió generada.
 e : càrrega de l'electró ($1,6 \cdot 10^{-19}C$).
 k : constant de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}J/K$).
 T : temperatura absoluta.
 m : factor d'idealitat del díode (entre 1 i 1,2).
 $V_T = mkT/e$: potencial tèrmic (25,7mV per al silici a 25°C).

Equació característica de la cèl·lula FV (II)

- La combinació:

CARACTERÍSTICA I-V D'ILUMINACIÓ

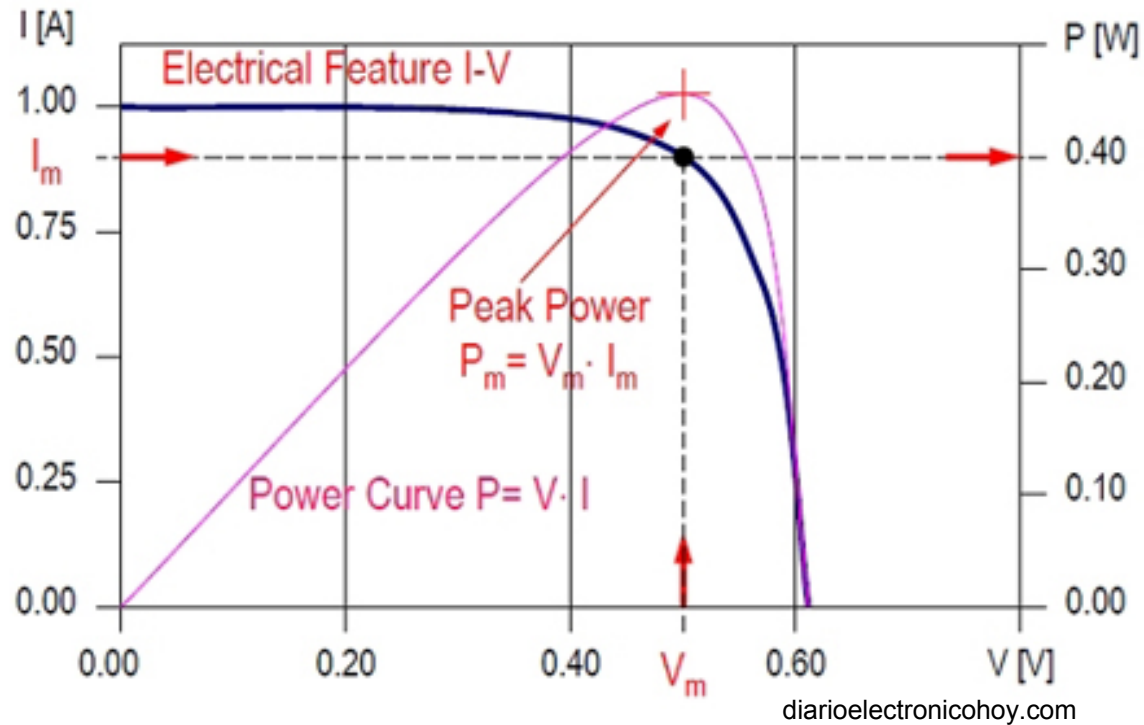


$$I_{ph} = I_L$$

$$I = I_S \cdot \left[e^{\frac{e \cdot V}{m \cdot k \cdot T}} - 1 \right]$$

$$I = I_L - I_S \cdot \left[e^{\frac{e \cdot V}{m \cdot k \cdot T}} - 1 \right]$$

Corba característica I-V de la cèl·lula fotovoltaica

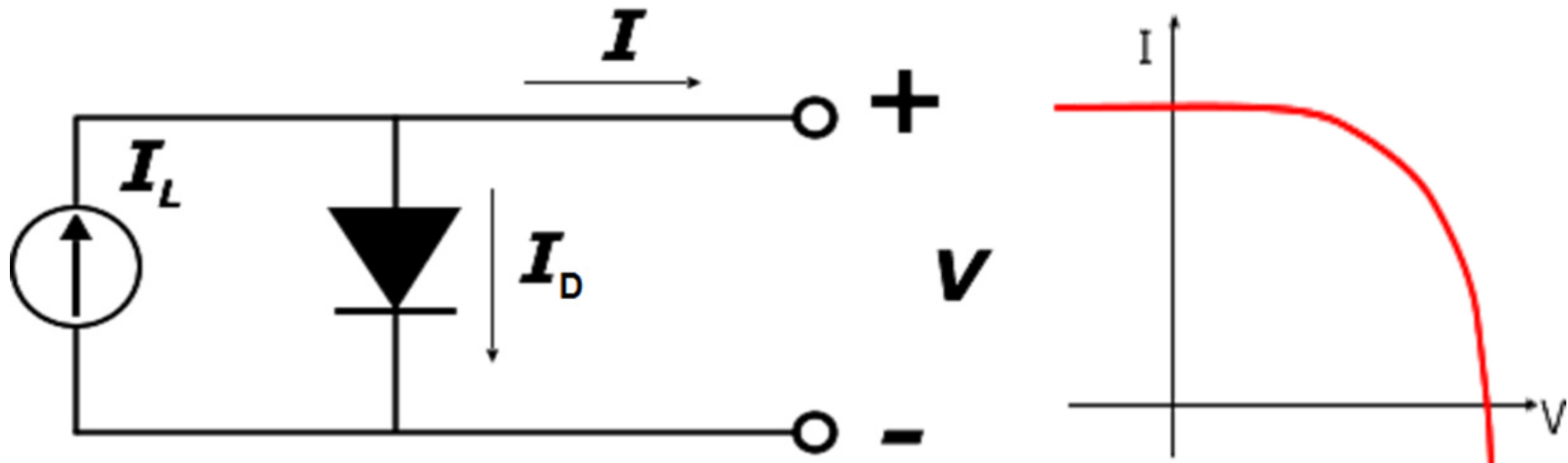


- Per a tenir una idea de l'ordre de magnitud, es pot dir que una cèl·lula fotovoltaica de silici monocristal·lí genera un voltatge de circuit obert (V_{OC}) entorn dels 0,6 V i un corrent de curtcircuit (I_{SC}) que depèn de l'àrea de la cèl·lula (aproximadament 3 A per a una àrea de 100 cm²).

Model ideal de la cèl·lula fotovoltaica

- El model o circuit equivalent ideal d'una cèl·lula fotovoltaica es representa per una font de corrent en paral·lel amb un díode.

CIRCUIT EQUIVALENT DEL DISPOSITIU INTRÍNSEC



$$I = I_L - I_S \cdot \left[e^{\frac{e \cdot V}{m \cdot k \cdot T}} - 1 \right]$$

Paràmetres característics (I)

- **TENSIÓ DE CIRCUIT OBERT (V_{oc}):** és el màxim valor de tensió en extrems de la cèl·lula i es dóna quan aquesta no està connectada a cap càrrega.

$$V_{oc} = V(I = 0) = \frac{m \cdot k \cdot T}{e} \cdot \ln \left[1 + \frac{I_L}{I_s} \right] \sim 0,6 \text{ V per a cèl·lules de Si} \\ \text{i 1 V en cèl·lules de GaAs.}$$

- **CORRENT DE CURTCIRCUIT (I_{sc}):** definit com el màxim valor de corrent que circula per una cèl·lula fotovoltaica i es dóna quan la cèl·lula està en curtcircuit.

$$I_{sc} = I(V = 0) = I_L \sim 10\text{-}35 \text{ mA/cm}^2 \text{ de la cèl·lula.}$$

Paràmetres característics (II)

- **PUNT DE MÀXIMA POTÈNCIA "PMP" (P_m):** És el producte del valor de tensió (V_{mp}) i intensitat (I_{mp}) per als que la potència lliurada a una càrrega és màxima.

$$P_m = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad / \quad \frac{dP}{dV} = 0$$

Aquesta és la potència que proporciona el fabricant i la dóna en unitats de Wp – watts de pic.

- **FACTOR DE FORMA (FF):** Es defineix com el quocient entre la potència màxima que es pot lliurar a una càrrega i el producte de la tensió de circuit obert i el corrent de curtcircuit, és a dir:

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

Sol variar entre 0,7 i 0,8.

Paràmetres característics (III)

- **EFICIÈNCIA DE CONVERSIÓ ENERGÈTICA O RENDIMENT:** 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 :

$$\eta = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{P_L} = \frac{FF \cdot I_{SC} \cdot V_{OC}}{P_L}$$

$$P_L = A \cdot G_{sol}$$

Factors que afecten el rendiment de la cèl·lula (I)

- ❑ **Energia dels fotons incidents:** per a generar els parells electró-buit és necessari que els fotons que arriben a la cèl·lula tinguin una determinada energia (major que el gap). En la radiació solar, una part dels fotons incidents no tenen suficient energia, i per això es perden; uns altres tenen una energia major, i per això es perd aquest excés. Un **50% de l'energia incident** es perd per aquest motiu.
- ❑ **Pèrdues per recombinació** (parells que es recombinen abans de passar a l'exterior): el procés de recombinació depèn dels defectes de l'estructura cristal·lina del semiconductor, com més pur siga, aquestes pèrdues seran menors (+ o – un **15%**).

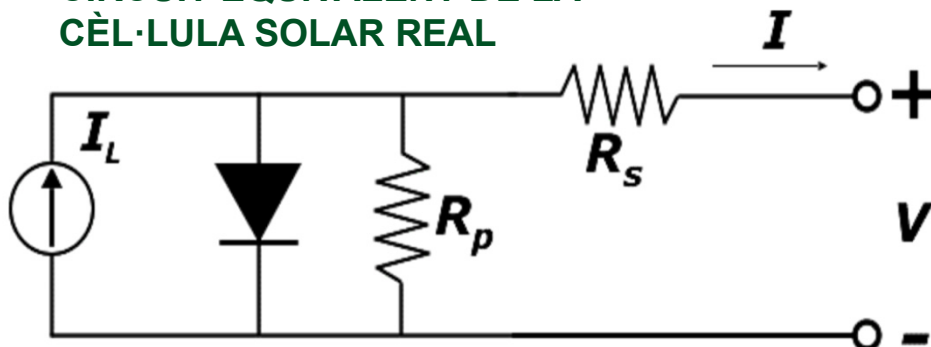
Factors que afecten el rendiment de la cèl·lula (II)

- ❑ **Pèrdues per reflexió parcial:** Part de la llum que incideix sobre la cèl·lula és reflectida per la superfície d'aquesta, per la qual cosa es perd (es perdria un 30%). Per a evitar aquesta pèrdua s'utilitzen capes antireflectores i **superfícies rugoses** (amb aquestes capes les pèrdues queden en aproximadament un **10%**) en la fabricació de les cèl·lules.
- ❑ **Pèrdues pels contactes elèctrics:** El fet de dotar la cèl·lula solar d'uns contactes que canalitzen els electrons alliberats cap al circuit exterior, fa que **part de la seua superfície de captació es veja tapada per aquesta reixeta** de contactes elèctrics, que no són transparents i, en definitiva, **resten il·luminació**. Les pèrdues per aquest concepte poden avaluar-se, com a mitjana, en **un 8%**, ja que depenen del disseny.

Factors que afecten el rendiment de la cèl·lula (III)

- ❑ **Pèrdues per resistència sèrie (R_s):** Són degudes a l'efecte Joule que es produeix en circular el corrent elèctric a través del component, produint un escalfament. Representen sobre el conjunt un **2%-3%**. La resistència sèrie té en compte la resistència dels semiconductors p i n juntament amb la dels contactes elèctrics.
- ❑ **Resistència en paral·lel (R_p):** Representa bàsicament fuites de corrent que poden produir-se per la superfície de les vores de la cèl·lula o bé ser degudes a la presència de defectes de fabricació en l'estructura cristal·lina o a petits curtcircuits metàl·lics locals, etc.
- ❑ **El circuit equivalent resultant en afegir aquestes pèrdues és:**

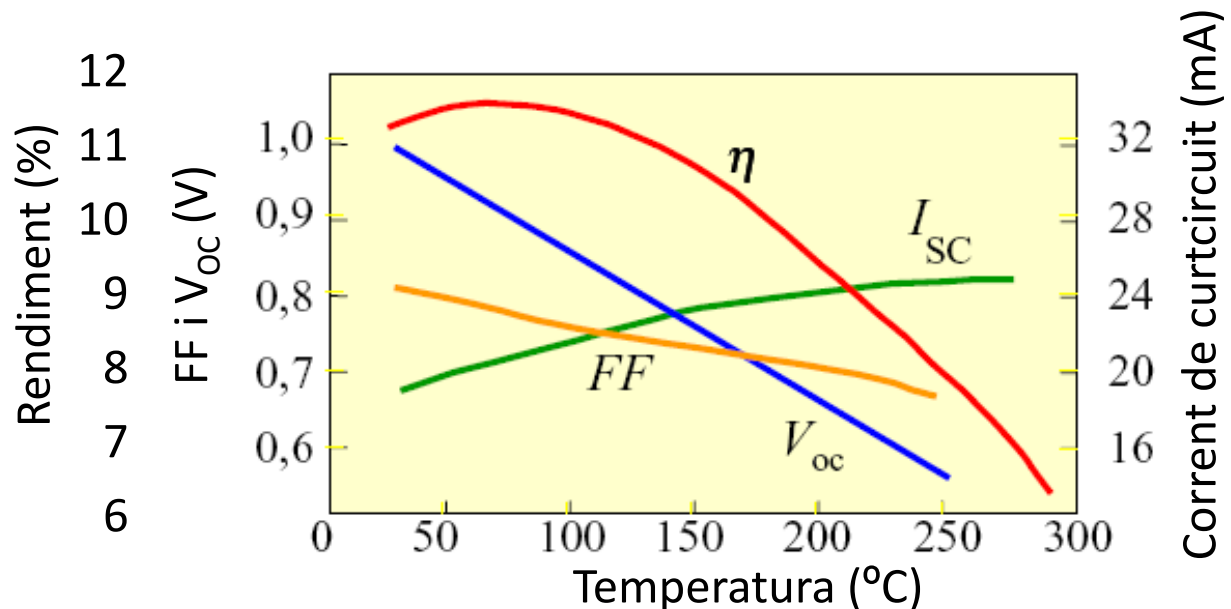
CIRCUIT EQUIVALENT DE LA CÈL·LULA SOLAR REAL



$$I = I_L - I_S \cdot \left[e^{\frac{V + I \cdot R_s}{V_T}} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p}$$

Factors que afecten la característica I-V

- La corba característica I-V del generador fotovoltaic es veu afectada per factors ambientals com la **intensitat d'il·luminació (irradiància)**, la **temperatura** i la **distribució espectral de la llum**.
- El funcionament de la cèl·lula empitjora en augmentar la seua temperatura:
 - Augmenta lleugerament la intensitat de curtcircuit.
 - Disminueix la tensió de circuit obert, aproximadament $-2.3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
 - El factor de forma disminueix.
 - El rendiment decreix.



Factors que afecten la característica I-V (Irradiància)

- **Efecte de la intensitat d'il·luminació (Irradiància):** Afecta principalment el corrent de curtcircuit, de manera que es pot considerar que el corrent de curtcircuit del generador fotovoltaic és proporcional a la irradiància:

$$I_{sc}(E_2) = I_{sc}(E_1) \cdot \frac{E_2}{E_1}$$

$I_{sc}(E_1)$ és el corrent de curtcircuit per a un nivell d'irradiància E_1 .

$I_{sc}(E_2)$ és el corrent de curtcircuit per a un nivell d'irradiància E_2 .

Equació vàlida per a variacions d'irradiància a temperatura constant; és una aproximació quan aquesta varia. Pot considerar-se una expressió adequada per a un càlcul aproximat de I_{sc} a diferents irradiàncies, ja que l'error comès és inferior al 0,5%.

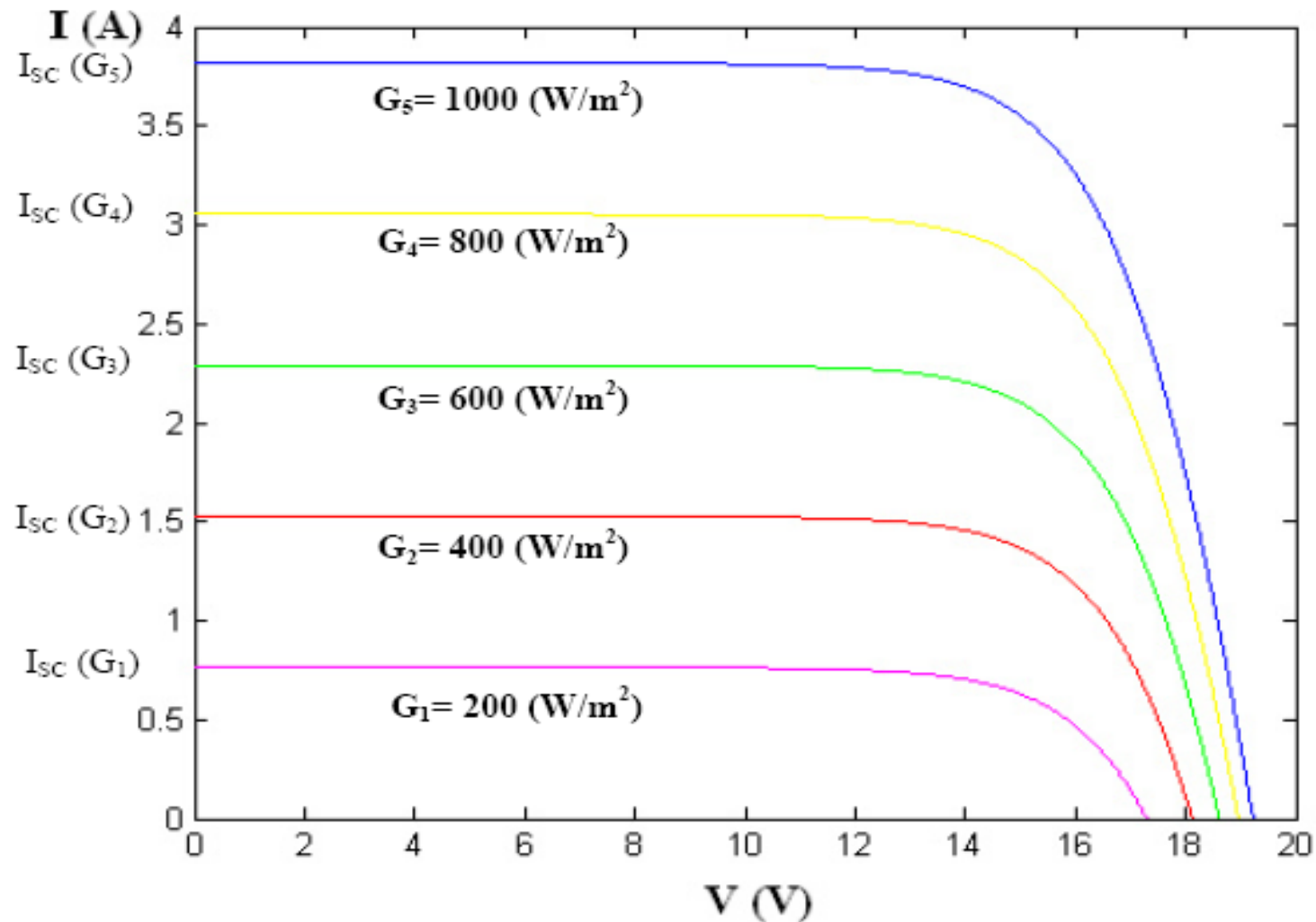
- La tensió de circuit obert varia molt poc amb la irradiància.

$$V_{OC,2} = V_{OC,1} + m \cdot \frac{k \cdot T}{e} \cdot \ln\left(\frac{E_2}{E_1}\right)$$

- m és el factor d'idealitat del díode, que es pot fixar entre 1 i 1,2 que és un valor típic per a cèl·lules de silici cristal·lí.
- k és la constant de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K) i e la càrrega de l'electró ($1,602 \cdot 10^{-19}$ C).

Factors que afecten la característica I-V (Irradiància)

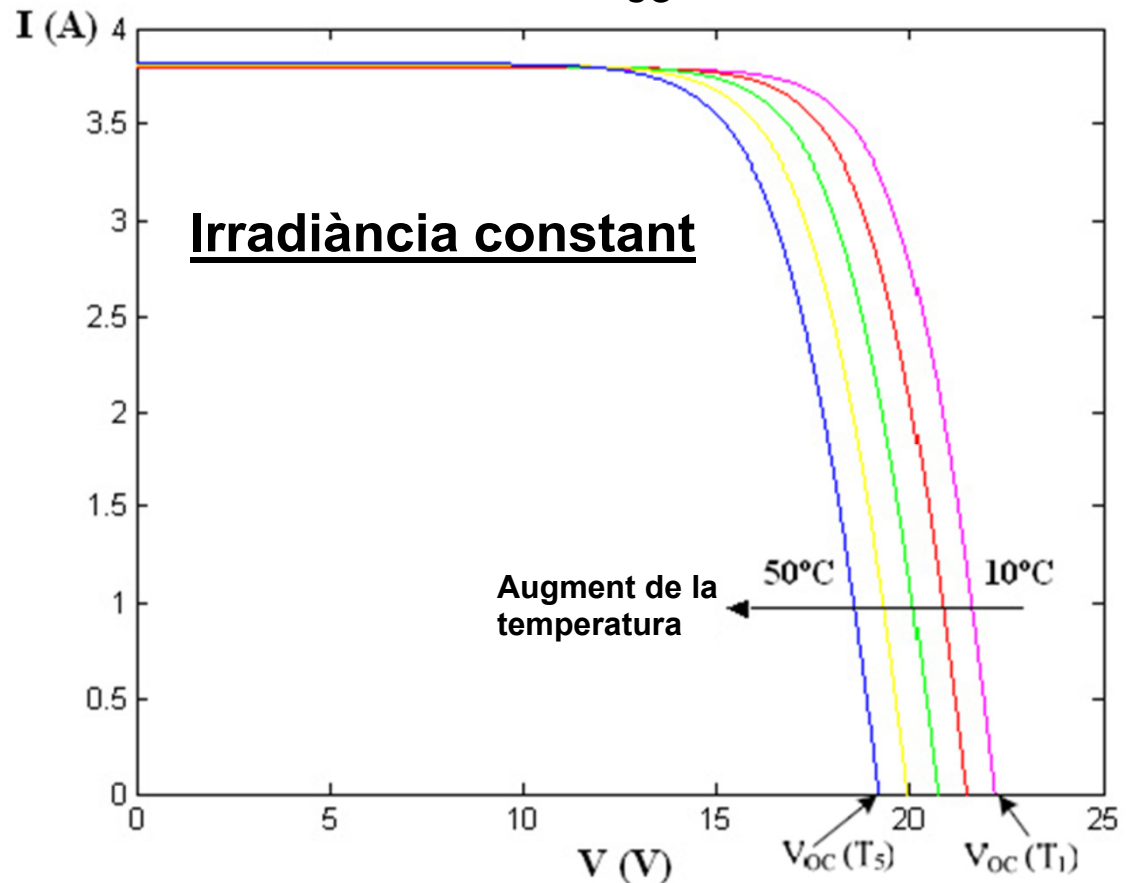
Corba I-V per al mòdul BPSX-60 a diferents nivells d'irradiància i temperatura constant de 50°C



Factors que afecten la característica I-V (Temp-I)

- La temperatura afecta principalment els valors de voltatge de la característica I - V i té la seua major influència en el voltatge de circuit obert (V_{OC}), encara que també modifica els valors del **punt de màxima potència** i el valor d' I_{SC} (aquest molt lleugerament).

El corrent de curtcircuit augmenta quan augmenta la temperatura, encara que la variació és molt petita i a efectes pràctics es pot considerar constant.



Factors que afecten la característica I-V (Temp-II)

- Hi ha 3 coeficients α , β i γ que representen la variació amb la temperatura dels paràmetres fonamentals de la característica I-V del mòdul fotovoltaic:
 - α expressa la variació del corrent de curtcircuit,
 - β la variació del voltatge de circuit obert i
 - γ la variació de la potència màxima.

- Els fabricants de mòduls FV inclouen en els seus fulls de característiques tècniques els valors d'aquests tres coeficients. En cas contrari, els podem traure de la norma UNE 60891, o es poden prendre uns valors estàndard per a una cèl·lula de silici de ~100 cm²:

Valors típics per a dispositius de silici monocristal·lí:

$$\alpha = \frac{\partial I_{sc}}{\partial T} \approx 0,04\% / ^\circ C$$

$$\beta = \frac{\partial V_{oc}}{\partial T} \approx -0,37\% / ^\circ C$$

$$\gamma = \frac{\partial P_{MPP}}{\partial T} \approx -0,441\% / ^\circ C$$

$$\alpha \approx 1,5 \text{ mA}/^\circ C$$

$$\beta \approx -2,3 \text{ mV}/^\circ C$$

$$\frac{1}{P_{MPP} \text{ (W)}} \cdot \gamma \text{ (W}/^\circ C) \approx -0,00441 / ^\circ C$$

Influència de la temperatura de treball (I)

- El fabricant proporciona la corba I-V i la potència de pic del panell a 25°C. Temperatura que, en la pràctica, és menor que la temperatura de treball del panell, a causa de la dissipació de calor dins del panell → s'ha de tenir en compte el **factor de degradació del panell** (γ) per a determinar la potència del panell.
- El factor γ apareix en el full de dades del fabricant. No obstant això, en cas de no conèixer aquesta informació, **es pot assumir un coeficient de degradació per a la potència de pic de -0,4 a -0,6%/°C.**

Influència de la temperatura de treball (II)

- La següent expressió ens permet obtenir de forma aproximada la **T de treball** a la qual arriba un panell FV :

$$T_t = T_a + K \cdot R$$

K.R: Representa l'increment de temperatura que pateix el panell sobre la màxima temperatura ambient.

- T_t : *Temperatura de treball.*
- T_a : *Màxima temperatura ambient.*
- R : *radiació solar en mW/cm^2 (varia entre 80 i 100 mW/cm^2).*
- K : coeficient que varia entre 0,2 i 0,4 $^{\circ}C \cdot cm^2/mW$ depenent de la velocitat mitjana del vent. Quan aquesta és molt baixa, o inexistent, el refredament del panell és pobre o nul i K pren valors propers o iguals al màxim (0,4). Per a velocitats altes \rightarrow el vent produeix un refredament efectiu del panell, el valor de K serà el mínim (0,2).

Influència de la temperatura de treball (III)

□ Càlcul aproximat de la **potència de treball (P_t)** d'un panell fotovoltaic:

- El primer pas és calcular la temperatura de treball i després es determina l'increment en la temperatura respecte a la de prova (25 °C). L'expressió aproximada per al càlcul és:

$$P_t = P_p + \gamma \left(\frac{\text{W}}{\text{°C}} \right) \cdot \Delta T = P_p + \frac{\gamma \left(\frac{\%}{\text{°C}} \right)}{100} \cdot P_p \cdot \Delta T$$

P_t : Potència d'eixida a la temperatura de treball.

P_p : Potència de pic del panell a 25°C.

γ : Coeficient de degradació (- 0,6%/°C).

ΔT : Increment de temperatura sobre els 25°C ($T_t - 25^\circ\text{C}$).

Influència de la temperatura de treball (IV)

- **Exercici:** Calculeu la potència de treball a què arriba el panell fotovoltaic sabent que la màxima temperatura és de 30°C a l'estiu, que la velocitat del vent durant aquest període és baixa ($K = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{cm}^2/\text{mW}$), la radiació solar és $R = 80 \text{ mW}/\text{cm}^2$ i la potència de pic del panell de $P_p = 60 \text{ W}$.

$$T_t = 30 + (0,3 \cdot 80) = 30 + 24 = 54^\circ\text{C} \quad (\Delta T = 54^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 29^\circ\text{C})$$

$$P_t = P_p + \gamma \left(\frac{\text{W}}{\% \text{ } ^\circ\text{C}} \right) \cdot \Delta T = 60 + \left(\frac{-0,6}{100} \cdot 60 \cdot 29 \right) = 60 - 10,44 = 49,56 \text{ W}$$

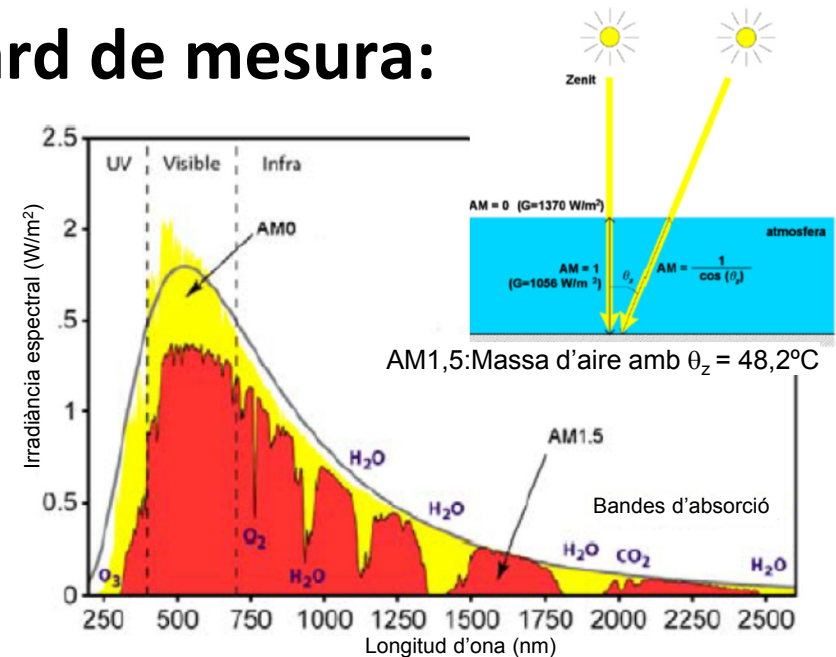
Factors que afecten la característica I-V (Contingut espectral)

- **Efecte del contingut espectral de la llum:** Depenent de l'hora de mesura i l'època de l'any l'espectre presenta petites desviacions respecte a l'espectre considerat estàndard en la superfície terrestre. Si es duu a terme una mesura de l'espectre en el moment de prendre la característica I-V pot fer-se una petita correcció multiplicant el corrent de curtcircuit pel "factor espectral", obtingut de la comparació de l'espectre estàndard i l'espectre en condicions experimentals. Aquesta correcció sol ser molt petita i s'utilitza quan es requereix elevada precisió en tractar-se de calibratges de cèl·lules o mòduls fotovoltaics.

Condicions estàndard de mesura (CEM)

- Atès que la corba característica del mòdul fotovoltaic canvia amb les condicions ambientals, és necessari fixar **unes condicions estàndard de mesura**:

- Irradiància = 1000 W/m^2
- Distribució espectral = AM 1.5G
- Incidència Normal
- Temperatura de la cèl·lula 25°C



- Condicions que rarament es presenten, per la qual cosa es realitza una **extrapolació a condicions estàndard de mesura (CEM)**.

Extrapolació a condicions estàndard de mesura

- El mètode consisteix a **corregir els valors d' I_{sc} i V_{oc} als nivells d'irradiància i temperatura** de la cèl·lula **desitjats**, i posteriorment **traslladar tota la corba I-V** fins als valors d' I_{sc} i V_{oc} corregits. Els valors d' I_{sc} i V_{oc} en les condicions desitjades s'obtenen segons les equacions:

$$I_{sc,2} = I_{sc,1} \cdot \frac{E_2}{E_1} + \alpha \cdot (T_2 - T_1)$$

$$V_{oc,2} = V_{oc,1} + m \cdot \frac{k \cdot T}{e} \cdot \ln\left(\frac{E_2}{E_1}\right) + \beta \cdot (T_2 - T_1)$$

- m és el factor d'idealitat del díode, que es pot fixar entre 1 i 1,2 que és un valor típic per a cèl·lules de silici cristal·lí.
- α i β són els coeficients de temperatura.
- k és la constant de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$) i e la càrrega de l'electró ($1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$).

Condicions nominals d'operació (CON)

- La caracterització d'un mòdul es completa amb **la temperatura d'operació nominal de la cèl·lula, TONC**, definida com la temperatura a la qual arriben les cèl·lules solars quan se sotmet el mòdul a les condicions d'operació nominals (CON) :
 - Irradiància: 800 W/m^2 .
 - Distribució espectral de la radiació incident: AM1.5 (massa d'aire) .
 - Incidència normal.
 - Temperatura ambient: $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Velocitat del vent: 1 m/s .
- Per a un mòdul de silici monocristal·lí sol estar entorn dels $47 \text{ }^\circ\text{C}$.

Condicions nominals d'operació (CON)

- Atès que les condicions nominals d'operació fan referència a la temperatura ambient, i no a la temperatura del mòdul, es fa necessària una expressió que les relacione. Es pot considerar una bona aproximació:

$$T_c = T_a + \frac{T_{\text{ONC}} - 20^\circ\text{C}}{800 \text{ W/m}^2} \cdot E$$

T_c : Temperatura de la cèl·lula o mòdul ($^\circ\text{C}$).

T_a : Temperatura ambient ($^\circ\text{C}$).

T_{ONC} : Temperatura de la cèl·lula en condicions nominals d'operació ($^\circ\text{C}$).

E : Irradiància (W/m^2).

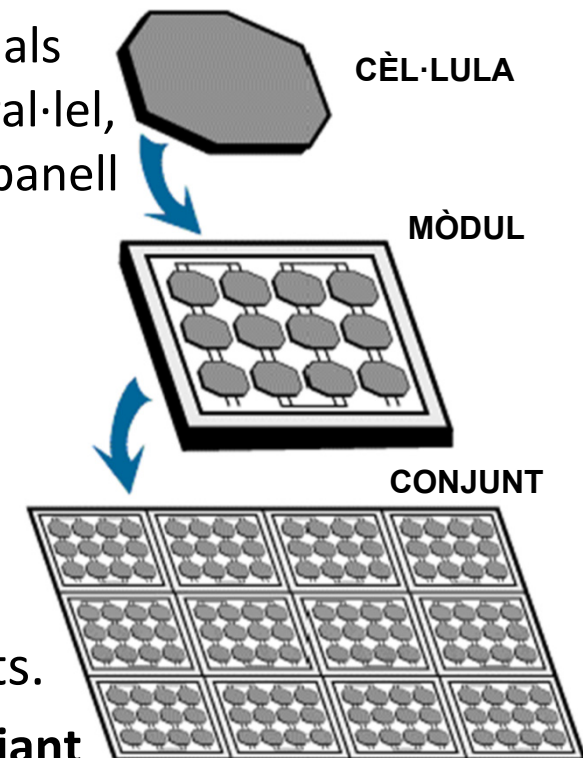
Panell solar

- Un panell solar està constituït per diverses cèl·lules iguals connectades elèctricament entre si, en sèrie i/o en paral·lel, de manera que la tensió i el corrent subministrats pel panell s'incrementen fins a ajustar-se al valor desitjat:

- Connexió en paral·lel.
- Connexió en sèrie.
- Connexió mixta (sèrie – paral·lel).

NOTA: Mai s'ha de connectar entre si mòduls de diferents característiques ni de diferents fabricants.

- La major part dels panells solars es construeixen **associant primer cèl·lules en sèrie** fins a aconseguir el nivell de tensió desitjat, i **després associant en paral·lel** diverses associacions sèrie de cèl·lules per a aconseguir el nivell de corrent desitjat.
- Els panells solars tenen entre 28 i 40 cèl·lules, encara que el més típic és que en tinguen 36. La superfície del panell o mòdul pot variar entre 0,1 i 0,5 m².

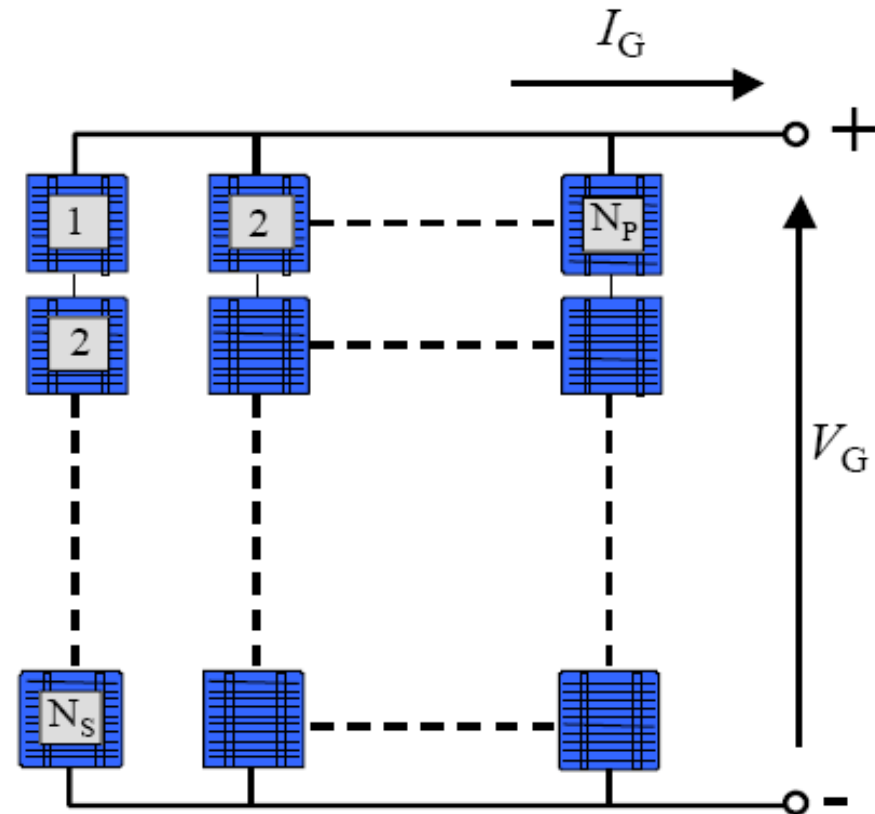


Panell solar: mòdul

$$I_{SCG} = I_{SC} \cdot N_P$$

$$V_{OCG} = V_{OC} \cdot N_S$$

$$R_{SG} = \frac{R_S N_S}{N_P}$$



$$I_G = I_{SCG} \cdot \left[1 - e^{-\frac{V_G - V_{OCG} + I_G R_{SG}}{N_S V_t}} \right]$$

- N_S : Nombre de panells en sèrie.
- N_P : Nombre de panells en paral·lel.
- V_G : Tensió del generador.
- I_G : Corrent del generador.
- R_{SG} : Resistència sèrie del generador.
- I_{SCG} : Corrent de curtcircuit del generador.
- V_{OCG} : Tensió de circuit obert del generador.
- V_t : Potencial tèrmic .

Exemple de connexió de mòduls FV

- **Exercici:** Es desitja connectar 4 mòduls solars FV amb les següents característiques:
 - Potència 75 Wp
 - Tensió 12 V
 - Intensitat 4,4 A.

Es demana:

- a) Efectuar la connexió per a extraure la màxima tensió.
- b) Efectuar la connexió per a extraure la màxima intensitat.
- c) Efectuar la connexió per a extraure una tensió de 24 V i la màxima intensitat possible.

Exemple de connexió de mòduls FV

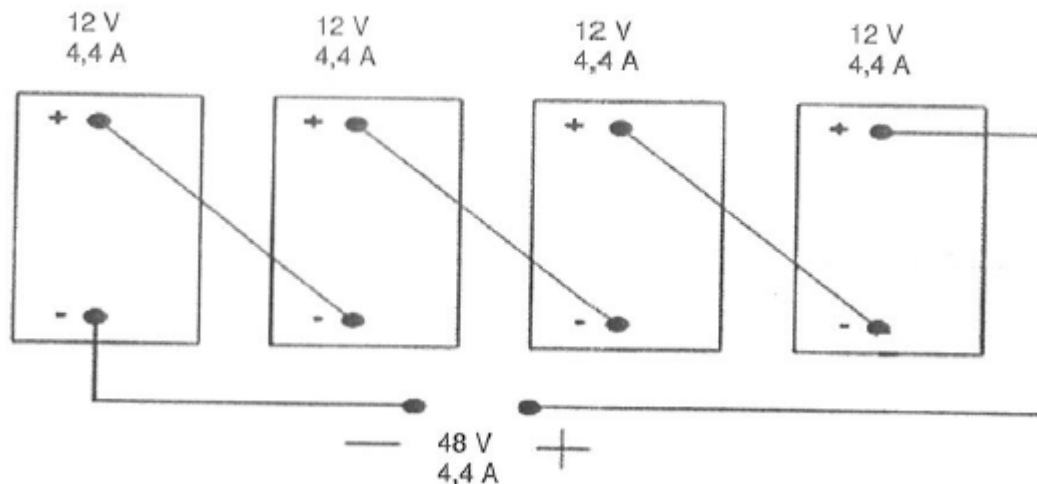
- Connexió per a extraure la màxima tensió:

Per a obtenir la màxima tensió es fa una connexió en sèrie:

$$V_{Tot} = V_{Mod1} + V_{Mod2} + V_{Mod3} + V_{Mod4} = 12 + 12 + 12 + 12 = 48 V$$

La intensitat total dels mòduls connectats és:

$$I_{Tot} = I_{Mod} = 4,4 A$$



Exemple de connexió de mòduls FV

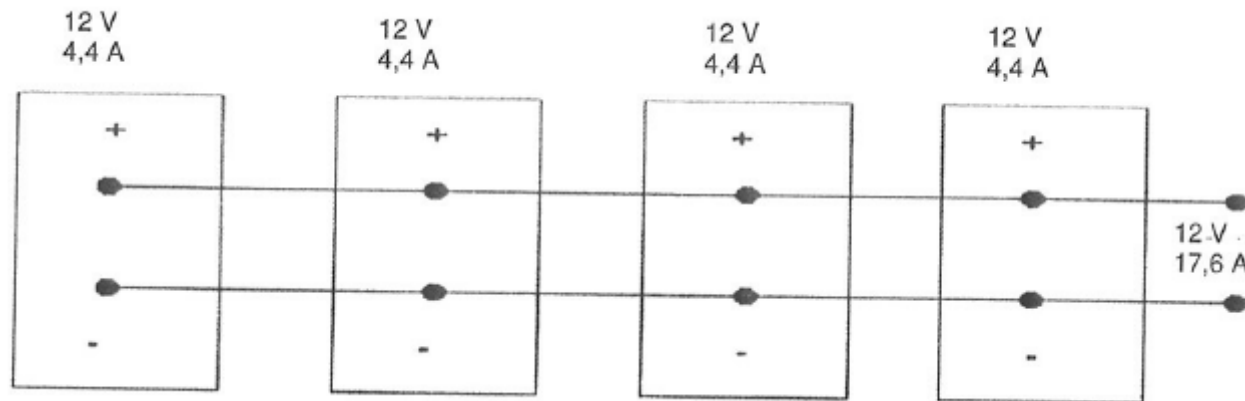
- Connexió per a extraure la màxima intensitat

Es fa una connexió en paral·lel:

$$I_{Tot} = I_{Mod1} + I_{Mod2} + I_{Mod3} + I_{Mod4} = 4,4 \cdot 4 = 17,6 A$$

La tensió dels mòduls connectats en paral·lel és:

$$V_{Tot} = V_{Mod} = 12 V$$



Exemple de connexió de mòduls FV

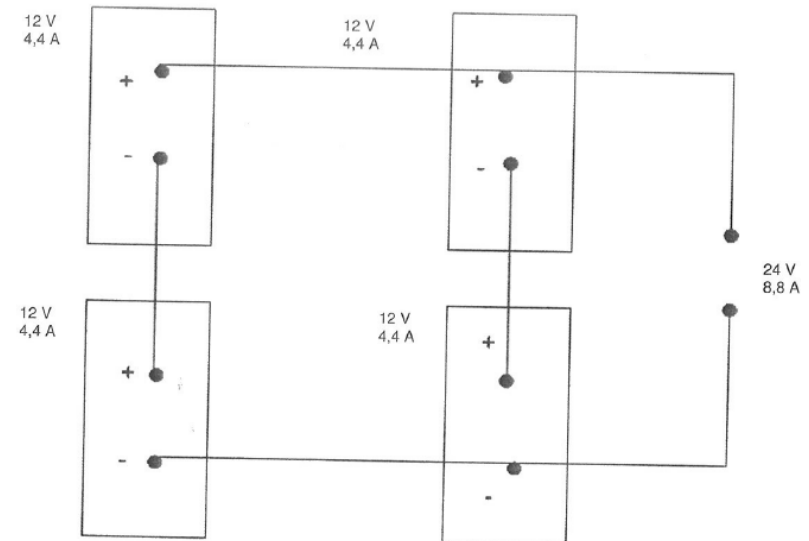
- Connexió per a extraure una tensió de 24 V i la màxima intensitat possible.

Es fa una connexió en sèrie-paral·lel. Per a aconseguir els 24 V agafarem dos mòduls en sèrie i els connectarem en paral·lel amb altres dos mòduls sèrie. La tensió serà:

$$V_{Tot} = V_{Mod1} + V_{Mod2} \text{ (ó } V_{Mod3} + V_{Mod4} \text{)} = 12 + 12 = 24 \text{ V}$$

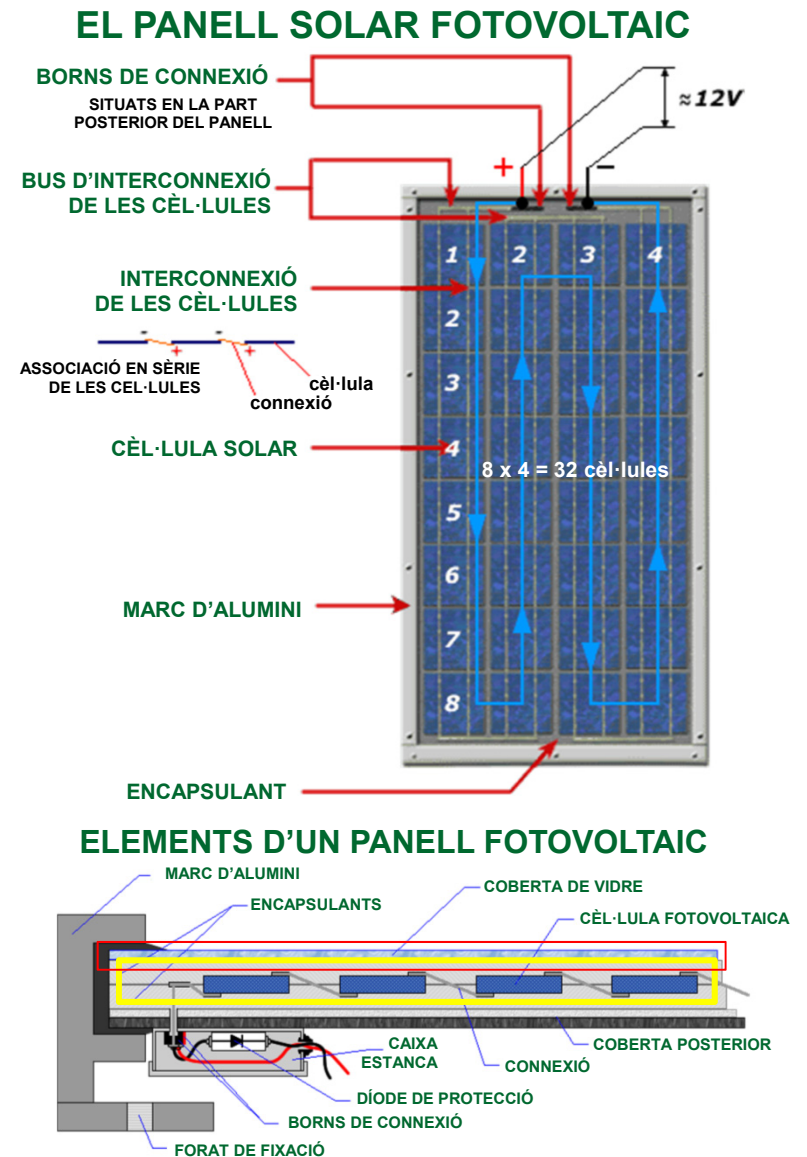
El corrent dels mòduls connectats en paral·lel és:

$$I_{Tot} = I_{Mod1} + I_{Mod3} \text{ (ó } I_{Mod2} + I_{Mod4} \text{)} = 4,4 \cdot 2 = 8,8 \text{ A}$$



4.1.3. Components del panell

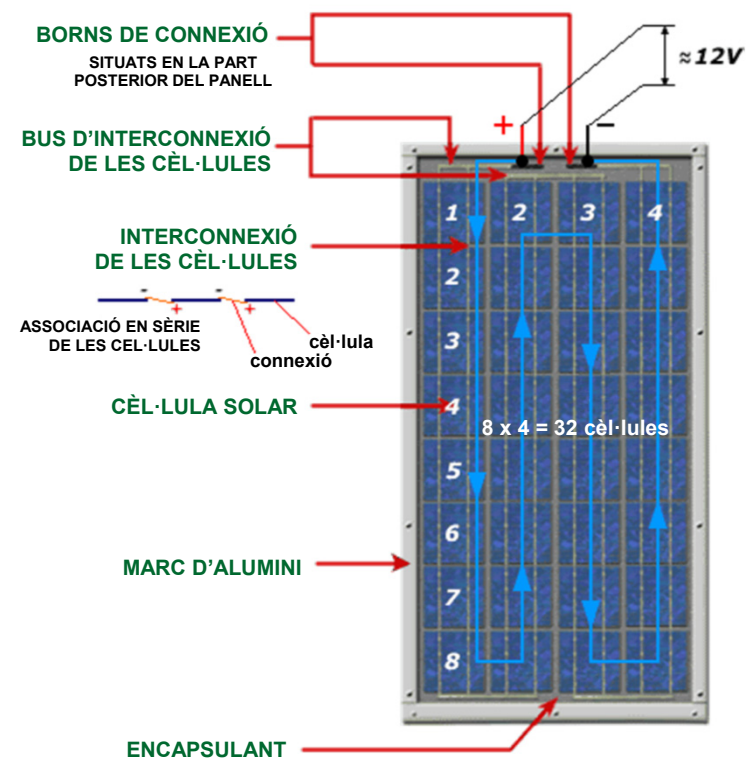
- Coberta exterior** de cara al Sol. És de vidre temperat i ha de facilitar al màxim la transmissió de la radiació solar. Es caracteritza per la seua resistència mecànica, alta transmissivitat i baix contingut en ferro per a donar-li més transparència.
- Encapsulant.** De silicona o més freqüentment EVA (etilen-vinil-acetat). És especialment important que no quede afectat en la seua transparència per l'exposició contínua al Sol. A més es busca un índex de refracció similar al del vidre protector per a no alterar les condicions de la radiació incident.



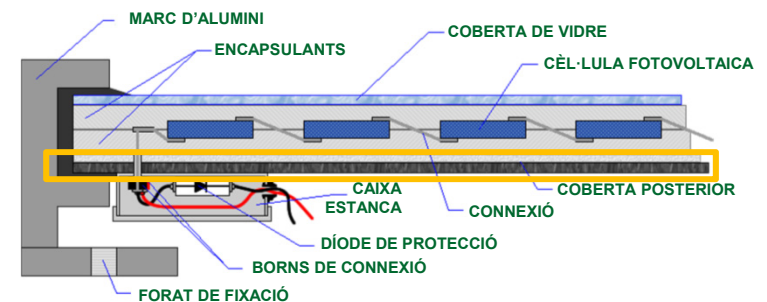
Components del panell

- Protecció posterior.** Igualment ha de donar rigidesa i una gran protecció enfront dels agents atmosfèrics. Usualment s'utilitzen làmines formades per diferents capes de materials, de diferents característiques.
- Marc metàl·lic.** D'alumini, que assegura prou rigidesa i estanquitat al conjunt, incorporant els elements de subjecció a l'estructura exterior del panell. La unió entre el marc metàl·lic i els elements que formen el mòdul es fa mitjançant diferents tipus de sistemes resistent a les condicions de treball del panell.

EL PANELL SOLAR FOTOVOLTAIC



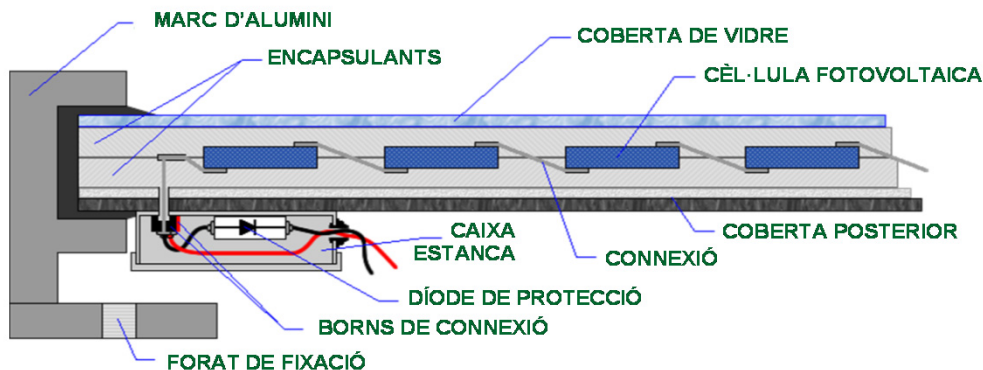
ELEMENTS D'UN PANELL FOTOVOLTAIC



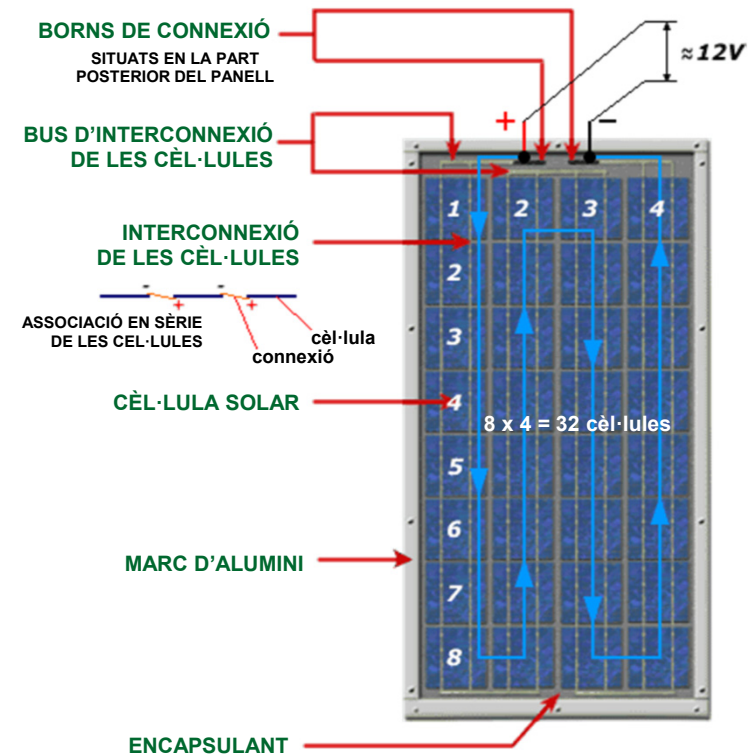
Components del panell

- Cablejat i borns de connexió.** Habituals en les instal·lacions elèctriques, protegits de la intempèrie per mitjà de caixes estanques.
- Díode de protecció.** La seua missió és protegir contra sobrecàrregues o altres alteracions de les condicions de funcionament del panell.

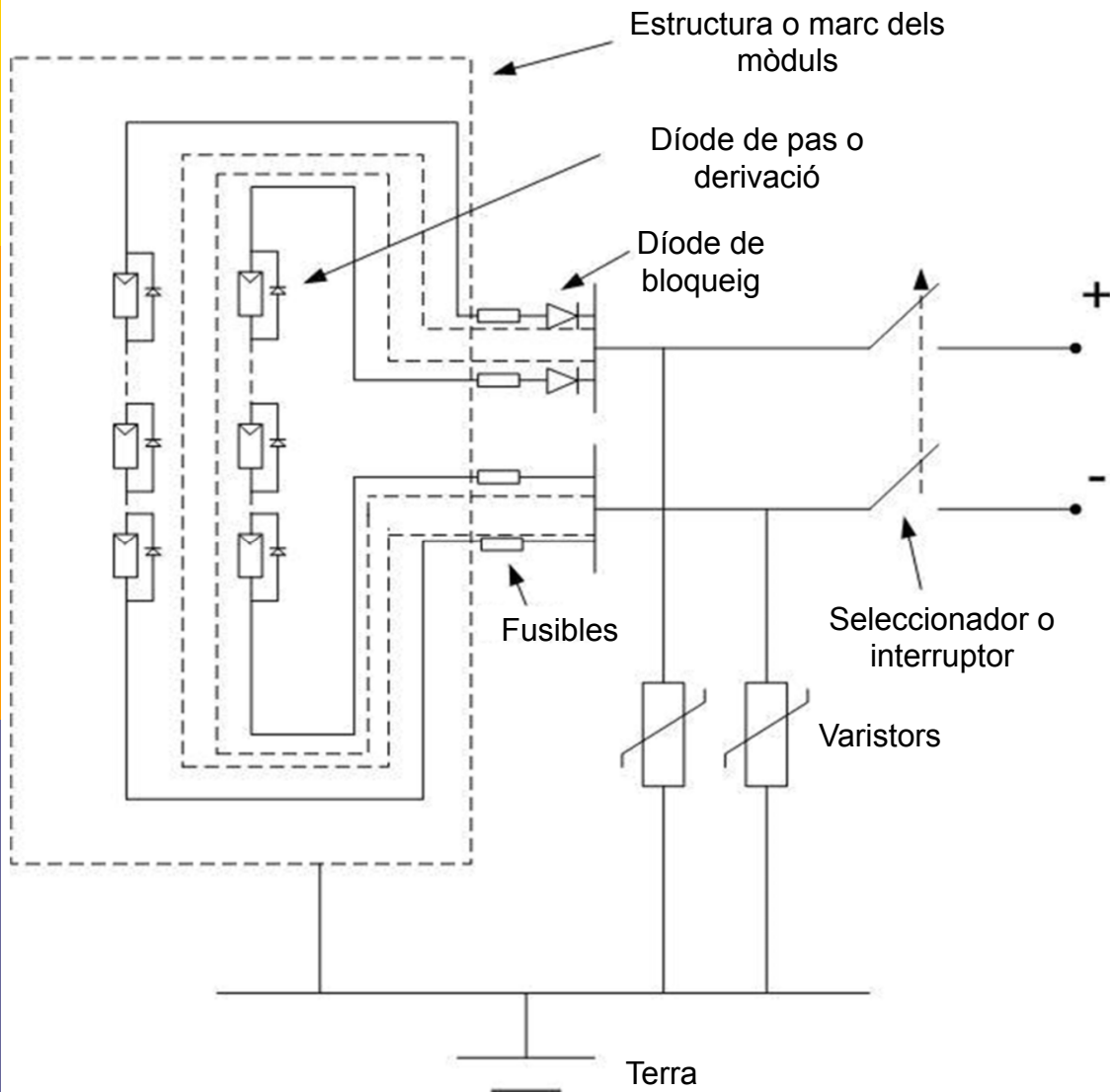
ELEMENTS D'UN PANELL FOTOVOLTAIC



EL PANELL SOLAR FOTOVOLTAIC



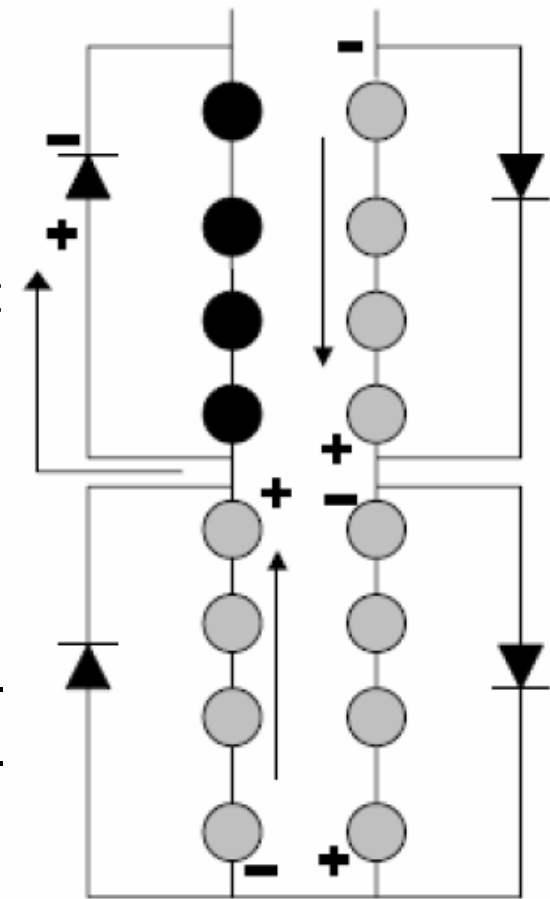
Díodes de protecció: de pas i de bloqueig



Per a evitar els problemes que pot ocasionar una il·luminació no uniforme, la presència d'ombres o altres factors que poden fer que una part del generador fotovoltaic treballi en diferents condicions que la resta es recorre a l'ús de proteccions.

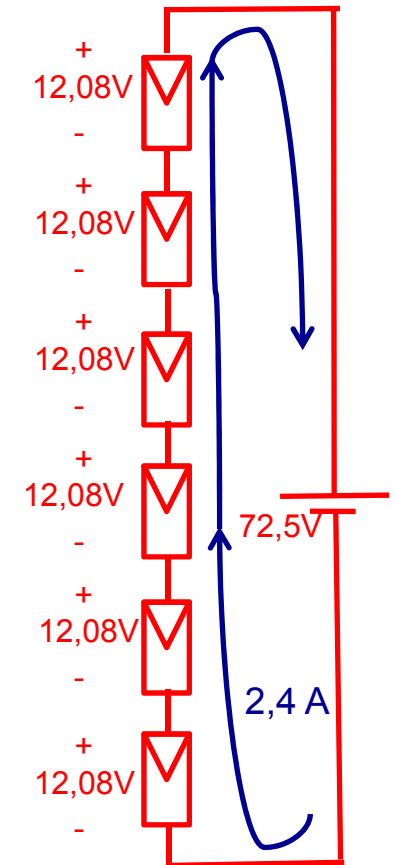
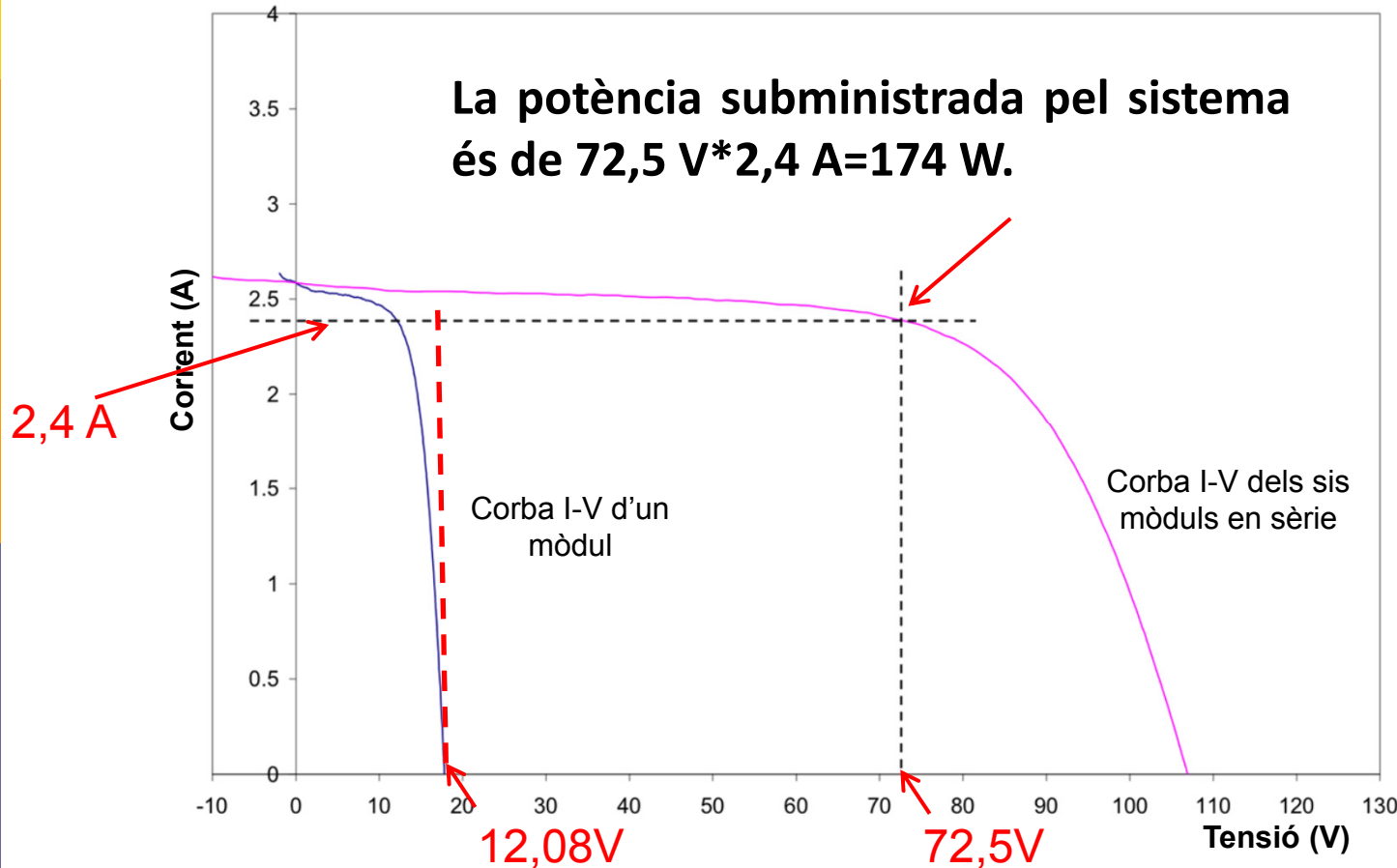
Díodes de protecció: de pas i de bloqueig

- Els díodes de pas es col·loquen en paral·lel en associacions de cèl·lules FV en sèrie. El díode es connecta amb polaritat oposada a la de les cèl·lules, de manera que, si aquestes treballen correctament, pel díode no circula corrent.
- Si una de les tires en sèrie resulta severament ombrejada de manera que inverteix la seua polaritat, el díode conduirà oferint un camí fàcil perquè passe el corrent generat per la resta dels grups de cèl·lules. Si no estiguera el díode, l'ombregi d'una cèl·lula o un mòdul ocasionaria una gran pèrdua de potència del sistema, a més de l'aparició de punts calents que podrien danyar greument els materials encapsulants que l'envolten.



Exemple d'ús de díodes de pas en associacions sèrie de mòduls FV

Un sistema fotovoltaic format per 6 mòduls idèntics en sèrie amb valors nominals d' $I_{SC}=2,6$ A, $V_{OC}= 18$ V i $P_{max}= 30$ W està connectat a una bateria que treballa a 72,5V; el corrent del sistema és de 2,4 A.



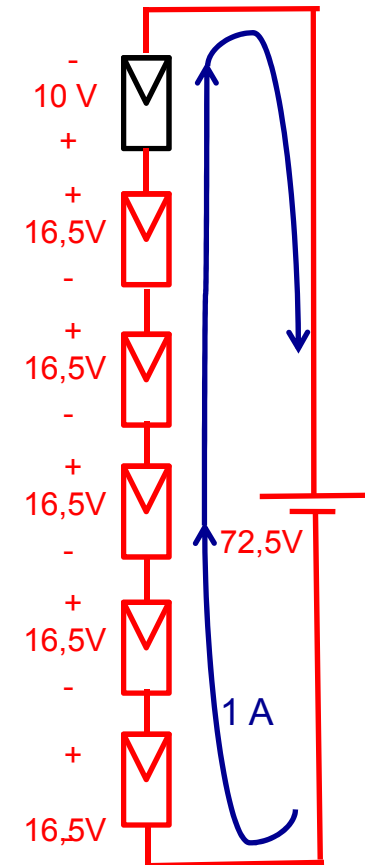
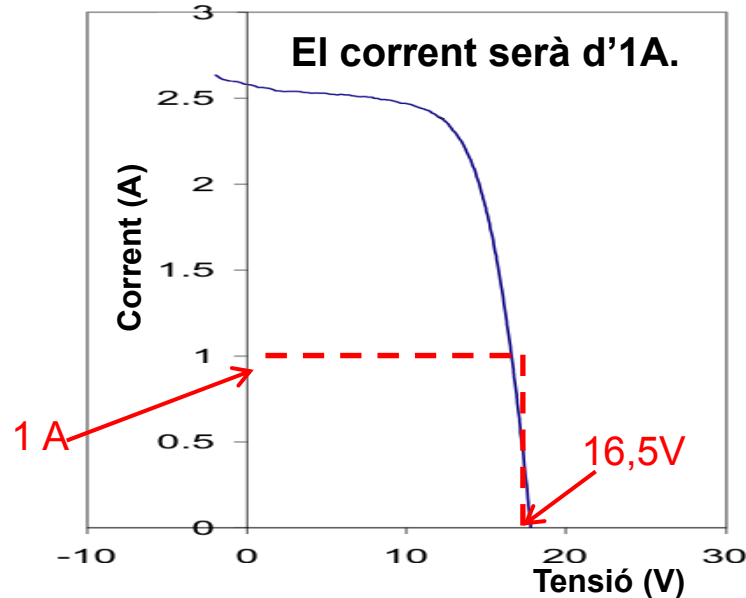
Què ocorre si un dels mòduls resulta parcialment ombrejat i el seu corrent de curtcircuit cau a 1 A?

Exemple d'ús de díodes de pas en associacions sèrie de mòduls FV

A) Sense díodes de pas:

- El corrent que circula per tota l'associació quedarà limitat pel reduït corrent del mòdul ombrejat (1 A), la qual cosa limita la potència que es pot obtenir d'aquesta agrupació en sèrie.
- La tensió entre extrems de cadascun dels altres mòduls no ombrejats de l'agrupació serà propera a la V_{OC} , en aquest cas 16,5 V.

MÒDULS IL·LUMINATS



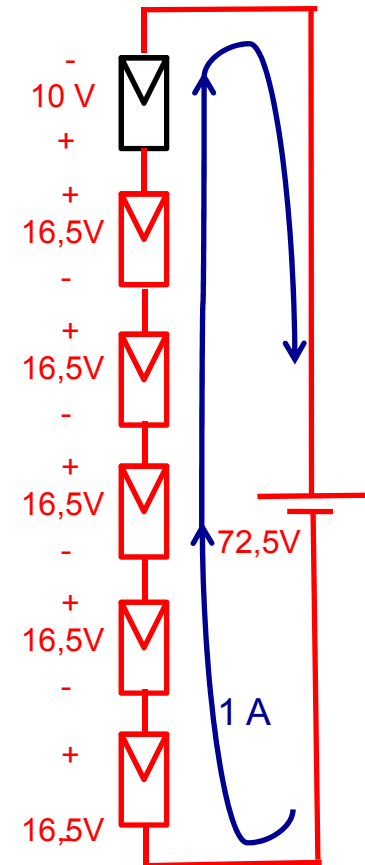
Exemple d'ús de díodes de pas en associacions sèrie de mòduls FV

A) Sense díodes de pas:

Conseqüència: La tensió entre extrems del mòdul ombrejat inverteix la seua polaritat, i és ara la suma de les tensions en els altres mòduls de l'agrupació menys la de la bateria; val 10 V.

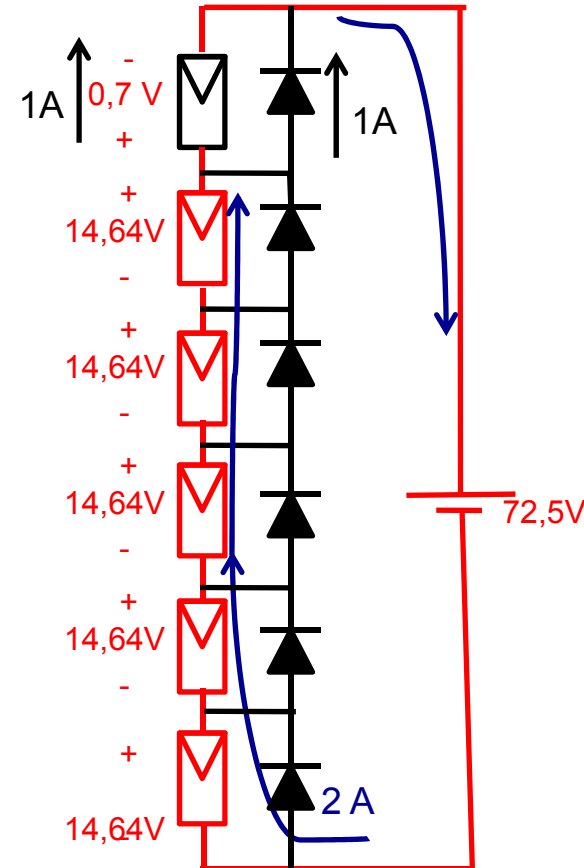
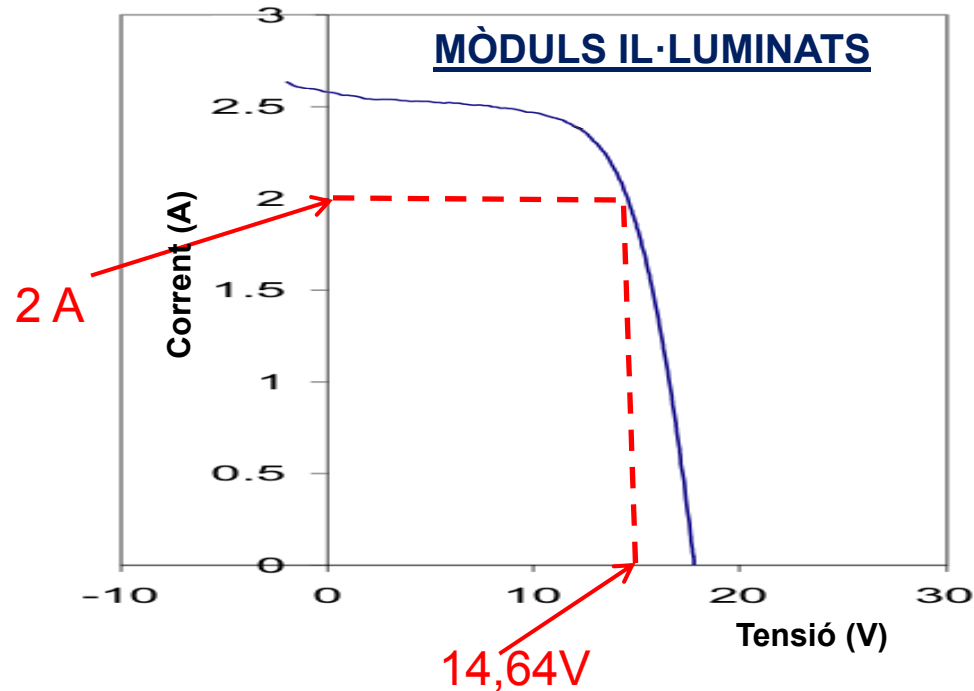
Ara aquest mòdul no genera sinó que dissipa potència (en forma de calor). La **potència dissipada** en forma de calor **pel mòdul ombrejat** serà de $10V * 1A = 10 W$.

La potència subministrada pels altres mòduls serà de $5 * 16,5V * 1A = 82,5 W$, dels quals 10 W es dissipen en el mòdul ombrejat i **NOMÉS 72,5W són per a la càrrega de la bateria, a més que aquest mòdul es calfa i redueix la seua eficiència.**



Exemple d'ús de díodes de pas en associacions sèrie de mòduls FV

B) Amb un díode de pas per mòdul:



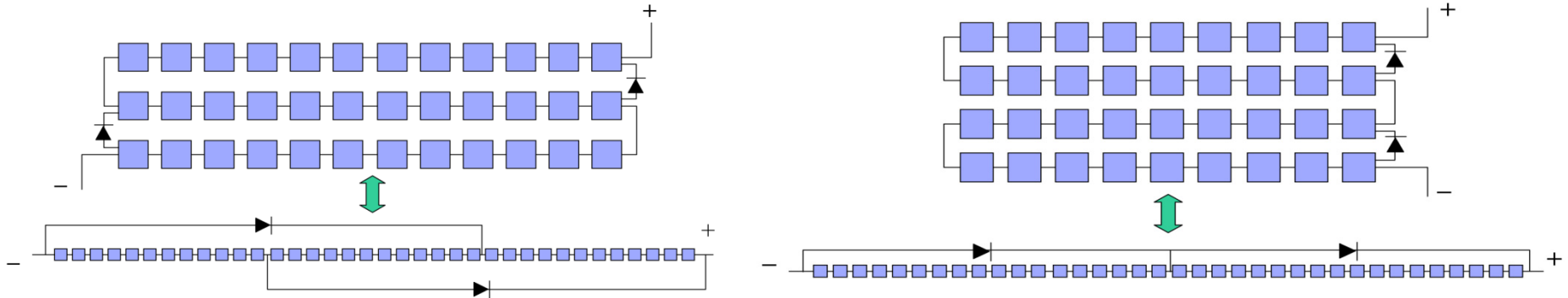
La tensió entre extrems de cada mòdul il·luminat serà de $(72,5V + 0,7V)/5 = 14,64 V$. Per a aquesta tensió el corrent proporcionat per aquests mòduls és de 2A.

La **potència dissipada pel mòdul ombrejat** serà només de $0,7 V * 1 A = 0,7 W$ i en el díode de pas $0,7V * 1A = 0,7 W$. A més, el mòdul ombrejat NO es calfa.

La potència subministrada pels altres mòduls serà de $5 * 14,64 V * 2 A = 146,4 W$, dels quals 1,4 W es dissipen i **145 W són per a la càrrega de la bateria.**

Díodes de protecció: de pas i de bloqueig

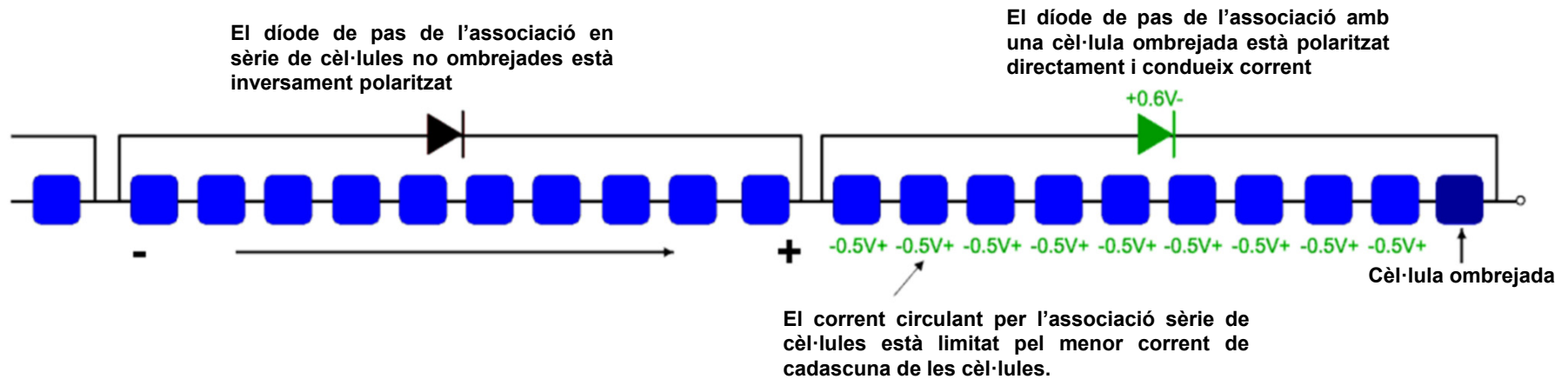
Esquemes típics de connexions en un mòdul fotovoltaic de 36 cèl·lules:



□ **Mode “overlapping”:** En cas d’ombreig sever d’una de les agrupacions de 12 cèl·lules, el corrent circularà per un grup de 12 cèl·lules i després a través del díode de pas, és a dir, **2/3 parts del mòdul serien pontejades**. Si solament fóra una cèl·lula l’ombrejada, la seua dissipació de potència seria deguda a 23 cèl·lules.

□ **Mode adjacent:** En cas que una branca fóra severament ombrejada, el corrent passaria per l’altre grup de 18 cèl·lules treballant correctament. Si únicament fóra una cèl·lula l’ombrejada, la seua dissipació de potència seria només deguda a les altres 17 cèl·lules amb les quals comparteix díode de pas, limitant-se així la quantitat de potència dissipada i per tant l’elevació de temperatura.

Díodes de protecció: de pas i de bloqueig



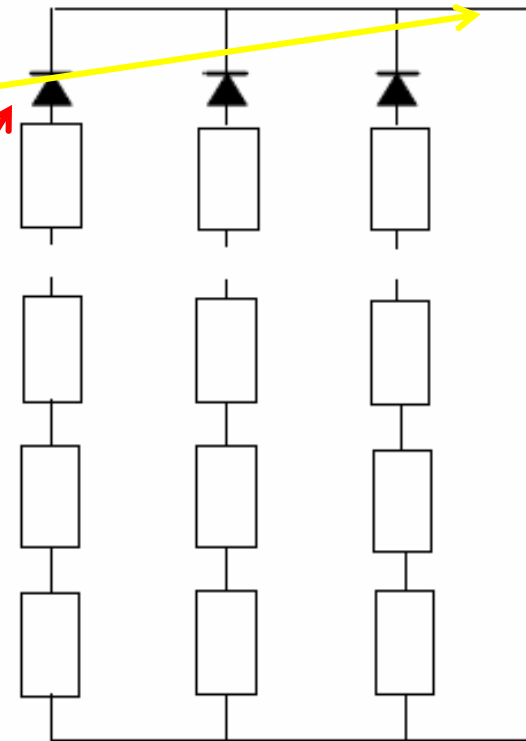
El nombre màxim de cèl·lules en sèrie per díode de pas és determinat per la màxima dissipació de potència permissible en la cèl·lula ombrejada.

En els mòduls comercials sol optar-se per protegir de 18 a 20 cèl·lules amb un díode de pas. I se sol preferir la connexió tipus “overlapping” (solapada) per a evitar el curtcircuit del mòdul quan els dos díodes condueixen simultàniament.

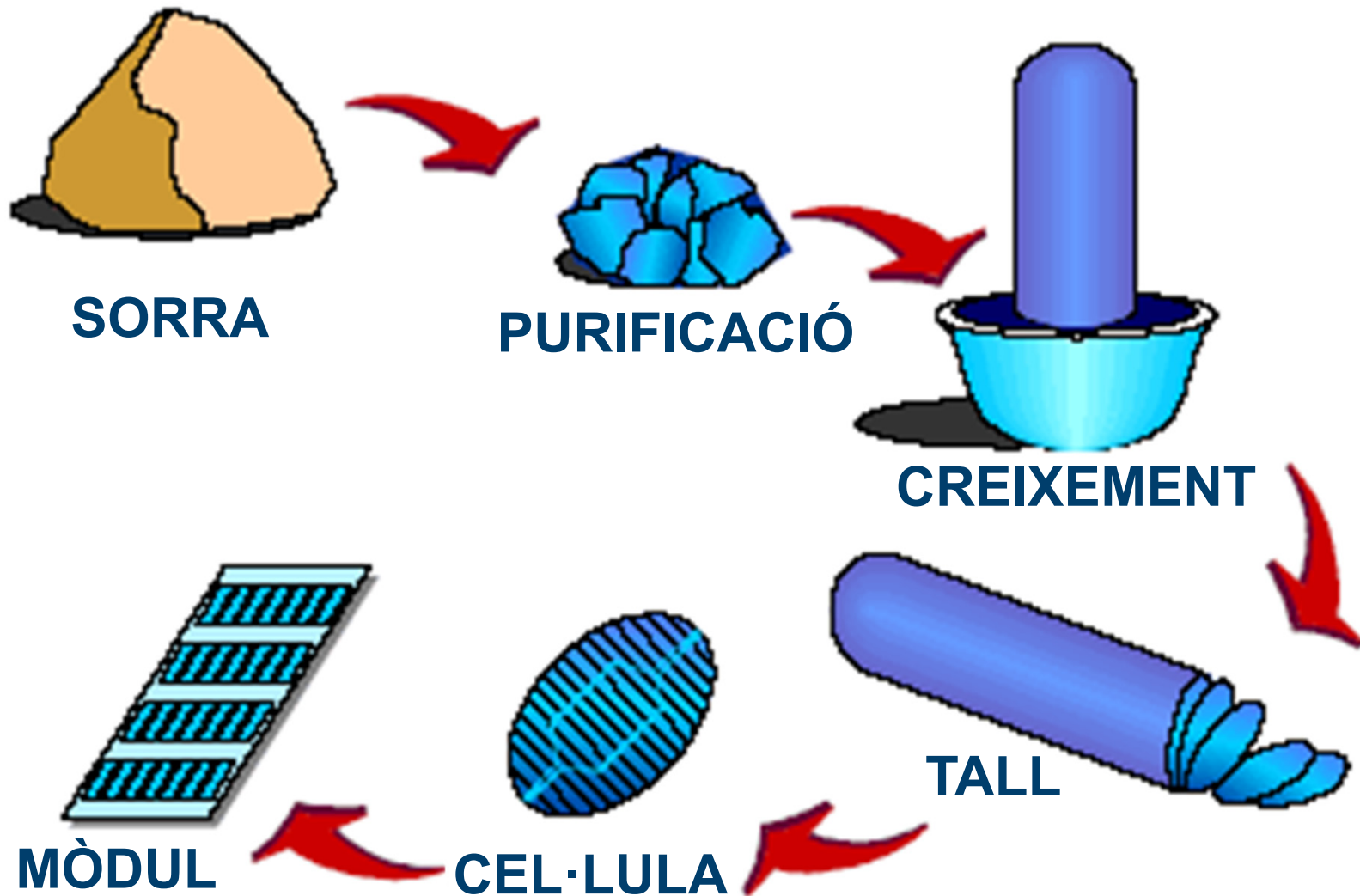
Díodes de protecció: de pas i de bloqueig

□ Els díodes de bloqueig tenen la funció de:

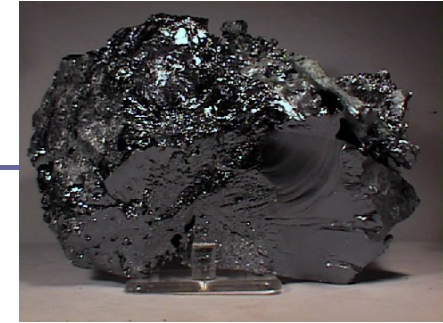
- Prevenir la descàrrega durant la nit de la bateria en sistemes FV que empren bateries.
- Bloquejar els fluxos de corrent inversos de branques de mòduls FV en paral·lel deteriorades o ombrejades durant el dia.



4.1.4. Fabricació de panells (I)



Fabricació de panells (II)



□ PRIMERA FASE: OBTENCIÓ DEL SILICI

- A partir de les roques riques en quars (formades principalment per SiO_2 , molt abundants en la natura) i mitjançant el **procés de reducció amb carboni**, s'obté silici amb una puresa aproximada del 99%, que no resulta suficient per a usos electrònics i que se sol denominar **silici de grau metal·lúrgic**.
- A continuació es **purifica** aquest silici per procediments químics fins que la concentració d'impureses és inferior a 0,2 parts per milió. El material així obtingut sol ser anomenat **silici de grau semiconductor**.
- En realitat, per a la nostra aplicació, és suficient amb concentracions d'impureses de l'ordre d'una part per milió. Al material d'aquesta concentració se'l sol denominar **silici de grau solar**.

Fabricació de panells (III)

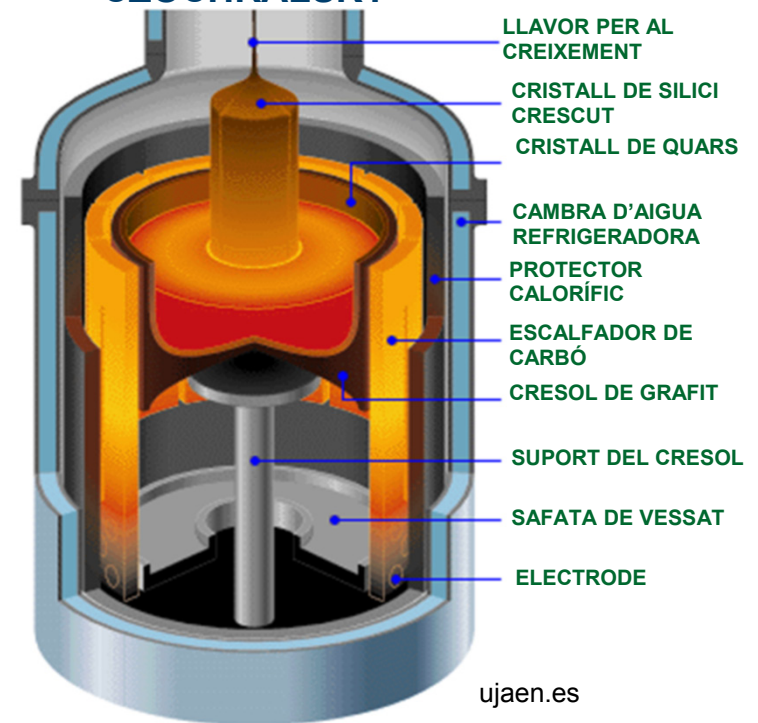
□ SEGONA FASE: CRISTAL·LITZACIÓ

- Una vegada fos el silici, s'inicia la **crystal·lització a partir d'una llavor**. Aquesta llavor és extreta del silici fos, aquest es va solidificant de forma cristal·lina, i resulta, si el temps és suficient, un monocristall (generalment pel mètode Czochralsky) en forma de lingots.
- S'obtenen principalment dos tipus d'estructures: una la monocristal·lina (amb un únic front de cristal·lització) i l'altra la policristal·lina (amb diversos fronts de cristal·lització, encara que amb unes direccions predominants). La diferència principal radica en el grau de puresa del silici durant el creixement/recristal·lització.



<http://eltamiz.com/>

CRISTALITZACIÓ PEL MÈTODE "CZOCHEWSKI"



ujaen.es

Fabricació de panells (IV)

□ **TERCERA FASE: OBTENCIÓ D'OBLIES**

Tall del lingot per a producció de làmines d'oblies (de gruix 2-4 mm). Suposa una important pèrdua de material (~ 50%).



Fabricació de panells (V)

□ **QUARTA FASE: FABRICACIÓ DE LA CÈL·LULA I ELS MÒDULS**




1. Es realitza un **decapatge de l'oblia**, per a eliminar irregularitats i defectes del tall, a més de retirar de pols i encenalls que pugen quedar.
2. Les cèl·lules monocristal·lines es texturitzen, per a obtenir una superfície que absorbisca amb més eficiència la radiació solar incident.
3. **Formació d'una unió PN** mitjançant deposició de diferents materials (compostos de fòsfor per a les parts N i compostos de bor per a les parts P), i la seua integració en l'estructura del silici cristal·lí.
4. Formació dels **contactes metàl·lics** de la cèl·lula, en forma de reixeta en la cara il·luminada pel Sol, i continu en la cara posterior. La formació dels contactes en la cara il·luminada es fa mitjançant **tècniques serigràfiques**.
5. Finalment, pot procedir-se a afegir una **capa antireflectora** sobre la cèl·lula, amb la finalitat de millorar les possibilitats d'absorció de la radiació solar.

Fabricació de panells (VI)

<http://www.youtube.com/watch?v=zDKDZoTnCrQ>

<http://www.youtube.com/watch?v=XK6yImGm74k>

4.1.5. Tipus

CÈL·LULES		RENDIMENT LABORATORI	RENDIMENT DIRECTE	CARACTERÍSTIQUES	FABRICACIÓ
	MONOCRISTAL·LÍ	24%	15 - 18%	És típic el seu color blau homogeni i la connexió de les cèl·lules individuals entre si (Czochralsky).	S'obté de silici pur fos i dopat amb bor.
	POLICRISTAL·LÍ	19 - 20%	12 - 14%	La superfície està estructurada en cristalls i conté diferents tons blaus.	Igual que la del monocrystal·lí, però es disminueix el nombre de fases de cristal·lització.
	AMORF	16%	< 10%	Té un color homogeni (marró), però no hi ha connexió visible entre les cèl·lules.	Té l'avantatge de dipositar-se en forma de làmina prima sobre un substrat com vidre o plàstic.

Tipus (II)

- ❑ **Les cèl·lules monocristal·lines** són les que proporcionen el rendiment més elevat (del 15% a 18% en la fabricació en sèrie i el 24% en models de laboratori). Les oblies s'obtenen a partir de silici pur fos juntament amb una reduïda quantitat de bor. Posteriorment es difonen àtoms de fòsfor per una cara per a crear la unió P-N. Encara que aquestes cèl·lules són més cares, són les més utilitzades en l'actualitat.
- ❑ **Les cèl·lules policristal·lines** proporcionen un rendiment del 12 al 14%. Empren fines tires contínues d'un gruix de fins a algunes micres que es tallen en trossos rectangulars per a aprofitar millor l'espai. El seu cost és menor perquè són més primes i tenen un procés d'elaboració que no és tan complicat com el de la cèl·lula monocristal·lina.

Tipus (III)

- ❑ **Les cèl·lules de silici amorf** tenen una capacitat d'absorció de la llum superior a les cèl·lules de silici cristal·lí i per això poden ser més primes. Tanmateix, tenen un rendiment inferior al 10%. Pel que fa a les cèl·lules cristal·lines tenen un procés de fabricació més simple i, per tant, un cost molt inferior. L'acceptable durada dels contactes conductors i l'extrema primesa de les cèl·lules fa que es consideren molt prometedores.

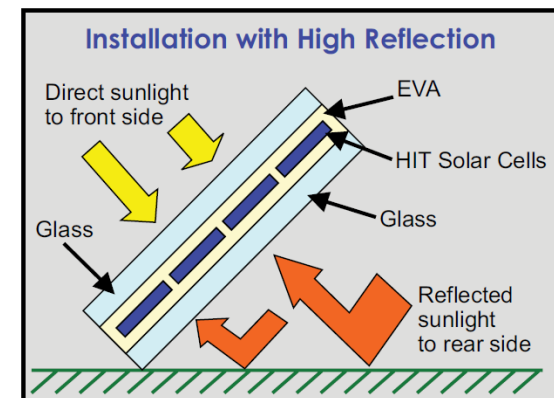
Altres tipus:

- ❑ **Les cèl·lules de sulfur de cadmi i sulfur de coure** tenen com a avantatge que el seu procés de fabricació és fàcil perquè s'utilitza poc material actiu. Els rendiments màxims obtinguts en laboratori no superen el 10%. Aquest rendiment es redueix a la meitat quan arriba a l'activitat industrial.

Un altre problema radica en el fet que aquestes cèl·lules es degraden amb el pas del temps, cosa que s'està estudiant perquè els preus d'aquestes cèl·lules poden ser molt competitius, pel seu baix cost.

Tipus (IV)

- ❑ **Les cèl·lules d'arsenur de gal·li** són les cèl·lules més indicades per a la fabricació de panells. El seu rendiment teòric arriba a valors prop del 27%–28% en la seua versió monocristal·lina. Tanmateix, té l'inconvenient que aquest material no és abundant, cosa que encareix molt la matèria primera. Com a característica satisfactòria té un elevat coeficient d'absorció, i per això amb poc material s'obté una eficàcia elevada.
- ❑ **Les cèl·lules bifacials** són unes cèl·lules amb una doble unió ($N^+ - P - P^+$), que permet arreplegar la radiació frontal i la radiació reflectida. El rendiment d'aquestes cèl·lules pot arribar al 30% sempre que es tinga una especial cura amb la qualitat de la superfície reflectora i les condicions mecàniques de col·locació del panell.



Font: [Sanyo Energy Corporation](#) (Bifacial Photovoltaic Module)

4.1.6. Certificació

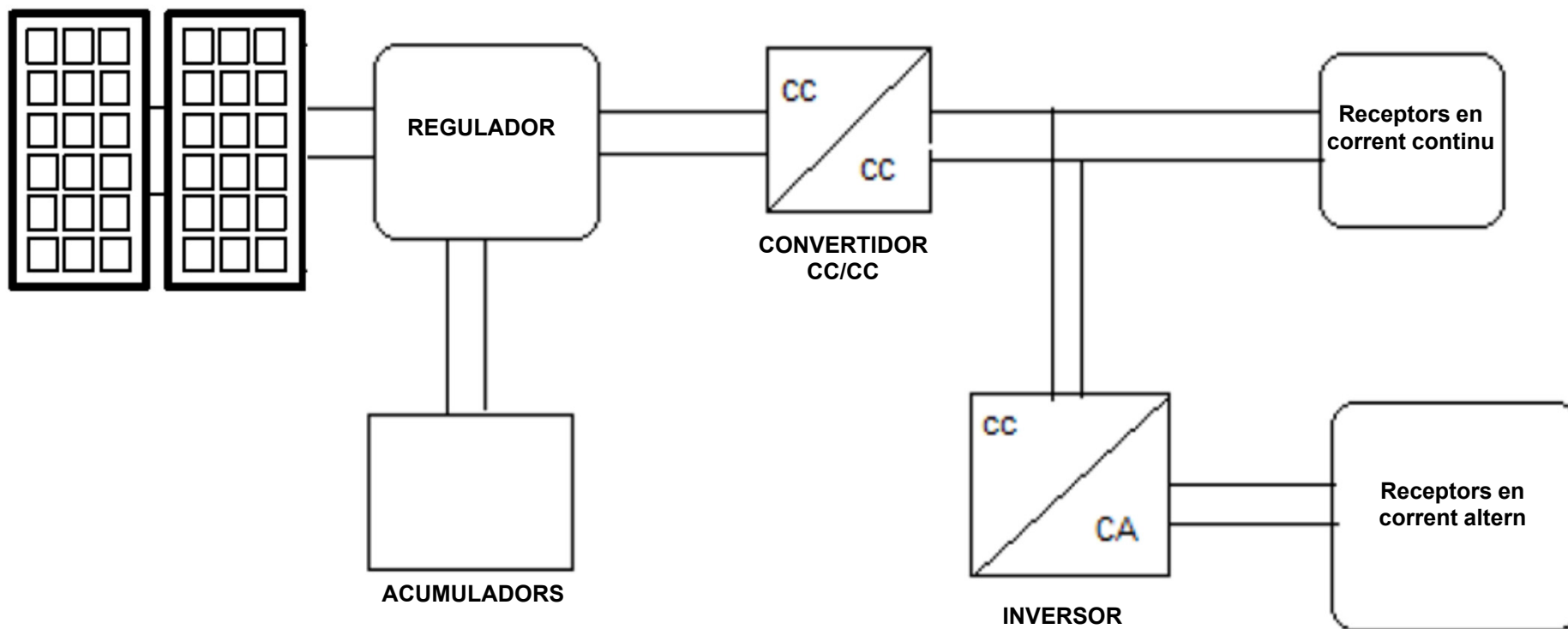
- ❑ La norma principal de certificació de mòduls terrestres a Europa és l'IEC 61215, que s'anomena “Mòduls fotovoltaics (FV) de silici cristal·lí per a aplicació terrestre. Qualificació del disseny i aprovació de tipus”. S'hi especifiquen una sèrie d'assajos d'envelliment per a verificar la durabilitat del mòdul.
- ❑ L'assaig que més temps dura és el de ciclatge tèrmic de -45°C a $+85^{\circ}$ que consta de 200 cicles. Únicament aquest assaig ja dura dos mesos continus sense parar. Per aquest motiu el termini de lliurament dels resultats de la certificació IEC 6125 dura de 3 a 4 mesos en el cas del TÜV a Alemanya i de 9 a 12 mesos en el cas del CIEMAT a Espanya.
- ❑ Els mòduls de capa fina tenen una norma específica.

4.2. Sistemes fotovoltaics



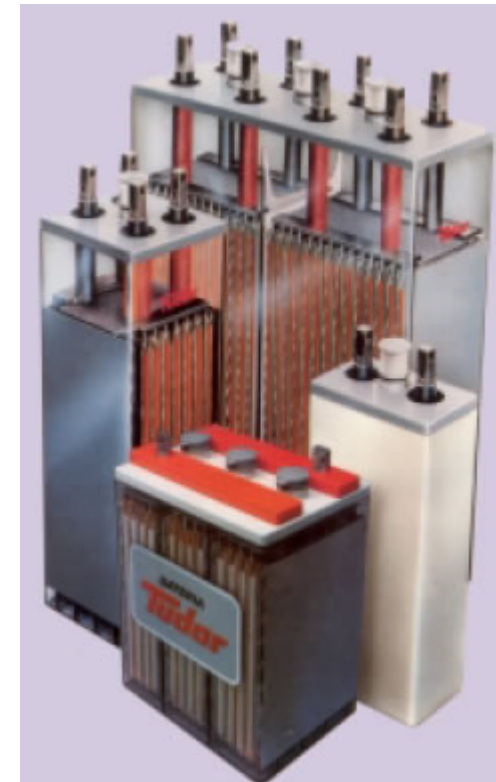
5.2.1. Components del sistema: bateria, reguladors, convertidors CC/CC i inversors (CC/CA).

Sistemes fotovoltaics



Bateria o acumulador (I)

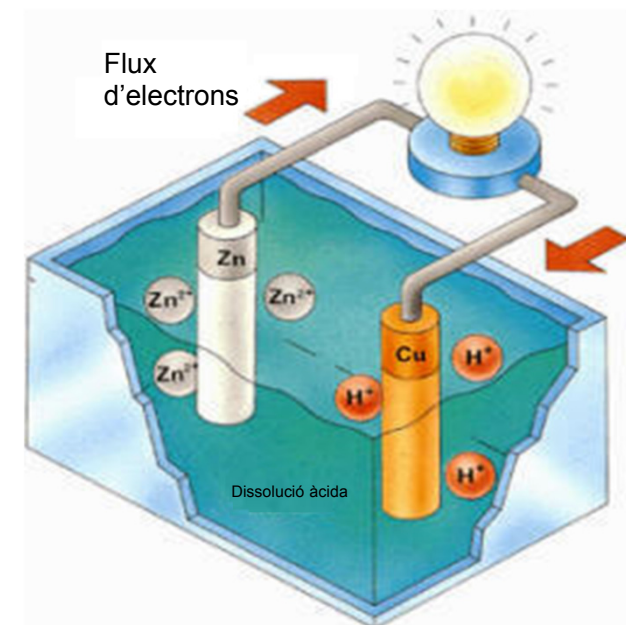
- El caràcter variable de la radiació solar fa necessari l'ús d'acumuladors d'energia, que garantisquen el funcionament del sistema fotovoltaic en condicions desfavorables.
- Les funcions principals que exerceixen són:
 - Autonomia.
 - Satisfan els requeriments de consum per a qualsevol moment.
 - Subministrament de pics d'intensitat.
 - Arrancada de motors.
 - Estabilització del voltatge.
 - Actuen com a reguladors evitant fluctuacions nocives per als consums.



Font: ATERSA

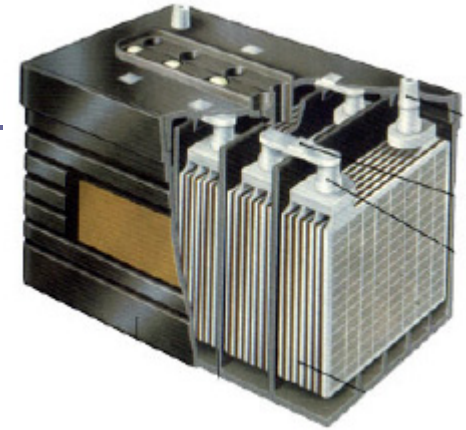
Bateria o acumulador (II)

- Una bateria està formada per l'associació sèrie de diversos elements, vasos o cel·les, cadascun dels quals consta de 2 elèctrodes de diferent material (matèria activa) immersos en una dissolució electrolítica. Entre els elèctrodes s'estableix una diferència de potencial, gràcies a una **reacció electroquímica**.
- Aquesta reacció és **reversible**: en un sentit es carrega la bateria i en l'altre es descarrega.
- No tota l'energia que entra en la bateria es pot retirar després, ja que una part **es perd**.
- Les bateries estan formades per associació sèrie de diverses cèl·lules, i les més comunes són de 12, 24 o 48 volts de tensió nominal.



Tipus de bateries

- Bateria de plom-àcid (bona relació preu-qualitat → més utilitzades, en el 90% dels casos)
- Bateria de níquel-cadmi (bones prestacions, preu elevat). Tenen les següents característiques:
 - Suporten descàrregues més elevades.
 - Estalvi considerable de capacitat de bateries.
 - La tensió per element es manté més estable.
 - La seua vida és més llarga.
 - Poden resistir temperatures més altes.
 - Suporten curtcircuits fortuïts sense deteriorar-se.
 - Suporten la falta d'aigua; funcionen de nou quan se n'hi afegeix.



www.atersa.es

Tipus: Bateries de plom-àcid

- És el tipus de bateria més emprat en sistemes fotovoltaics autònoms amb una quota de mercat del 90%.
- L'elèctrode positiu de la bateria està compost per diòxid de plom (PbO_2) i el negatiu per plom metàl·lic (Pb). Ambdós elèctrodes estan submergits en una dissolució d'àcid sulfúric (SO_4H_2), la densitat nominal de la qual ha de ser d'1,24 g/cm³. El voltatge nominal de la cèl·lula és de 2 V.

Avantatges

Gran disponibilitat.

Baix cost.

Rendiment moderat.

Alt nombre de cicles de vida.

Baix nivell d'autodescàrrega.

Desavantatges

Baixa densitat d'energia.

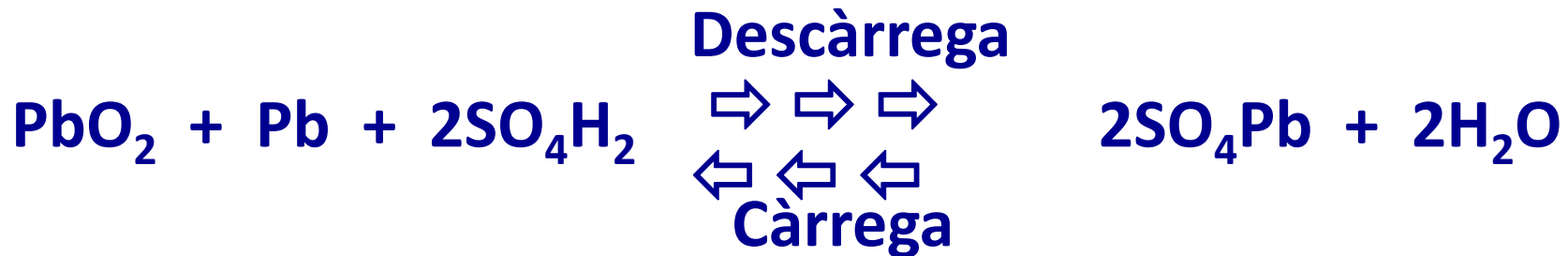
Deteriorament davant descàrregues profundes.

Deteriorament davant sobrecàrregues.

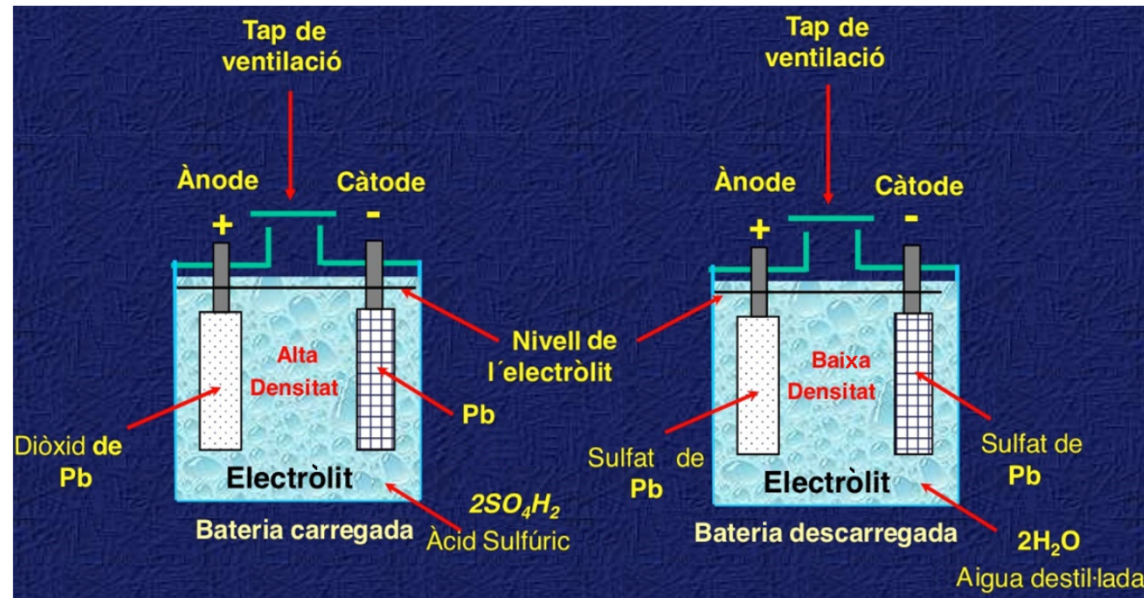
Requereixen manteniment.

Tipus: Bateries de plom-àcid

PROCÉS QUÍMIC: (procés d'oxidació-reducció)

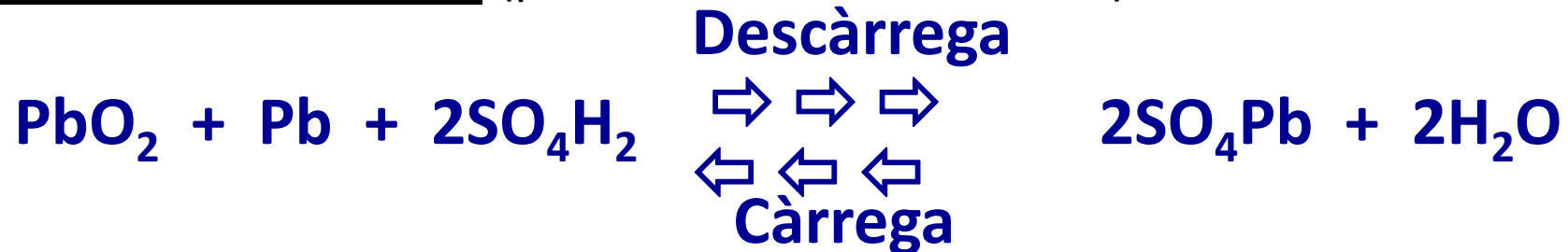


En la descàrrega els dos elèctrodes passen a l'estat de sulfat de plom ($2\text{SO}_4\text{Pb}$) amb formació d'aigua a l'ànode. Aquest procés suposa consum d'electròlit (disminueix la seua densitat) i canvi de volum dels materials actius.

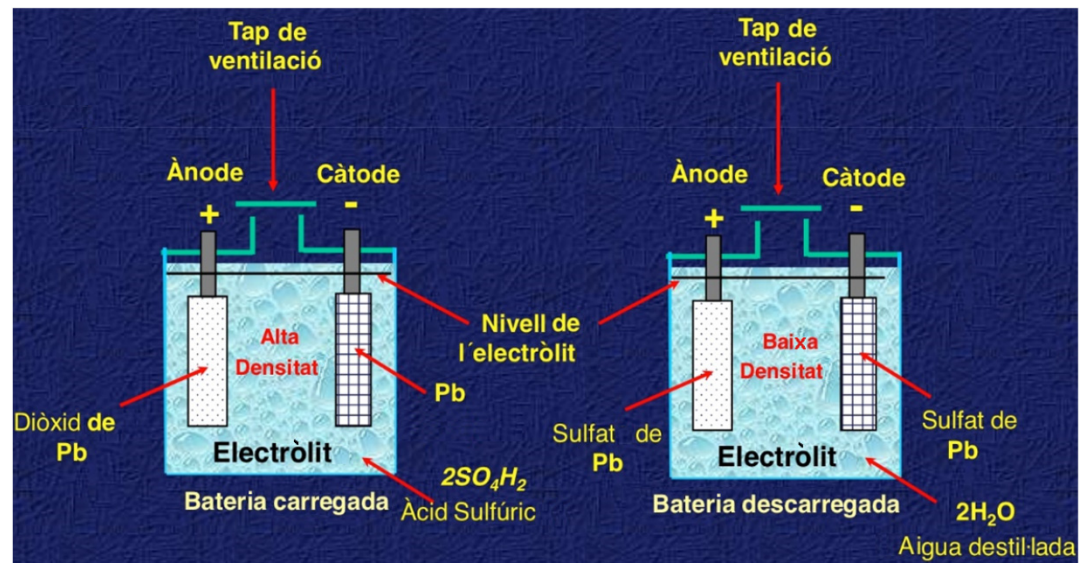


Tipus: Bateries de plom-àcid

PROCÉS QUÍMIC: (procés d'oxidació-reducció)

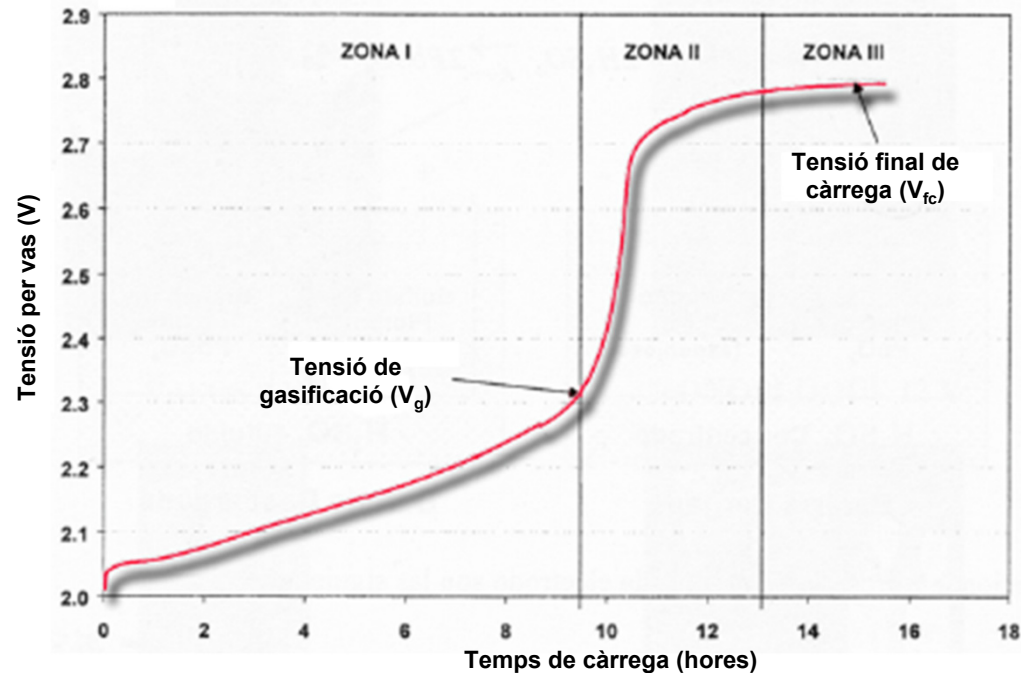


En la càrrega el sulfat de plom (SO_4Pb) es transforma en òxid de plom, plom i àcid. A més, es produeix l'electròlisi de l'aigua, amb alliberament d'oxigen i hidrogen (gasificació). L'àcid, més dens, tendeix a concentrar-se en el fons per gravetat (estratificació) encara que la gasificació redueix aquesta estratificació, ja que permet una homogeneïtzació de l'electròlit per l'agitació que produeixen les bombolles del procés de gasificació.



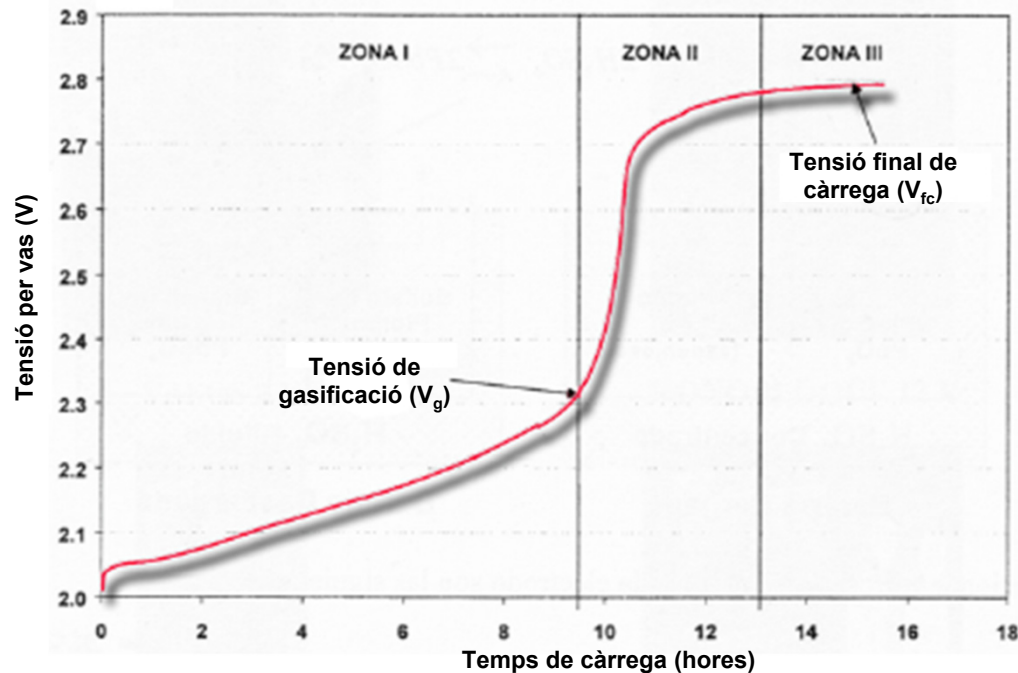
Característiques de la càrrega (I)

- Es caracteritza a corrent constant:



Zona I. El voltatge de càrrega va augmentant de forma suau i lineal. Tot el corrent que circula a través de la bateria s'utilitza per a **restablir els materials actius d'acord a la reacció reducció-oxidació**.

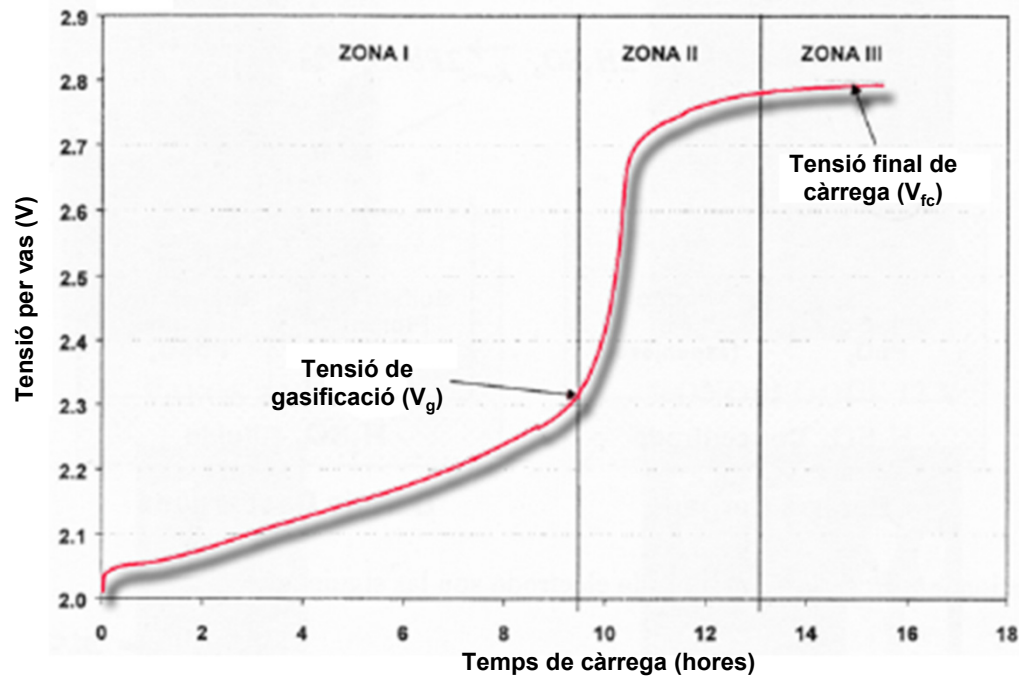
Característiques de la càrrega (II)



Zona II: El voltatge presenta una pujada brusca. En aquesta segona etapa se superposen dos fenòmens:

- Primer es continuen produint materials actius com en la zona I, i,
- segon, els **reactius que produeixen els materials actius comencen a escassejar i per això la part del corrent que arriba a la bateria s'inverteix en la hidròlisi de l'aigua de la dissolució** (ruptura de les molècules d'aigua alliberant oxigen i hidrogen). Aquest fenomen es denomina gasificació i el voltatge al qual comença a manifestar-se es denomina **voltatge de gasificació (V_g)**

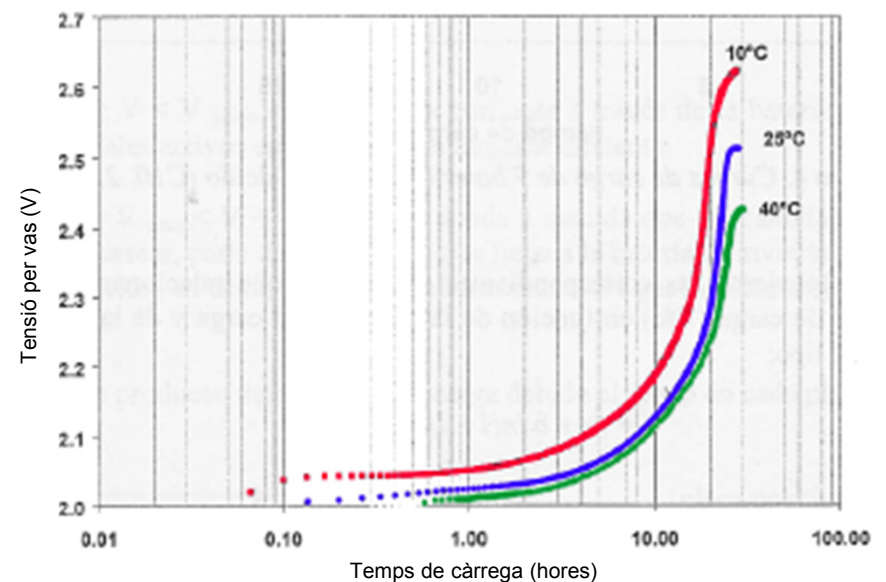
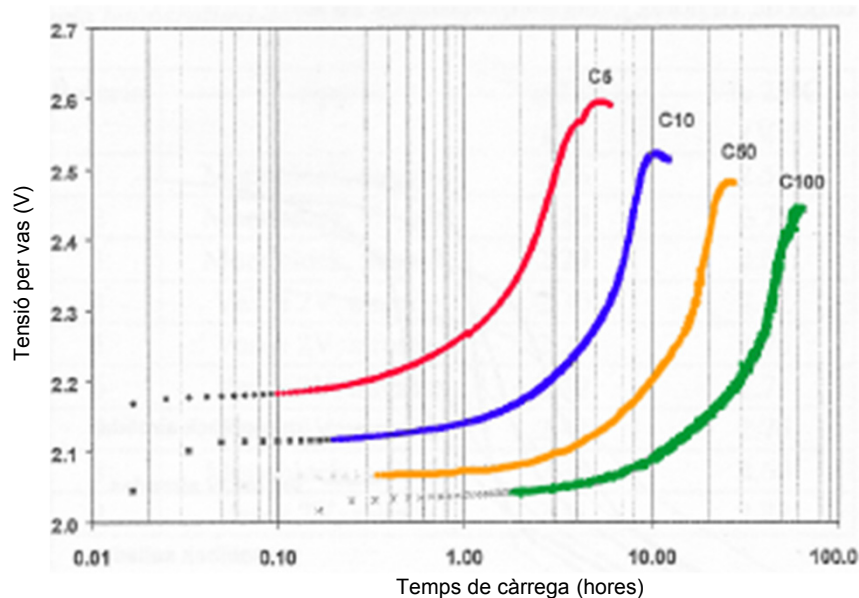
Característiques de la càrrega (III)



Zona III. El voltatge aconseguix un valor estable. En aquesta última etapa els materials actius s'han restituit i tot el corrent que arriba a la bateria s'inverteix en la hidròlisi de l'aigua. El voltatge estable al qual arriba la bateria al final de la càrrega s'anomena **voltatge final de càrrega** (V_{fc}).

Característiques de la càrrega (IV)

- La càrrega de la bateria depèn de:
 - **El corrent de càrrega:** A més rapidesa del procés de càrrega (més intensitat en menys temps), més alt és el voltatge de finalització de càrrega.
 - **La temperatura:** Com menor siga la temperatura de la bateria en el procés de càrrega major és el voltatge de finalització de càrrega.

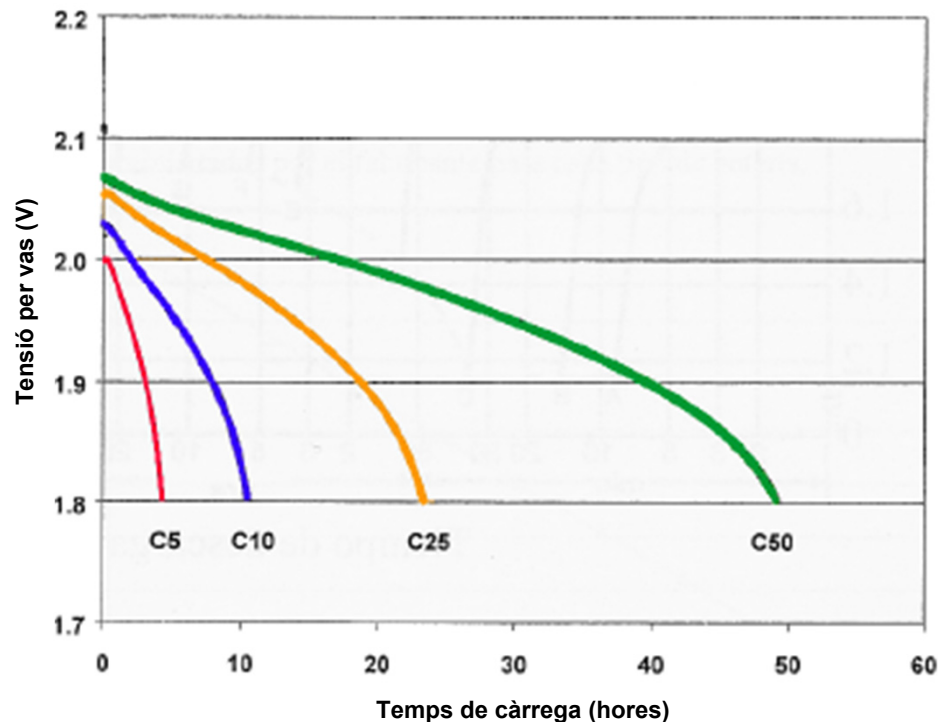


Característiques de la càrrega (V)

- ❑ **Sobrecàrrega:** Quan en el procés de càrrega l'acumulador arriba al límit de la seua capacitat. Si en aquest moment se li segueix injectant energia, l'aigua de la dissolució es comença a **descompondre, produint oxigen i hidrogen**. Aquest fenomen de **gasificació** és perjudicial per la **pèrdua d'aigua** que suposa, i perquè **oxida l'elèctrode positiu**. D'altra banda, la gasificació presenta un avantatge, i és que **evita el fenomen de l'estratificació** produïda a causa dels continus cicles de càrrega i descàrrega que pateix la bateria, i que deriva en el fet que l'àcid tendeix a concentrar-se en el fons, disminuint la capacitat nominal de la bateria.

Característiques de la descàrrega (I)

- La descàrrega és el procés pel qual l'energia electroquímica emmagatzemada en la bateria es transforma en energia elèctrica.
- Es caracteritza a corrent constant.



La capacitat d'una bateria depèn de la seua velocitat de descàrrega. A major velocitat, menor capacitat d'Ah tindrem disponible.

Característiques de la descàrrega (II)

- **Sobredescàrrega:** Hi ha també un límit per al procés de descàrrega, passat el qual l'acumulador es **deteriora de manera important**. En aquest cas es **dificulta enormement la reacció química** interna fins a arribar un moment en el qual ja no es pot extraure corrent. Si **aquesta descàrrega profunda dura molt de temps**, la bateria pot arribar a desbaratar-se de manera irreversible a causa de la **formació de cristalls de sulfat** que ja no es poden descompondre més i que suposen una disminució de la capacitat de la bateria com a efecte de la sulfatació.

Bateria: Paràmetres característics (I)

- **Tensió nominal** (V_{NBat}): Sol ser de 12, 24 o 48 volts.
- **Capacitat nominal** (C_{NBat}): Quantitat màxima d'energia que es pot extraure de la bateria quan està totalment carregada i l'anem descarregant fins que la tensió arriba a un valor V_{min} .

$$C_{NBat} = I_{Descàrrega} \cdot t_{Descàrrega} [Ah]$$

Es pot expressar també en Wh:

$$C_{NBat} (Wh) = C_{NBat} (Ah) \cdot V_B (V)$$

$$1 Ah = 3600 C$$

Bateria: Paràmetres característics (II)

- **Profunditat de descàrrega (P_D):** Valor, en tant per cent, de l'energia que s'ha tret d'un acumulador plenament carregat en una descàrrega. Exemple: Si se sotmet a una bateria de 100 Ah a una descàrrega de 20 Ah, la profunditat de descàrrega serà del 20%.
 - Es parla de descàrregues superficials (de menys del 20%) o profundes (fins a 80%).
 - Com menys profunds siguen els cicles de càrrega/descàrrega, **més durarà l'acumulador**. Fins i tot pot quedar totalment danyat si es descarrega totalment.
- **La vida d'una bateria.** Es defineix el temps de vida o vida útil d'una bateria com el nombre de cicles que pot suportar conservant una capacitat residual per sobre del 80% de la seua capacitat nominal.

Bateria: Paràmetres característics (III)

- Factors que afecten la vida útil de la bateria (I):
 - **Història de la bateria:** Si una bateria porta un llarg període **sense ser recarregada completament** (recarregues parcials), es produeix **un efecte memòria (sulfatació)** → Quan una bateria es descarrega, la massa activa dels terminals positiu i negatiu es converteix en petits cristalls de sulfat. Si la bateria no es recarrega ràpidament, aquests cristalls creixen fins a formar una capa impermeable que no podrà ser reconvertida en material actiu. El resultat és una pèrdua progressiva de capacitat fins que la bateria es torna inservible; són necessaris diversos cicles de càrrega i descàrrega per a recuperar-la. Cada cert temps és aconsellable fer una càrrega al 100%.
 - **Profunditat de descàrrega (P_D):** Com més gran siga la descàrrega en cada cicle (major P_D) menor serà la vida útil de la bateria, per la pèrdua de material actiu.

Les bateries no haurien de ser MAI descarregades completament ni deixar-se descarregades.

Bateria: Paràmetres característics (IV)

- Factors que afecten la vida útil de la bateria (II):
 - **Sobrecàrrega:** En el procés de càrrega s'ha d'aconseguir un voltatge tal que **evite una excessiva gasificació**, però que ajude a evitar l'estratificació de l'electròlit. Una sobrecàrrega dóna com a resultat una excessiva gasificació i una consegüent pèrdua d'aigua, la qual no pot ser recuperada en el cas de bateries segellades.
 - **Temperatura:** Com més gran és la temperatura d'operació menor serà el temps de vida de la bateria. Es recomana una temperatura de treball entre 20-25 °C. A més, les descàrregues ràpides (a gran corrent) també augmenten la temperatura.
 - **Corrosió:** Sol aparèixer en ambients agressius. Produeix l'augment de la resistència òhmica, i pot donar lloc a punts calents localitzats, a més provoca que el corrent no es distribuísca uniformement per tots els vasos de la bateria.

Bateria: Paràmetres característics (V)

- **Capacitat útil o disponible (C_{UBat}):** És la capacitat de la qual realment es pot disposar.

$$C_{UBat} = C_{NBat} \cdot P_{Dmax}$$

P_{Dmax} : Profunditat de descàrrega màxima en tant per un.

- **Estat de càrrega (SOC):** Quocient entre la capacitat de la bateria en un moment determinat i la que té quan està totalment carregada (capacitat nominal). La P_D , doncs, representa el contrari que el SOC. Per exemple, si una instal·lació amb una bateria de 100 Ah ha consumit 40 Ah, llavors la seua SOC és del 60% i la seua P_D del 40%.

$$SOC = \frac{\text{Capacitat Actual}}{\text{Capacitat Nominal}}$$

Bateria: Paràmetres característics (VI)

- **Règim de càrrega (o descàrrega):** Temps en hores que tardem a restablir (o descarregar) la càrrega d'una bateria. Serà funció, per tant, del corrent de càrrega (descàrrega) i es defineix com a:

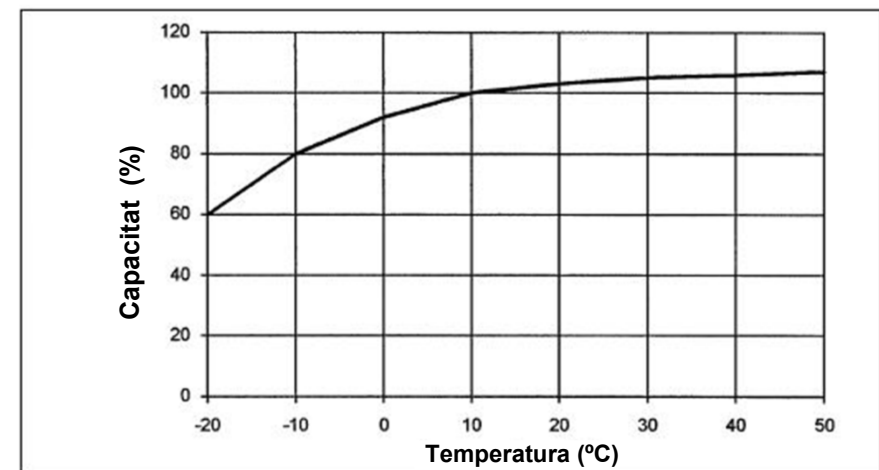
$$RC = \frac{\text{Capacitat Nominal [Ah]}}{\text{Corrent de càrrega (descàrrega) [A]}}$$

- Exemple: Per a una bateria de 300 Ah es parla de règim de càrrega (descàrrega) C_{10} quan s'apliquen (extrauen) 30 A, de tal manera que en 10 h es restableix (extrau) la capacitat.
- En sistemes FV es consideren règims de càrrega i descarrega lents (100 h $\rightarrow C_{100}$)
- Com la capacitat de la bateria augmenta quan aquesta es descarrega més lentament, aquesta capacitat s'ha d'especificar per a un determinat règim de descàrrega. De manera general es compleix que $C_{100} \approx 1,35 \cdot C_{10}$

Bateria: Efecte de la temperatura (I)

- La temperatura afecta de manera important les característiques de la bateria:
 - D'una banda, la **capacitat nominal d'un acumulador** (que el fabricant sol donar per a 25°C) **augmenta amb la temperatura** a raó d'un 1%/°C, aproximadament. Però si és massa alta, la reacció química que té lloc en la bateria s'accelera, la qual cosa **pot provocar l'oxidació**, que **redueix la vida de l'acumulador**.

Temperatura de l'electròlit (°C)	Reducció de la vida útil (%)
25	0
30	30
35	50
40	65
45	77
50	87
55	95



Bateria: Efecte de la temperatura (II)

- La temperatura afecta de manera important les característiques de la bateria:
 - Si la temperatura és baixa, la vida útil augmenta, però es corre el risc de congelació. La temperatura de congelació depèn de la densitat de la dissolució, que està directament relacionada amb l'estat de càrrega de la bateria: com més gran és la densitat, menor és la temperatura de congelació. Per això, per a prevenir la congelació és millor tenir les bateries carregades que descarregades, la qual cosa afecta la màxima profunditat de descàrrega admissible.

Estat de càrrega (%)	Temperatura de congelació de l'electròlit (°C)
100	-58,0
75	-34,4
50	-20,0
25	-15,0
Descarregada	-10,0

Bateria: Selecció

- Per a la selecció de la bateria o acumulador en una aplicació fotovoltaica cal tenir en compte:
 - Tensió de funcionament.
 - Descàrrega màxima final i dies d'autonomia.
 - Temperatura mitjana de funcionament.
 - Temperatura mínima.
 - Dies consecutius en els quals es poden produir baixes temperatures.
 - Tipus de regulador usat.
 - Facilitat d'accés al muntatge i manteniment de l'acumulador en el lloc de la instal·lació.

Connexió de bateries

- Les connexions possibles són:
 - Connexió en sèrie: S'augmenta la tensió i es manté la capacitat.
 - Connexió en paral·lel: augmentem la capacitat i es manté la tensió.
 - Connexió mixta (sèrie-paral·lel): S'augmenta tant la capacitat com la tensió.
- Nota: No s'han de connectar vasos o bateries de diferents característiques.

Exemple de dimensionament de les bateries

- Es desitja fer el càlcul de les bateries necessàries per a la instal·lació solar FV d'un habitatge que té un consum de 1656 Wh/dia. Tenint en compte que es desitja una autonomia de 4 dies i la profunditat de descàrrega és del 75%. Seleccionem bateries de 250 Ah i 12 V. La tensió nominal de la instal·lació és de 12 V.

- Solució:

- La càrrega que han de subministrar les bateries és: $\frac{1656 \text{ Wh} / \text{dia}}{12 \text{ V}} = 138 \frac{\text{Ah}}{\text{dia}}$

- Aquests Ah els ha de poder subministrar durant 4 dies, per la qual cosa la seua capacitat útil ha de ser de:

$$C_{UBat} = 138 \frac{\text{Ah}}{\text{dia}} \cdot 4 \text{ dies} = 552 \text{ Ah}$$

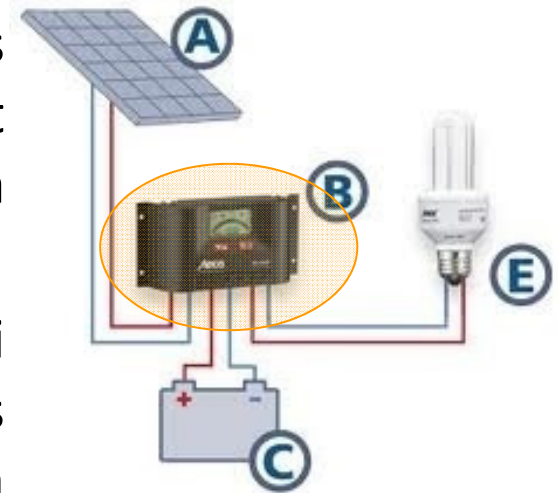
- I, d'acord amb la profunditat de descàrrega, la capacitat nominal de la bateria seleccionada ha de ser:

$$C_{NBat} = C_{UBat} / P_{Dm\acute{a}x} = 552 / 0,75 \text{ Ah} = 736 \text{ Ah}$$

- Seleccionarem, per tant, 3 bateries de 250 Ah connectades en paral·lel.

Regulador (I)

- ❑ El funcionament de les bateries, les seues prestacions i el seu temps de vida, depenen molt de com es duen a terme els processos de càrrega i descàrrega.
- ❑ El regulador és un equip encarregat de controlar i regular el pas de corrent elèctric des dels mòduls fotovoltaics cap a les bateries. Funcionen com a carregadors de bateries.
- ❑ Tenen com a missió:
 - ❑ Evitar la **descàrrega de l'acumulador a través del generador FV**. Quan per alguna raó, nit, baixa insolació, ombres, etc., els panells no poden carregar les bateries de l'acumulador, el regulador aïlla l'acumulador del generador, i n'evita així la descàrrega.
 - ❑ Prevenir la **sobredescàrrega** de la bateria. Desconnectar els consums de la bateria quan l'estat de càrrega de la bateria és molt baix.

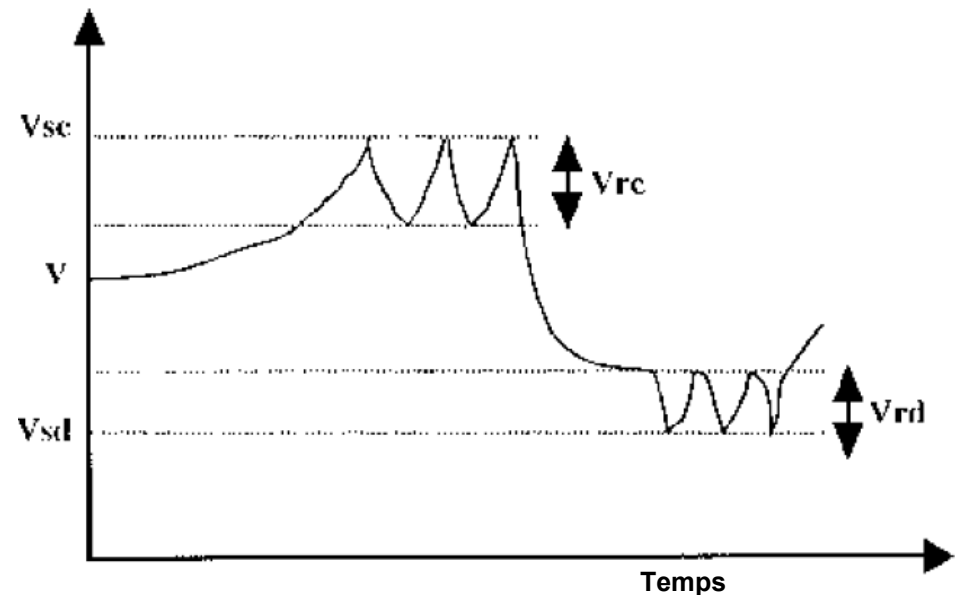


Regulador (II)

- ❑ **Reiniciar el procés de càrrega de l'acumulador.** Quan la irradiació solar augmenta i la tensió del generador supera la de l'acumulador, el regulador ha d'activar de nou el procés de càrrega.
- ❑ **Controlar el nivell de càrrega de l'acumulador.** Quan s'arriba a un nivell de càrrega òptim de l'acumulador i per a **evitar sobrecàrregues** que puguen produir una gasificació excessiva de l'electròlit, el regulador ha de tallar l'alimentació des del generador a l'acumulador.
- ❑ **Facilitar a l'usuari informació sobre l'estat de l'acumulador.** És molt habitual que els reguladors subministren informació sobre els valors de tensió de l'acumulador, intensitat que subministra, estat de càrrega, etc.

Regulador (III)

- El regulador ha de controlar el voltatge, que serà una indicació de l'estat de càrrega de la bateria. Els punts de regulació seran, per tant:
 - **Tensió de tall de sobrecàrrega V_{sc}** , que és la màxima tensió a què el regulador permet que arribe la bateria.
 - **Tensió de rearmament de càrrega V_{rc}** , que és una tensió d'histèresi per a tornar a connectar el generador per a carregar la bateria.
 - **Tensió de tall de sobredescàrrega V_{sd}** , que és el **valor** mínim de tensió abans de desconnectar el consum.
 - **Tensió de rearmament de descàrrega V_{rd}** , que és una **tensió d'histèresi** abans de tornar a connectar el consum a la bateria.

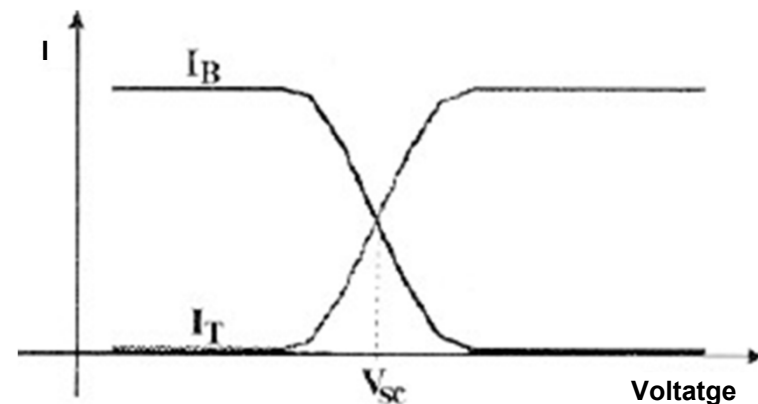
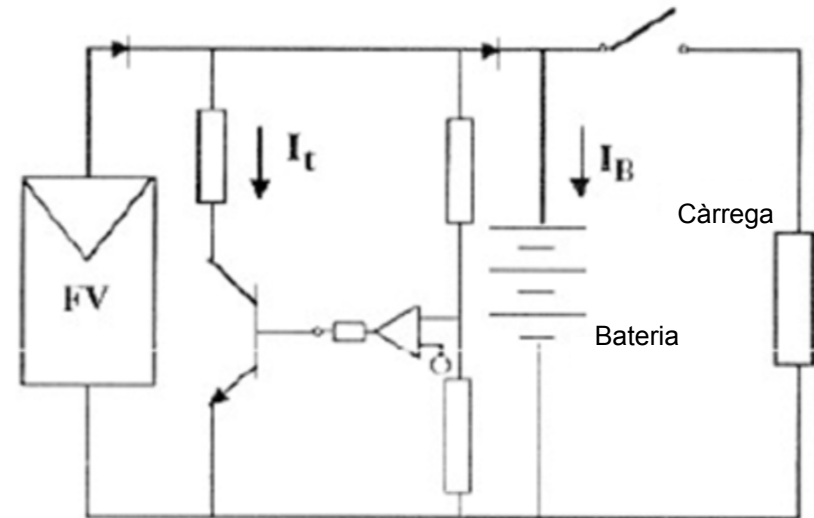


Tipus de reguladors: sèrie i paral·lel

- La forma d'evitar la sobrecàrrega és desconnectar les bateries dels panells. Aquesta desconnexió es pot fer de dues maneres, les quals donen lloc als reguladors de tipus sèrie i tipus paral·lel:
 - El regulador en sèrie talla el corrent quan s'arriba al valor establert.
 - El regulador en paral·lel deriva el corrent a una resistència.

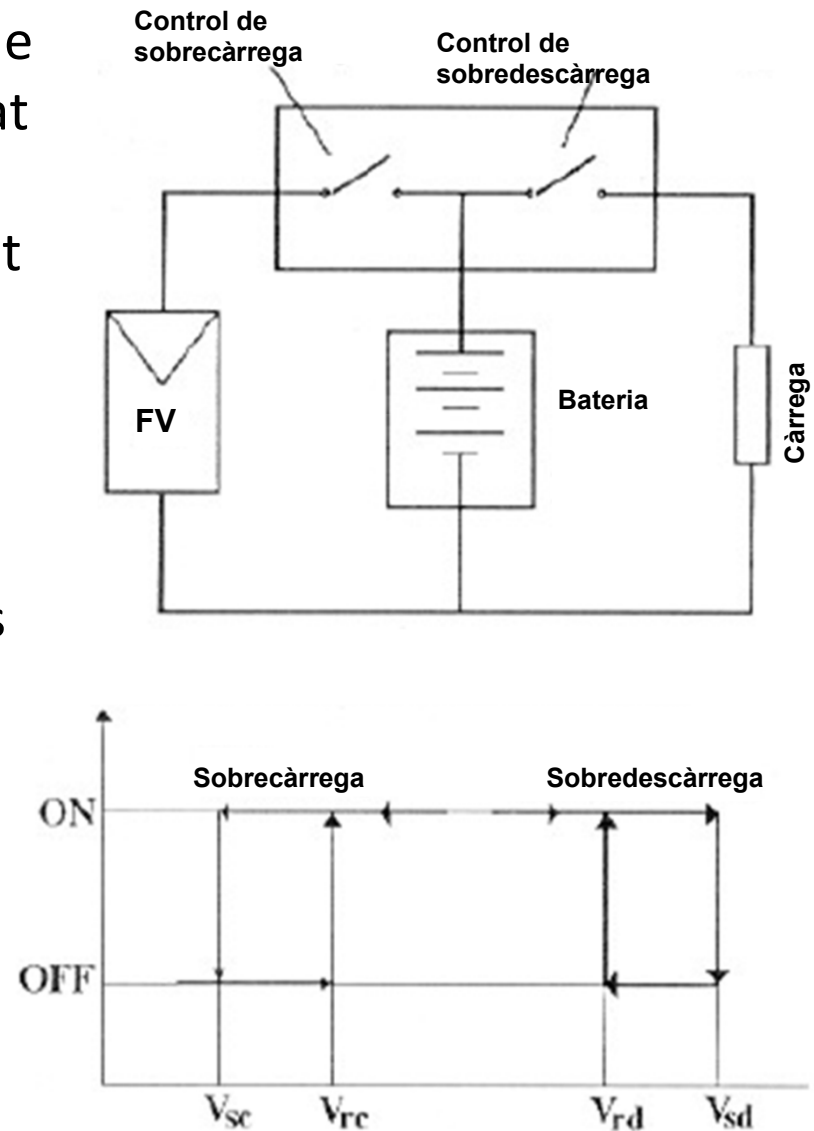
Paral·lel

- Quan la tensió de les bateries arriba al nivell de sobrecàrrega (V_{sc}) el corrent dels panells és desviat a un circuit que està en paral·lel amb l'acumulador (curtcircuitant el generador).
- Quan la tensió de bateria baixa per sota d'un valor mínim, predeterminat (V_{rc}), el procés de càrrega es restableix novament.
- **Indicat en instal·lacions petites.**



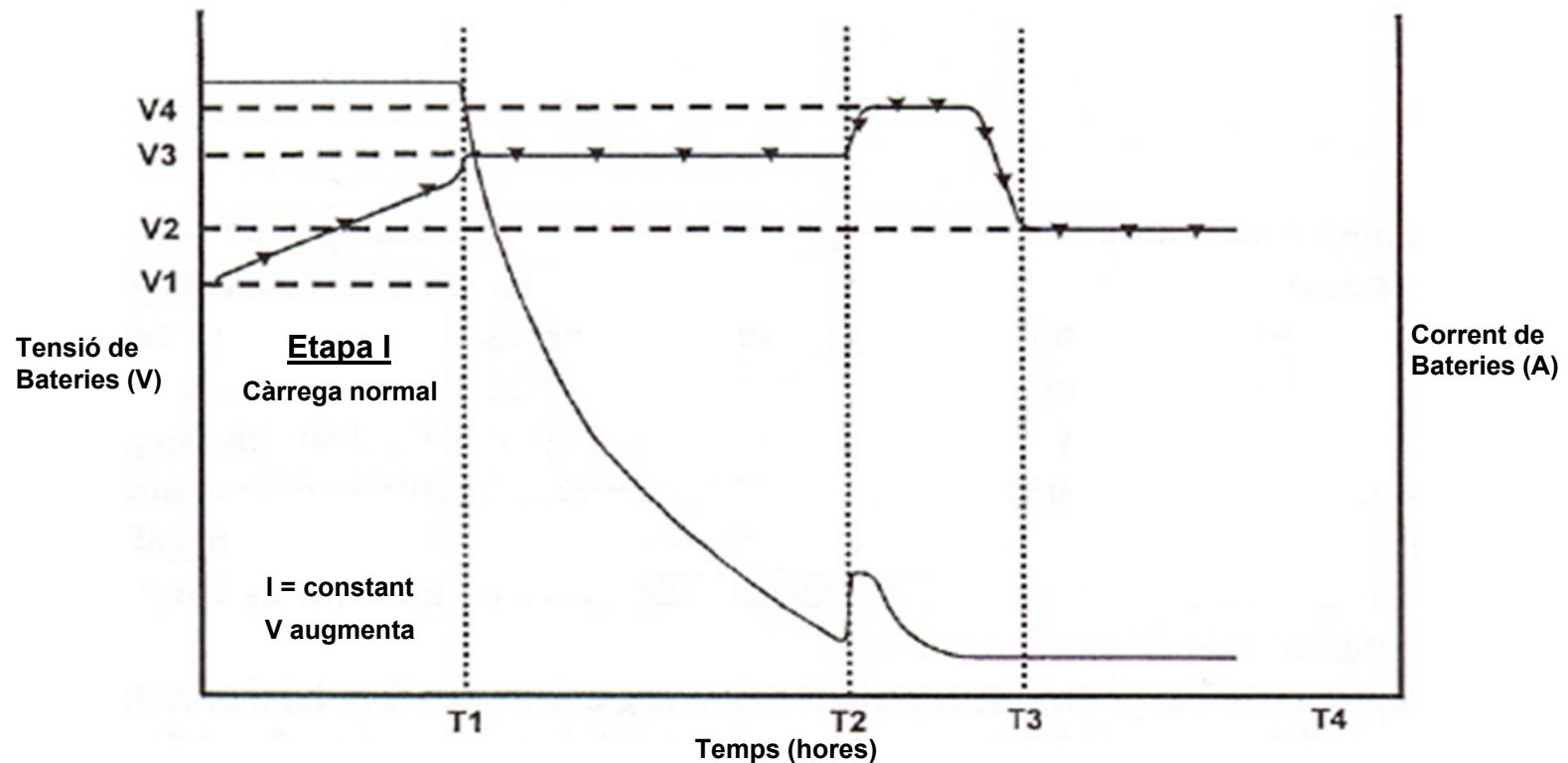
Sèrie

- En aquests reguladors, quan la tensió de les bateries arriba a un valor determinat (~ 90 al 95% del màxim), cosa que suposa que estan carregades, el corrent procedent dels panells s'interromp mitjançant el tall de la línia que comunica el camp fotovoltaic amb l'acumulador.
- L'interruptor de tall evita també que es pugui produir la descàrrega de les bateries a través del generador.
- Aquest interruptor de tall no dissipa potència quan està interrompent el corrent de càrrega, per la qual cosa aquest tipus de reguladors és adequat per a instal·lacions de qualsevol potència.



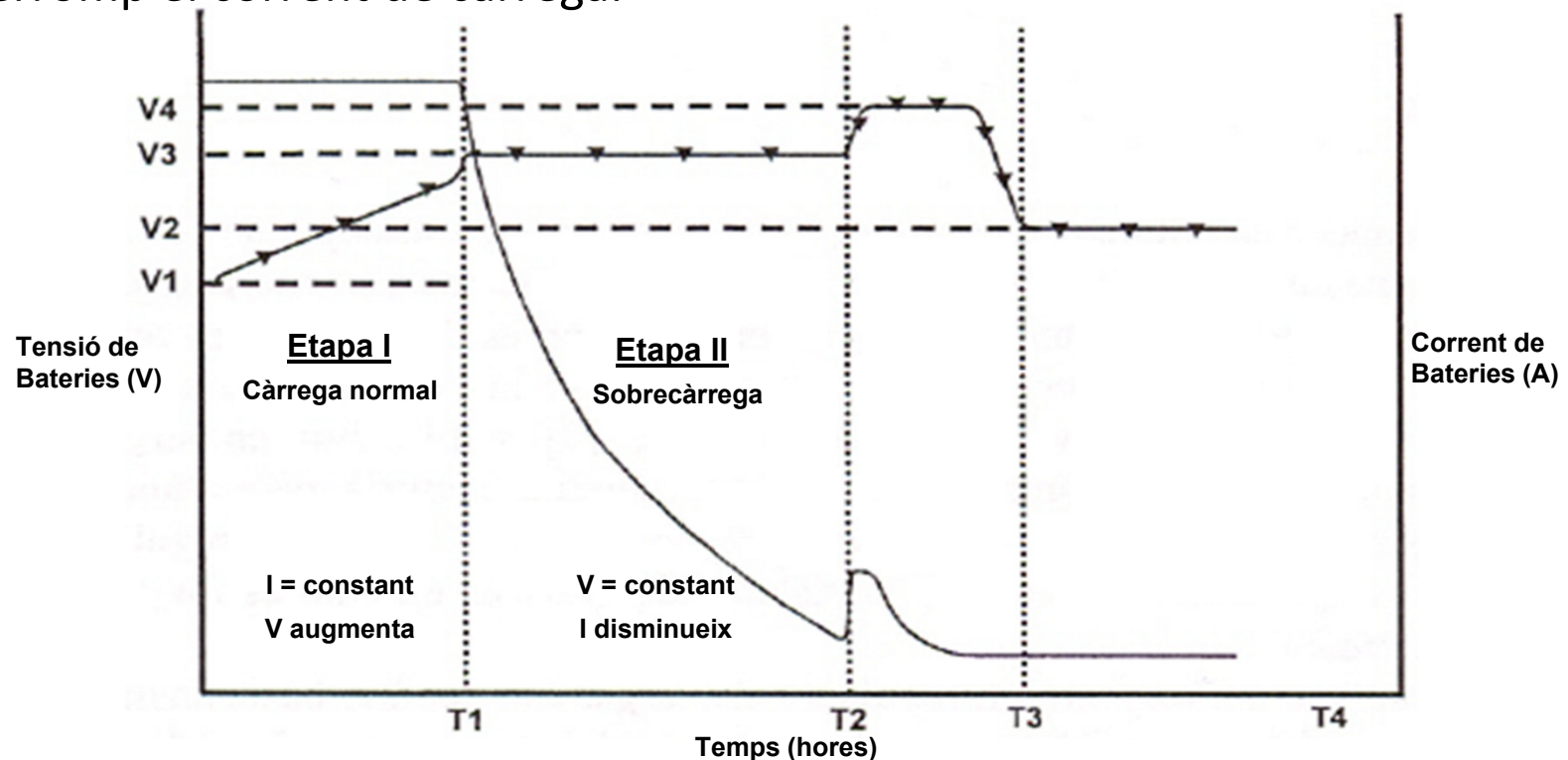
Fases de control de càrrega de la bateria (I)

- **Primera etapa: càrrega inicial o fase Bulk.** El regulador inicia el procés de càrrega i permet el pas de tot el corrent disponible en el generador cap a la bateria, de tal manera que la tensió augmenta ràpidament fins a arribar a un voltatge de 2,4 V/vas (14,4 V per a una bateria de 12 V), la qual cosa suposa una càrrega del 80-90%.



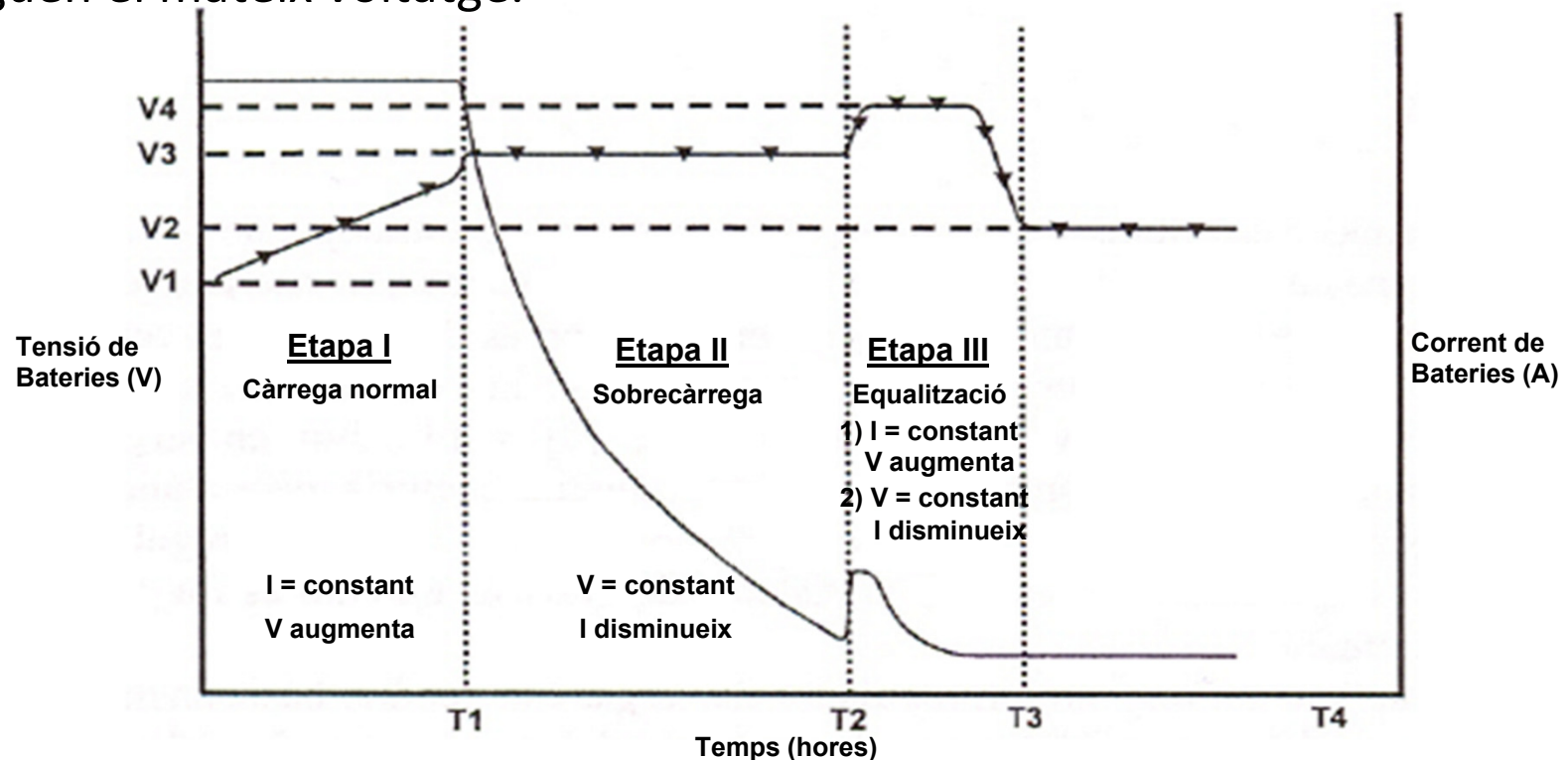
Fases de control de càrrega de la bateria (II)

- **Segona etapa: Etapa d'absorció.** El regulador manté el voltatge a què s'ha arribat al final de l'etapa Bulk, denominat límit d'absorció i el corrent de càrrega disminueix lentament fins que la bateria es carrega al 100%. La finalitat d'aquesta etapa és recuperar l'electròlit, que pogués haver-se vist alterat en processos de descàrrega profunda. En els sistemes de regulació més senzills ací finalitza el procés de càrrega i el regulador interromp el corrent de càrrega.



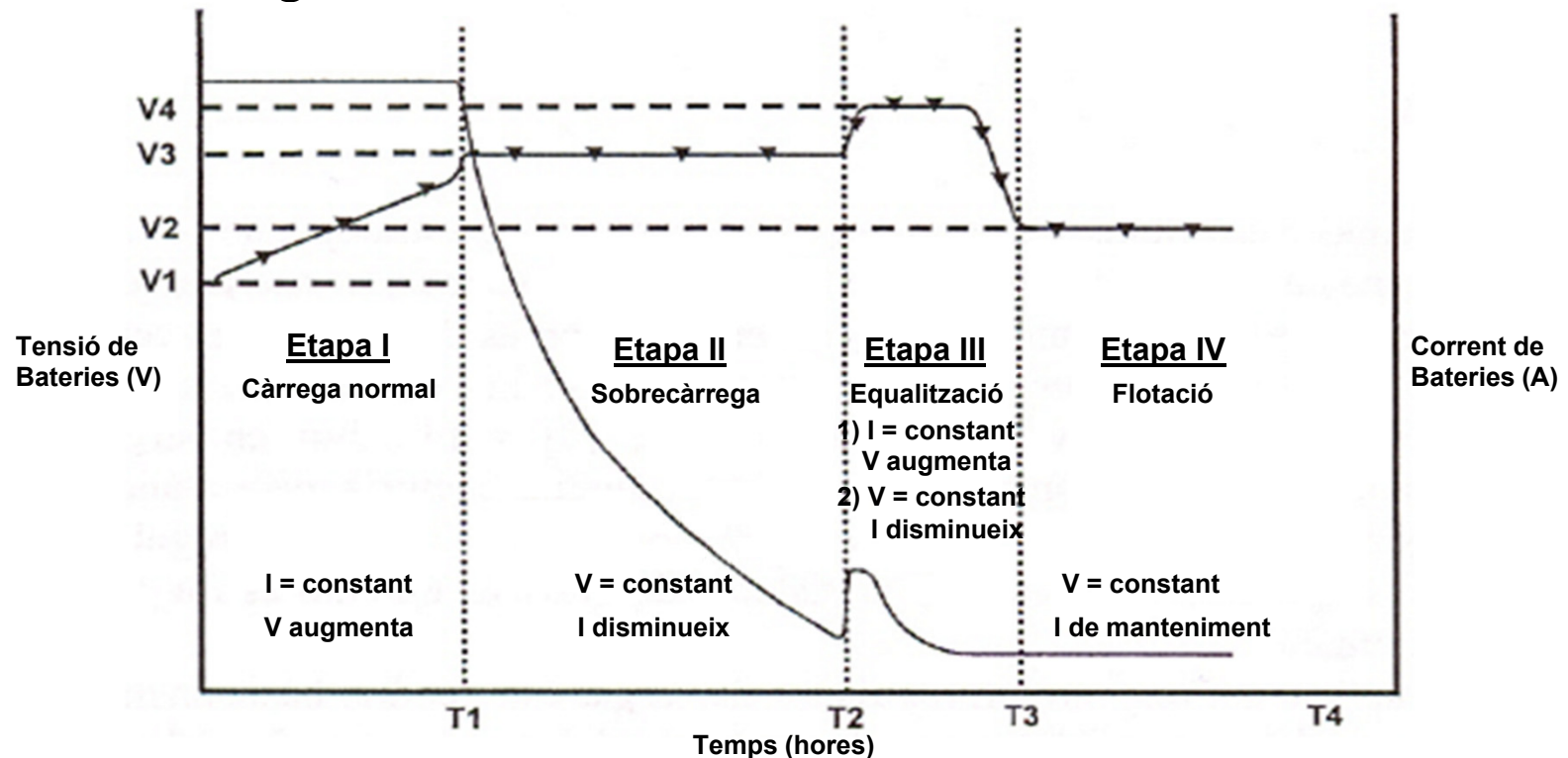
Fases de control de càrrega de la bateria (III)

- Terçera etapa: Etapa d'equalització.** Periòdicament, o **després d'un baix estat de càrrega**, com a mètode correctiu, es pot sotmetre la bateria a una lleugera sobrecàrrega controlada, amb la finalitat de produir la gasificació i que la dissolució arribi a ser homogènia. D'aquesta manera evitem que en la part inferior hi haja una densitat major. Després d'aquesta etapa aconseguim que totes les cèl·lules tinguin el mateix voltatge.



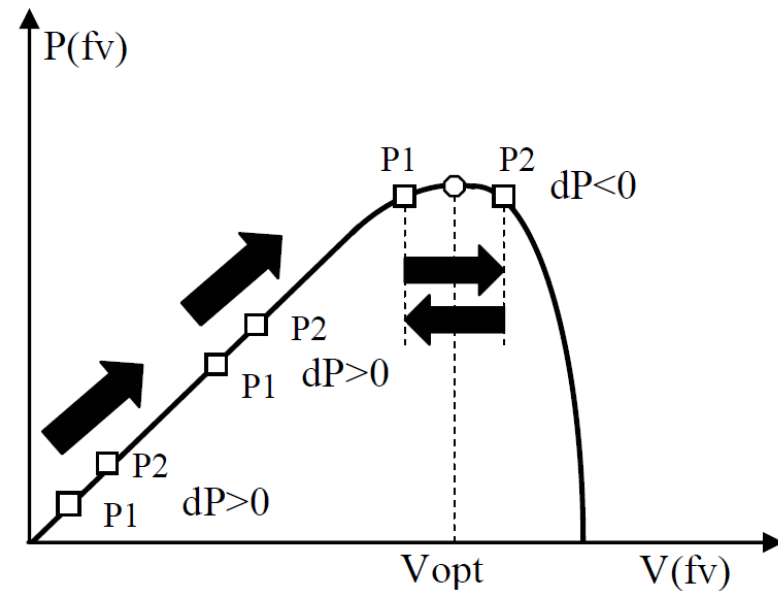
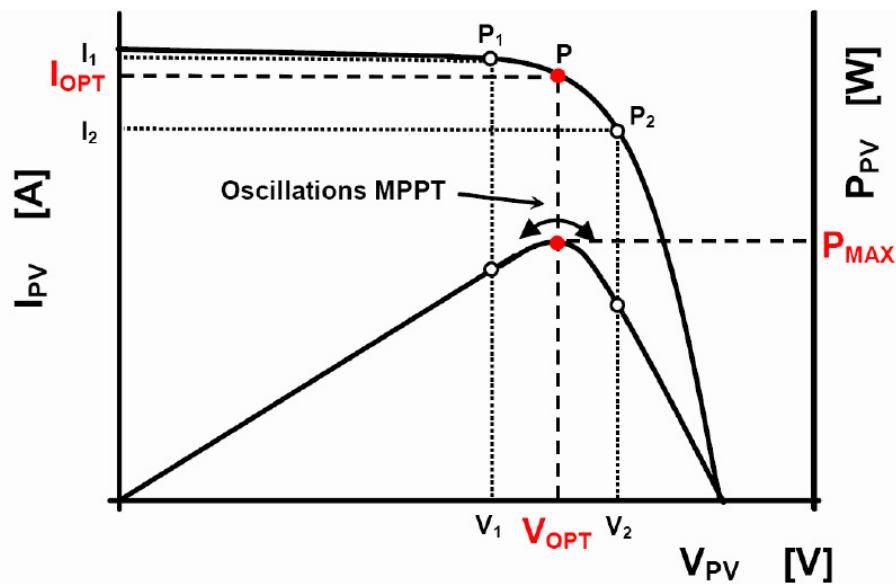
Fases de control de càrrega de la bateria (IV)

- Quarta etapa: Etapa de flotació.** En aquesta fase la bateria ja està carregada al 100% i el que es fa és **proporcionar el corrent necessari per a compensar l'autodescàrrega**. Per a fer això, es fixa una regulació de tensió a un valor entre el 90-95% de la càrrega màxima, de tal manera que si la tensió de la bateria baixa d'aquest valor es reprèn la càrrega.



MPPT

En l'actualitat la majoria dels reguladors de càrrega disposen d'una funció que permet maximitzar l'energia capturada pel panell fotovoltaic mitjançant l'ús de tècniques de control de seguiment i cerca del punt de màxima potència (MPPT – Maximum Power Point Tracking).



Dimensionament del regulador

- Màxim corrent d'entrada permès per al regulador. Ha de ser un 20% superior al corrent màxim del generador FV.

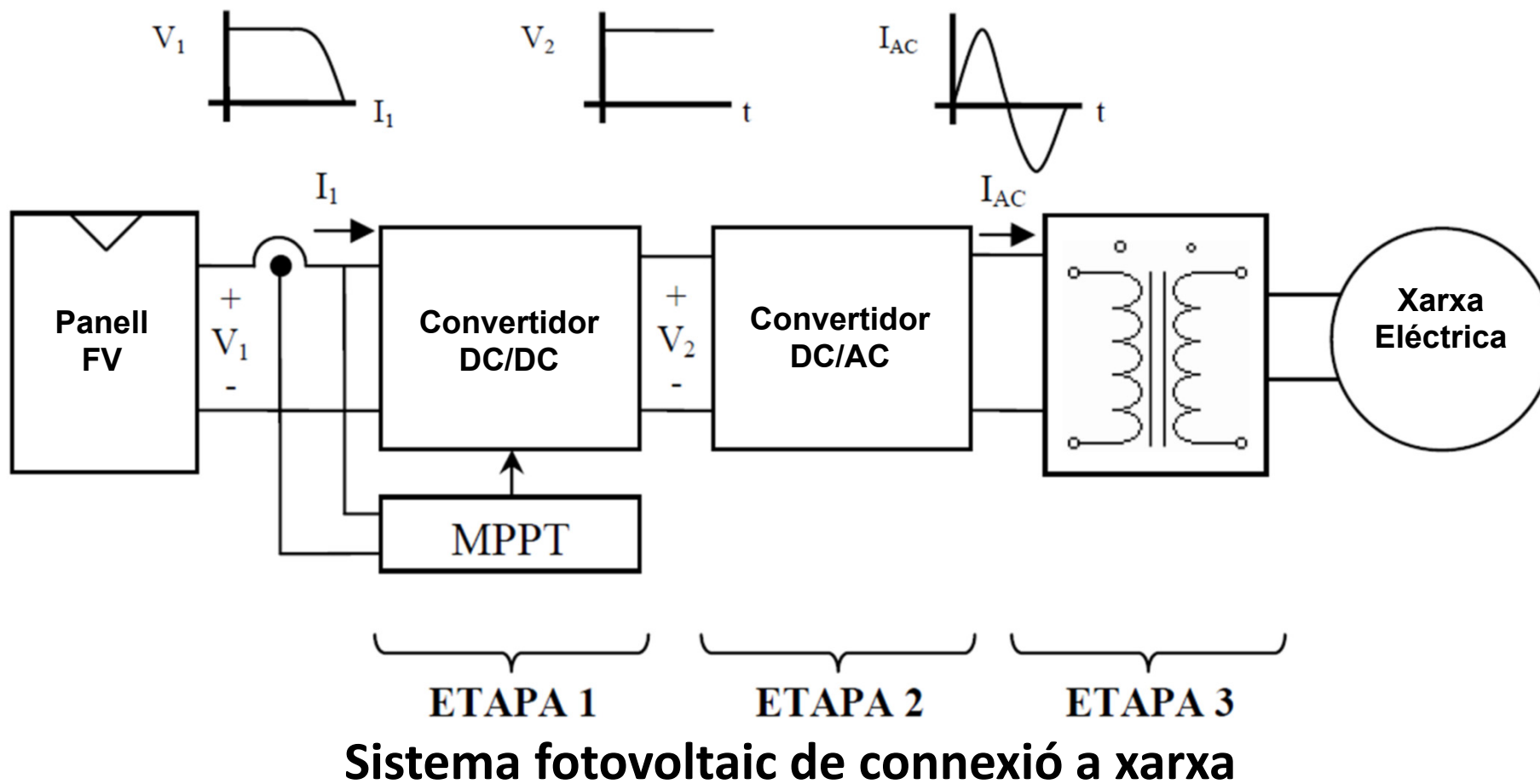
$$I_{\max\text{Reg}} = 1,2 \cdot N_{\text{pp}} \cdot I_{\text{PMax}}$$

- Tensió de treball (d'eixida del regulador): 12, 24 o 48 V.
- Tensió màxima d'entrada amb què ha de poder operar el regulador:

$$V_{\text{REG,max}} = 1,1 \cdot V_{\text{OC,mod}} \cdot N_{\text{S,mod}}$$

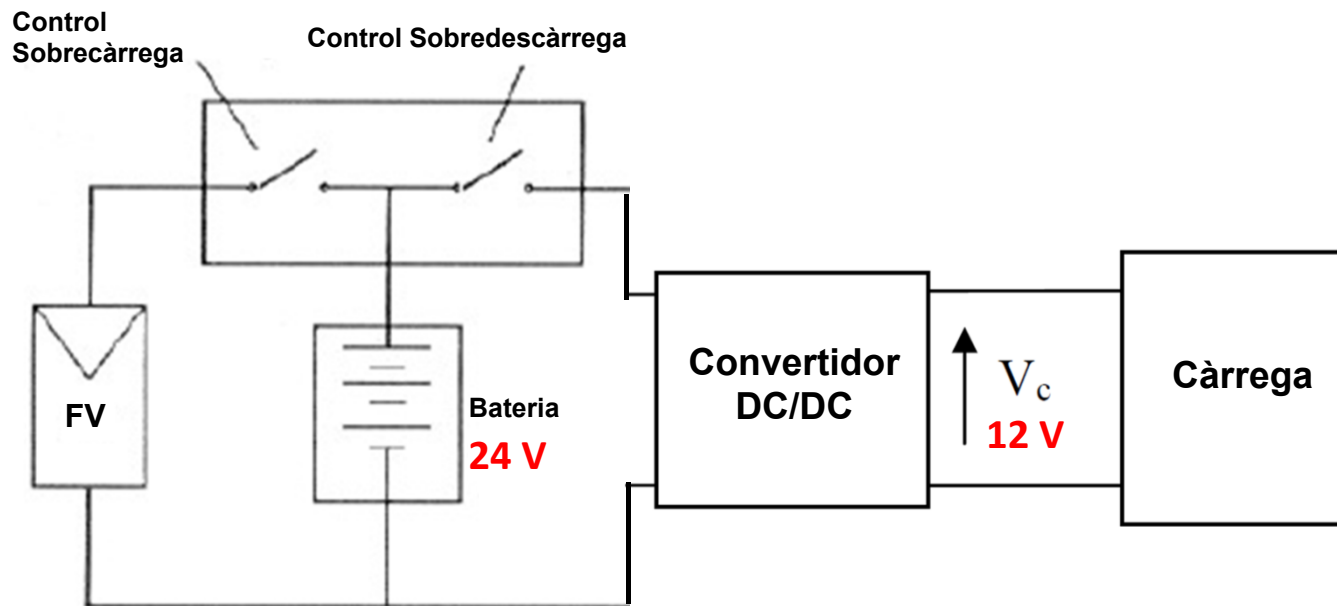
- Altres dades d'interès, que també proporciona el fabricant:
 - Valors de tensió de tall per sobrecàrrega i tensió de tall per sobredescàrrega.
 - Existència de **compensació amb la temperatura**. Les tensions que indiquen l'estat de càrrega de la bateria varien amb la temperatura, per això alguns reguladors mesuren la temperatura i corregeixen, basant-se en aquesta mesura, les tensions de sobrecàrrega.
 - Instrumentació de mesura i indicadors.

Convertidors



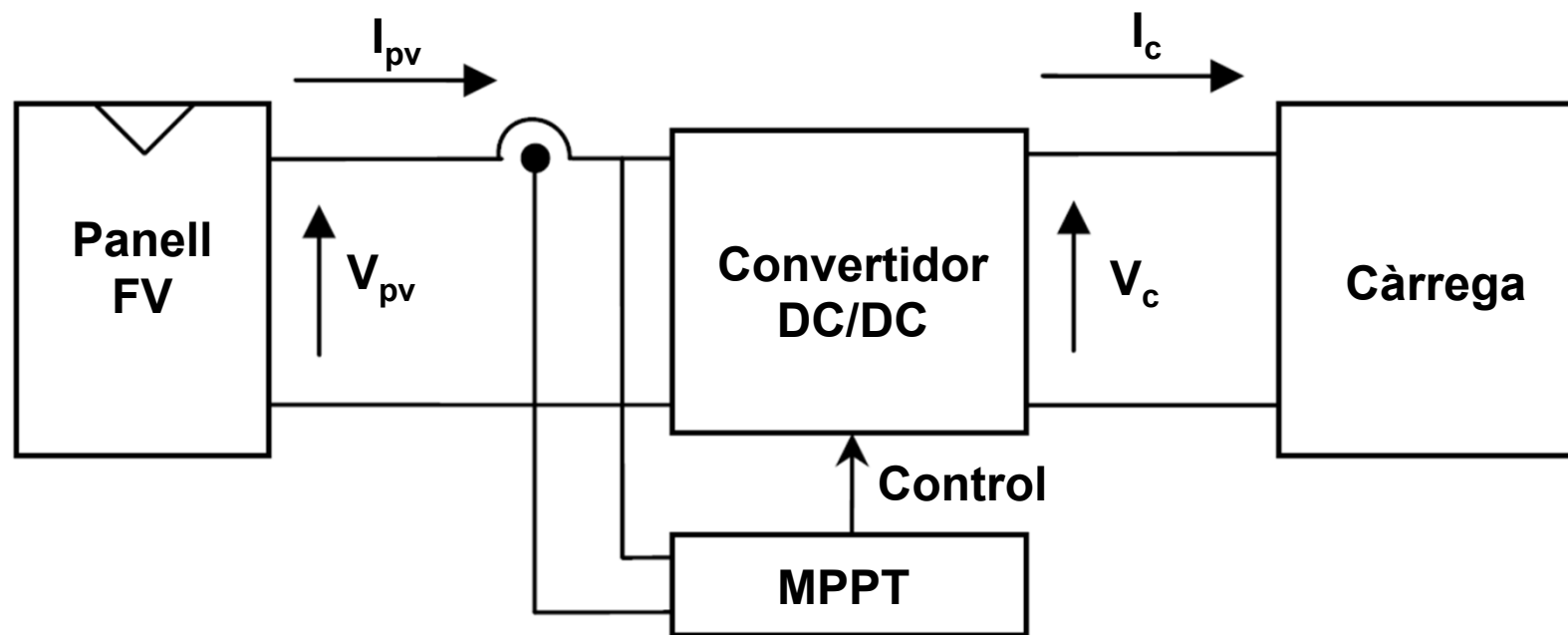
Convertidor DC-DC

- S'utilitzen en aquells casos en què la tensió en els borns de la bateria no coincideix amb la requerida pels aparells de consum, i dóna lloc, a més, a una tensió d'eixida més estable, la qual cosa redunda en un millor funcionament dels aparells.



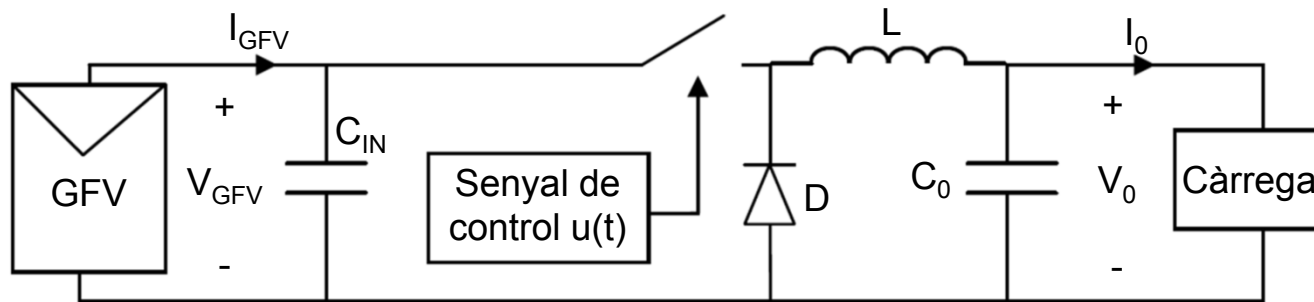
Convertidor DC-DC

- Un seguidor del punt de màxima potència és un **convertidor DC/DC connectat directament al generador FV** i gestionat amb un control adequat que permet fer treballar als panells al punt **de màxima potència (PMP)** i s'obté així la màxima potència d'aquests.

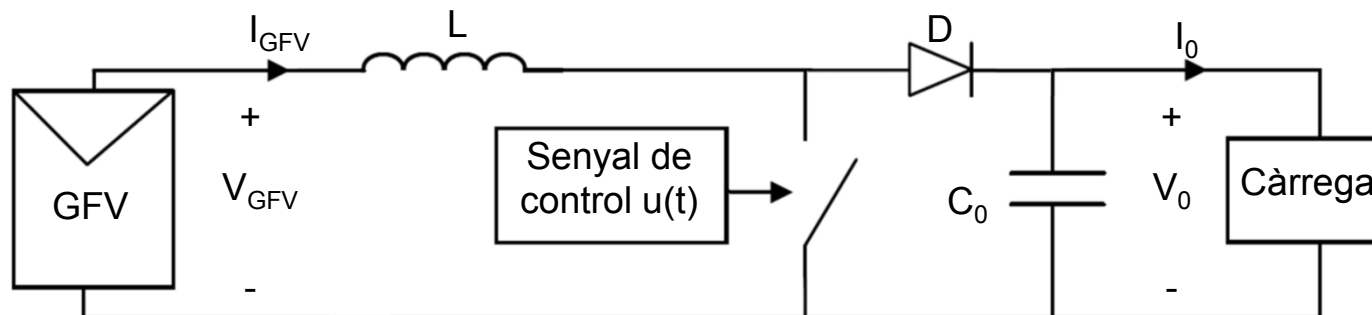


Convertidor DC-DC. Tipus (I)

- Per a aconseguir altes eficiències ($>90\%$), s'utilitzen convertidors commutatats que transformen el corrent continu de bateria o panells en corrent altern (a la freqüència de commutació) per a augmentar-lo o disminuir-lo, segons siga necessari, i seguidament es filtra per a obtenir el senyal continu desitjat.
- Convertidor dc-dc tipus Buck (reductor: $V_o < V_i$)

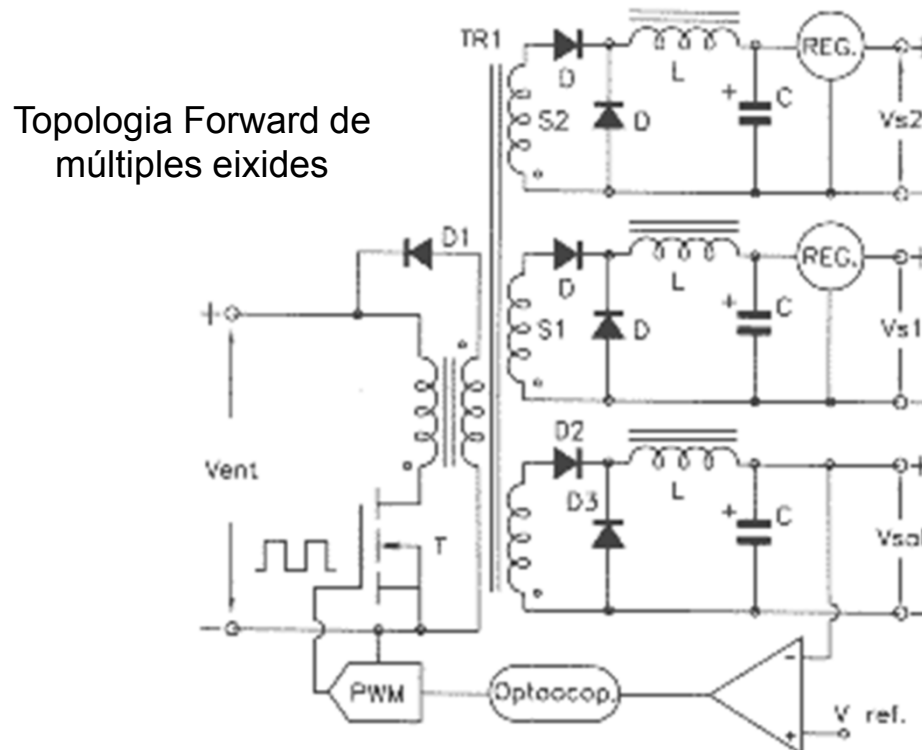


- Convertidor dc-dc tipus Boost (elevador: $V_o > V_i$)



Convertidor DC-DC. Tipus (II)

- ❑ **Convertidor de diverses eixides amb aïllament galvànic.** Hi ha aplicacions que requereixen alimentar diversos circuits a diferents tensions. A més poden disposar d'un transformador per a aconseguir un correcte aïllament galvànic.



Convertidor DC-DC. Característiques

- Les característiques estàndard dels convertidors CC/CC són:
 - Rendiment normalment situat entorn del 90% a la potència màxima.
 - Marge de tensió d'entrada $\pm 25\%$ de la tensió nominal d'entrada.
 - Arrissat màxim permisible de la tensió d'eixida (sol ser del 0,5% de la tensió nominal d'eixida).
 - Tensió d'eixida $\pm 15\%$ de la tensió nominal d'eixida.

Font: ATERSA. Gamma DC 24/12V

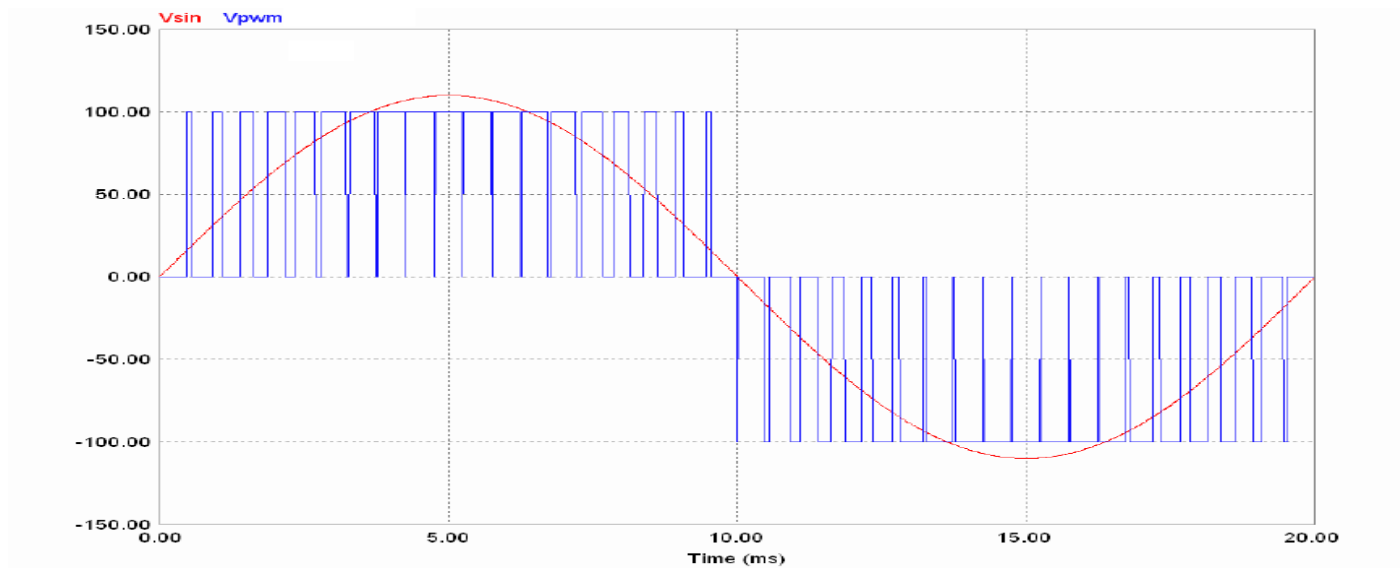
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
	3 A	20 A
Dimensiones (mm)	108 x 62 x 35	194 x 97,6 x 41,5
Peso (gr)	170,5	1100
Carcasa de aluminio. Resina epoxi negro.		
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS		
	3 A	20 A
Corriente nominal de salida	3 A	20 A
Tensión nominal	24 V	
Margen de operación	19 A 30 V	16 A 32 V
Tensión nominal de salida	13,2 V \pm 1,5 V	13,6 V \pm 0,5 V
Corriente máxima de salida	1.1 x Inom	
Consumo en vacío	< 35 mA	< 100 mA
Rizado	< 40 mV	
Temperatura exterior (Inom. T. 25°C)	65°C	
Temperatura funcionamiento	-30°C - +80°C	
η (Rendimiento)	88%	

Convertidor DC-DC. Característiques

- Els convertidors han de tenir les següents proteccions:
 - Contra sobrecàrregues i curtcircuits per limitació del corrent d'eixida.
 - Contra subtensió, desconnectant el convertidor si la tensió d'entrada és insuficient.
 - Contra sobretensió d'eixida, limitant la tensió d'eixida.
 - Contra inversió de polaritat a l'entrada.
 - Entrada i eixida aïllades entre si per a evitar corrents no desitjats.

Inversor

- S'utilitzen quan es requereix una línia de consum en corrent altern (220 Vrms, generalment), siga per a aplicar-la directament sobre elements de consum o per a injectar a xarxa.
- A partir de la tensió contínua, aquests convertidors generen una ona de polsos, i la filtren per a eliminar els harmònics no desitjats.



Inversor

- Les funcions principals que ha de dur a terme el control són:
 - En aplicacions autònomes o aïllades, **mantenir la tensió d'eixida dins dels marges establits de tensió i freqüència**.
 - En aplicacions connectades a xarxa, **sincronitzar el convertidor amb la tensió de xarxa** i subministrar-li una ona tan sinusoidal com siga possible.
 - **Limitar la intensitat d'eixida** en cas de sobrecàrrega a un valor segur per al convertidor.
 - Obtenir un **bon factor de potència** (baixa distorsió harmònica del corrent). Si l'inversor és perfecte, la forma del senyal altern d'eixida ha de ser una sinusoide, que en el cas del nostre país ha de tenir una freqüència de 50 Hz. Però açò no sempre és així i en nombroses ocasions el nostre inversor no genera un senyal perfectament sinusoidal.

Inversor. Especificacions (I)

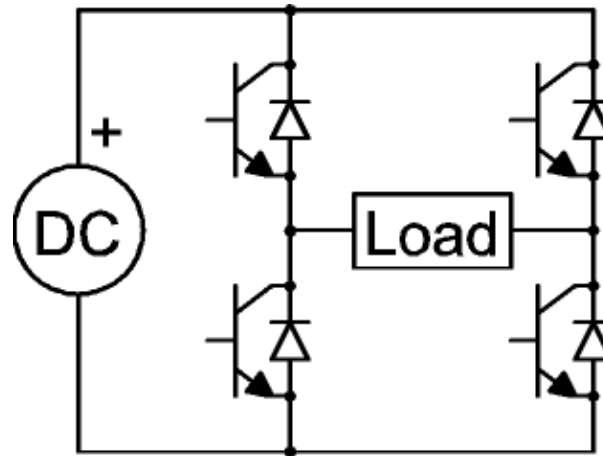
- ❑ **Voltatge eficaç** (entre fase i neutre).
- ❑ **Potència nominal (VA)**. Potència màxima, especificada pel fabricant, que l'inversor és capaç de lliurar de manera contínua. Considera el voltatge i el corrent subministrats, però no considera el desfasament que pot haver-hi entre ells.
- ❑ **Potència activa**. És la potència (W) real que subministra l'inversor, tenint en compte el desfasament entre tensió i corrent.
- ❑ **Factor de potència** (idealment igual a 1).
- ❑ **Distorsió harmònica total (THD)** representa el contingut harmònic de l'ona de tensió a l'eixida de l'inversor.
- ❑ **Capacitat de sobrecàrrega**. Possibilitat que pot tenir l'inversor per a lliurar major potència que la nominal durant certs períodes de temps.
- ❑ **Arrissat del corrent**: Petita variació que es pot produir sobre el valor de l'ona de corrent altern.

Inversor. Especificacions (II)

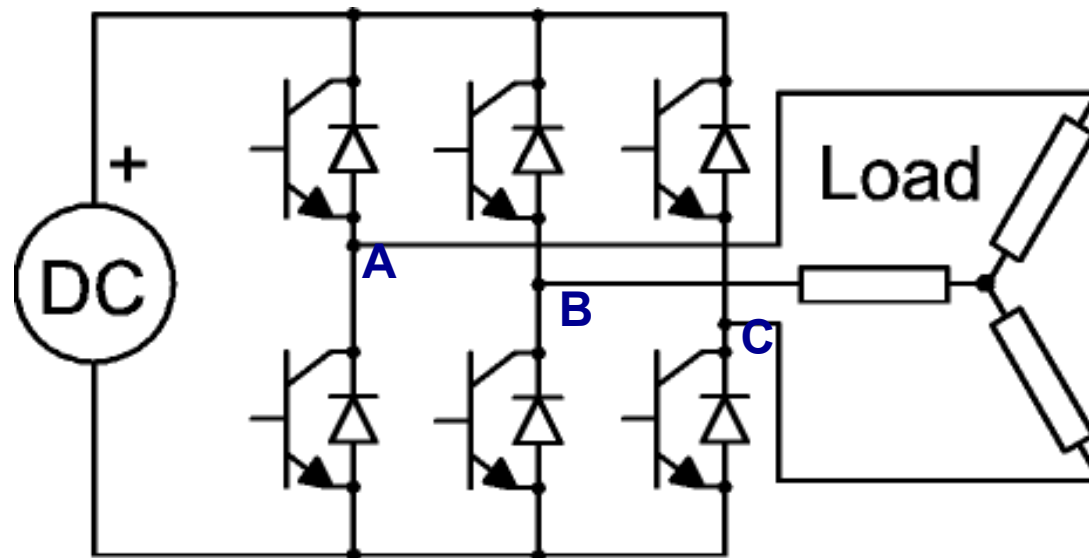
- Rendiment, que depèn de les **pèrdues** produïdes per:
 - El **procés de commutació**, per a produir l'ona sinusoidal o similar.
 - Pèrdues en **transformadors, filtres, condensadors**, etc.
 - Els inversors, quan actuen com a font de tensió, tenen un **rendiment major a plena càrrega** que quan treballen en altres condicions.
 - El rendiment d'un inversor és major **quan la tensió contínua d'entrada creix**.
 - En les condicions més òptimes i treballant a plena càrrega, els inversors poden aconseguir rendiments entre el 90% i el 95%, incloent-hi tots els elements auxiliars com ara filtres i altres.

Inversor. Exemples

MONOFÀSIC:

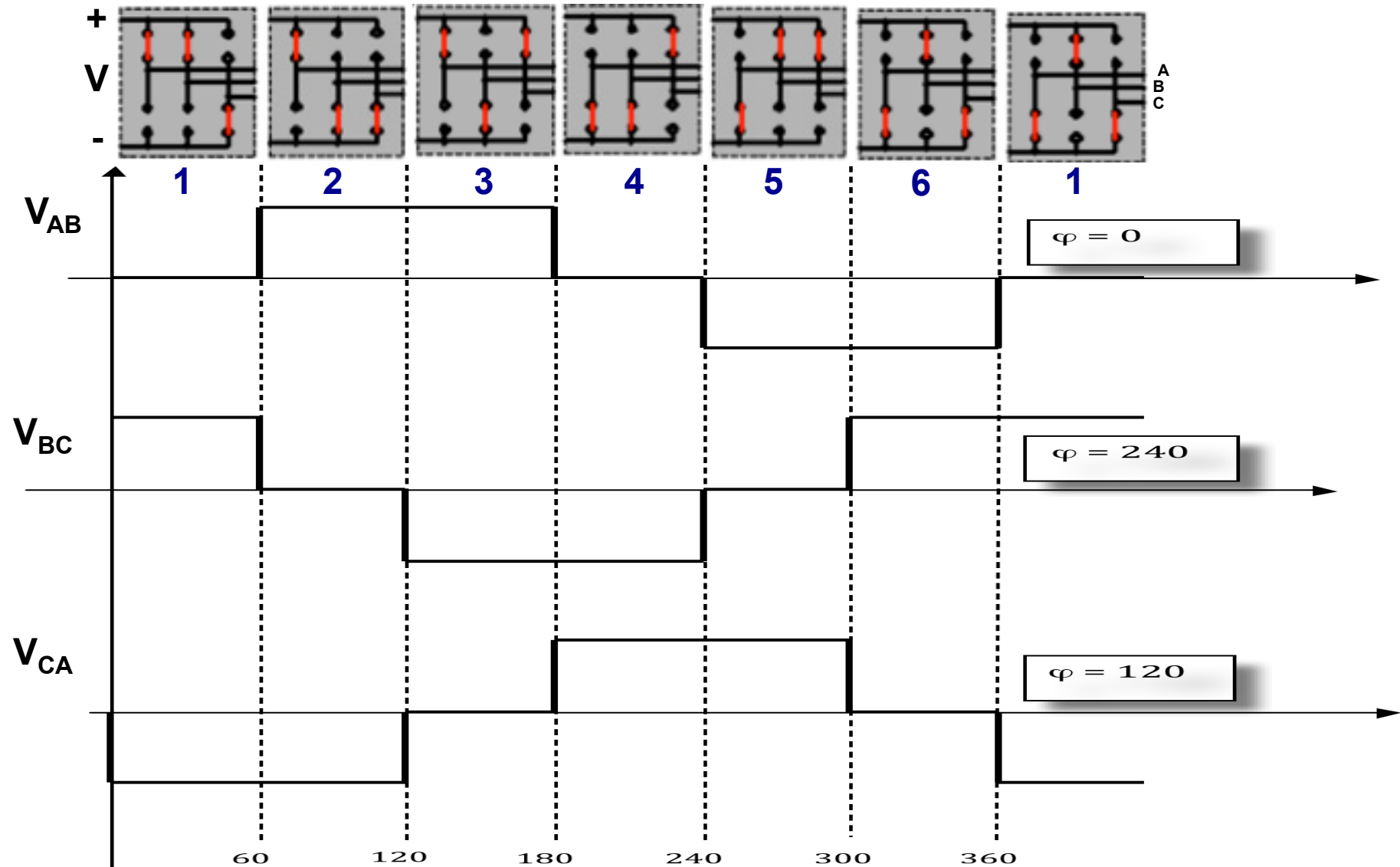


TRIFÀSIC:



Inversor. Exemples

Estratègia per a aconseguir "tensions alternes quadrades" desfasades 120° .



Equips de consum

- S'ha de fer una estimació realista, però ajustada, del consum que es farà, donat que el sistema es calcularà basant-se en aquest consum màxim.

Descripció de l'equip de consum	Potència [Watt]	Nombre d'equips	Eventuals potències d'arrancada	Temps en ús [hores/dia]	Requeriment energètic diari
				h	Wh
				h	Wh
				h	Wh
				h	Wh
				h	Wh
				h	Wh
				h	Wh

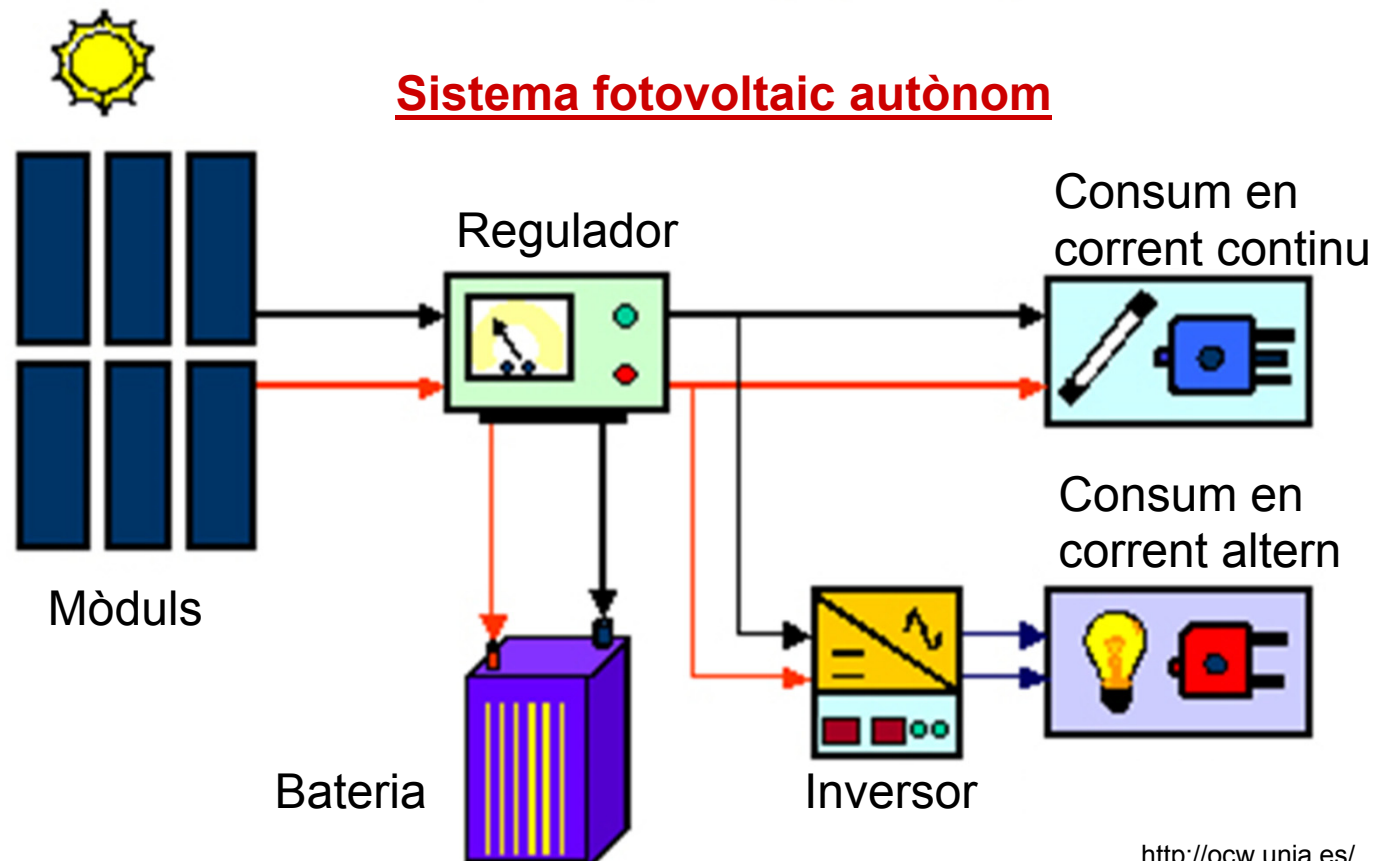
Descripció de l'equip de consum	Potència [Watt]
Bombetes de baix consum	11
Bombetes clàssiques	60
Ràdio	20
Cadena Hi/Fi	100
Vídeo/DVD	50
Televisor	100
Ordinador de taula	100
Pantalla d'ordinador	100
Impressora làser	170
Carregador de mòbil	0,5
Frigorífic sense congelador	80
Congelador	100
Ventilador	100
Microones	1200
Rentavaixella	1200
Batedora	200
Màquina de cafè	1000
Llavadora	1000
Aspirador	1000
Aire condicionat	3000

4.3. Aplicaciones



4.3. Aplicacions. Sistema autònom.

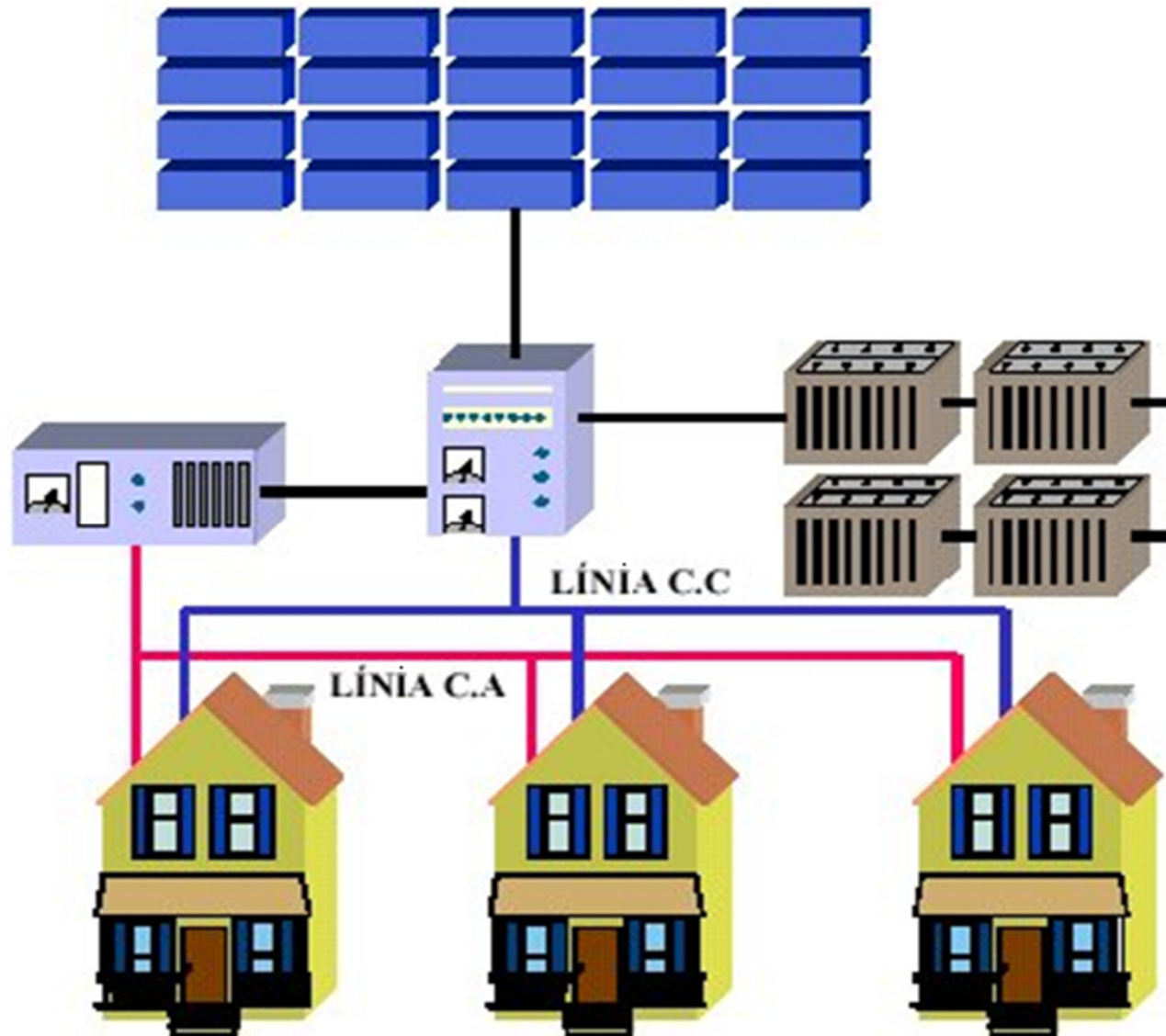
- Un sistema fotovoltaic **autònom** està compost per: generador fotovoltaic, acumuladors, sistema de condicionament de potència, consum i cablatge.



Sistema autònom descentralitzat

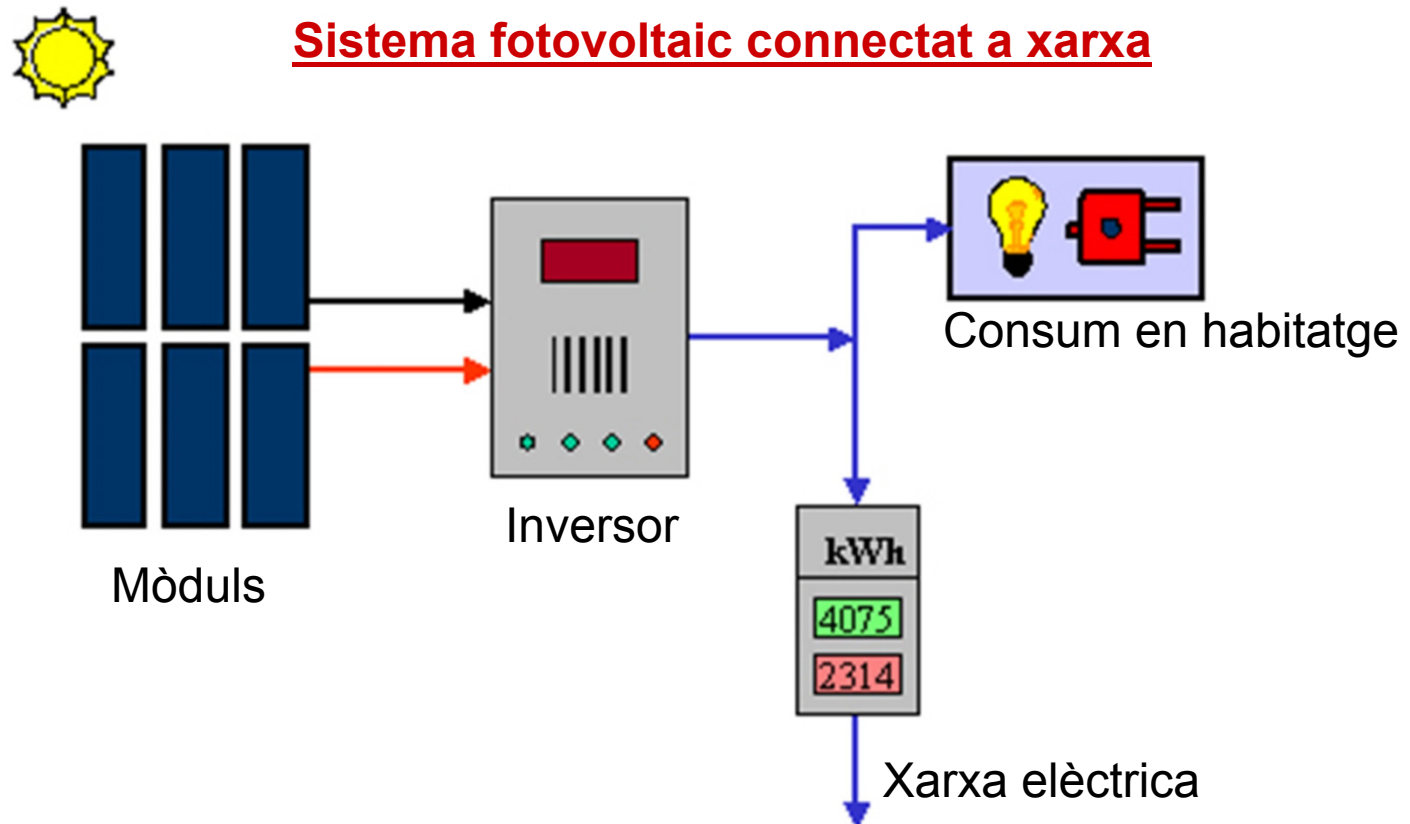


Sistema autònom centralitzat



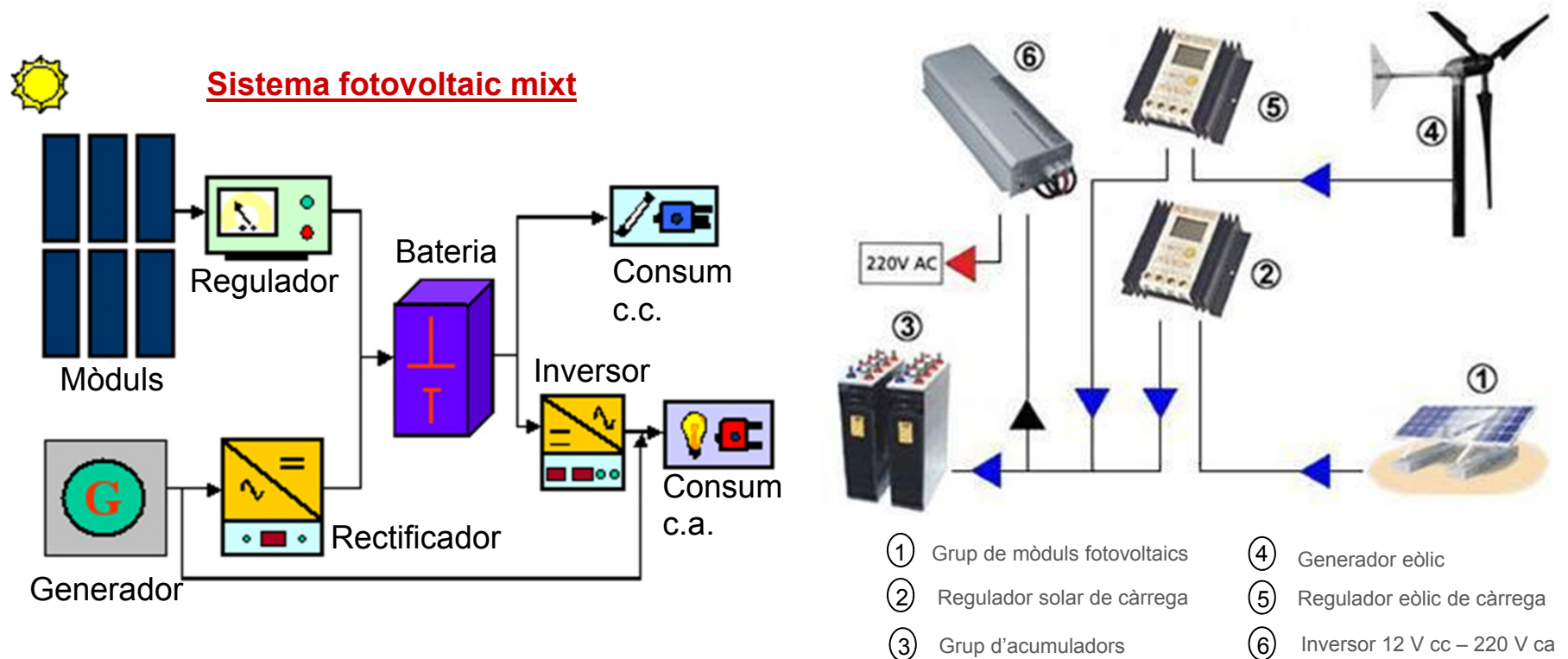
4.3. Aplicacions. Sistema FV connectat a xarxa

- No tenen sistema d'acumulació, ja que l'energia produïda durant les hores d'insolació és canalitzada a la xarxa elèctrica. Per contra, durant les hores de fosc, la càrrega ve alimentada des de la xarxa.



4.3. Aplicacions. Sistema FV híbrid

- Els sistemes híbrids es caracteritzen perquè inclouen a més dels panells fotovoltaics, una o diverses fonts auxiliars de potència, com pot ser un generador auxiliar, gasolina o dièsel, o un generador eòlic.



4.3 Aplicacions. Sistemes aïllats de la xarxa

- ❑ Telecomunicacions: **Repetidors de televisió, equips de ràdio, antenes de telefonia mòbil, etc.**
- ❑ Senyalització: **La senyalització marítima i terrestre.** Són nombrosos els exemples d'ús d'aquests sistemes en abalisament d'aeroports, senyalització de carreteres i ports, etc.
- ❑ Bombament: **En aquests sistemes l'emmagatzematge d'energia sol ser en forma d'energia potencial,** bombant l'aigua a dipòsits elevats.
- ❑ Zones protegides: **En paratges naturals,** on per motius de protecció ambiental es recomana no instal·lar línies elèctriques aèries.
- ❑ Electrificació d'habitatges aïllats: **La distància del punt de consum a la xarxa elèctrica** pot fer, en molts casos, més rendible aquesta aplicació a causa del cost d'instal·lar la línia elèctrica.
- ❑ Enllumenat de carrers i carreteres: **La possibilitat d'utilitzar sistemes d'il·luminació autònoms de fàcil instal·lació i mínima obra civil** fa que siga una solució adequada en moltes ocasions.

4.3 Aplicacions. Sistemes aïllats de la xarxa

□ Integració fotovoltaica en edificis:

- Recobriment de façanes.
- Para-sols en façana.
- Pèrgoles.
- Cobertes planes de cristall.
- Lucernari en cobertes.
- Làmines en finestres.
- Teules.

- ### □ Centrals fotoelèctriques:
- són instal·lacions de grans potències de captació (de més de 100 kWp, i que arriben a potències de diversos MWp), destinades a la producció d'energia elèctrica, amb la finalitat d'injectar-la íntegrament en la xarxa general de distribució. És usual en aquest tipus d'instal·lacions la utilització de sistemes de seguiment solar (normalment sobre un sol eix), amb la finalitat de millorar el camp de captació.

4.4. Dimensionament d'instal·lacions



4.4. Dimensionament d'instal·lacions

- Per al dimensionament d'una instal·lació FV, cal considerar:
 - Elecció de l'orientació (azimut) i inclinació.
 - Obtenció de la radiació (taules d'HSP, de kWh/m² o de kJ/m²).
 - La demanda energètica → perfil de càrrega diària.
 - Funcionar de manera eficient amb el menor cost possible.
 - Dimensionar el generador en Wp.
 - Dimensionar les bateries en Ah.
 - Determinar la tensió nominal del sistema FV.
 - Dimensionament dels cables.
 - Connexions i protecció.
 - Engegada i mesures de manteniment.

Demanda energètica (consum) (I)

- D'acord amb els equips presents en la instal·lació, la seua potència i hores de funcionament, tant per a equips en CC com en CA, es calcularà l'energia total de la instal·lació en Wh/dia:

$$E_T = E_{CC} + E_{CA}$$

- I, tenint en compte la tensió nominal que hem fixat per a la instal·lació (vegeu més avant), es determinarà el consum total en Ah/dia

$$C_T (\text{Ah/dia}) = \frac{E_T}{V_{\text{nom}}}$$

Demanda energètica (consum) (II)

- A aquest valor s'afegeixen les pèrdues (K_T) de la instal·lació, per a determinar el consum total màxim (C_{Tmax}) per al qual dimensionarem la instal·lació:

$$C_{Tmax} \text{ (Ah/dia)} = \frac{C_T}{K_T}$$

C_T = Consum total en Ah/dia

K_T = Pèrdues en la instal·lació

$$K_T = \left[1 - (K_B + K_C + K_R + K_X) \right] \cdot \left[1 - \frac{(K_A \cdot D_{aut})}{P_{Dmax}} \right]$$

K_B : Pèrdues degudes al rendiment de les bateries (5 o 10%).

K_C : Pèrdues degudes al rendiment de l'inversor utilitzat (del 5 al 20%).

K_R : Pèrdues degudes al rendiment del regulador utilitzat (un 10%).

K_X : Altres pèrdues no contemplades (efecte Joule, caigudes de tensió, etc).

K_A : Pèrdues per autodescàrrega diària de la bateria (entre 0,5% i 0,7%).

D_{aut} : Dies d'autonomia de la bateria.

P_{Dmax} : Profunditat de descàrrega màxima de la bateria.

Demanda energètica (consum) (III)

- K_B : Coeficient de pèrdues per rendiment de l'acumulador:
 - 0,05 en sistemes que no demanen descàrregues intenses.
 - 0,1 en sistemes amb descàrregues profundes.
- K_C : Coeficient de pèrdues en l'inversor:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \cdot \left[1 - \frac{(K_A \cdot D_{aut})}{P_{Dmax}} \right]$$

 - 0,05 per a inversors sinusoidals purs, treballant en règim òptim.
 - 0,1 en altres condicions de treball, lluny de l'òptim.
- K_R : Coeficient de pèrdues en el regulador utilitzat: 0,1 com a valor de referència.
- K_X : Coeficients de pèrdues vàries: Agrupa altres pèrdues (rendiment de xarxa, efecte joule, etc.). 0,05 – 0,15 com a valors de referència.
- K_A : Coeficient d'autodescàrrega diària:
 - 0,002 per a bateries Ni-Cd.
 - 0,005 per a bateries estacionàries de Pb àcid.
 - 0,012 per a bateries d'alta autodescàrrega (engegada d'automòbils).
- D_{aut} : Nombre de dies d'autonomia de la instal·lació: Seran els dies que la instal·lació ha d'operar sota una irradiació mínima (dies ennuvolats continus), en els quals es consumirà més energia de la que el sistema fotovoltaic és capaç de generar. 4-10 dies, valors de referència.
- $P_{Dmáx}$: Profunditat de descàrrega diària de la bateria: Aquesta profunditat de descàrrega no ha d'excedir el 80% (referida a la capacitat nominal de l'acumulador), ja que l'eficiència d'aquesta decreix en gran manera amb cicles de càrrega-descarrega molt profunds.

D_{aut} : Dies d'autonomia de la bateria

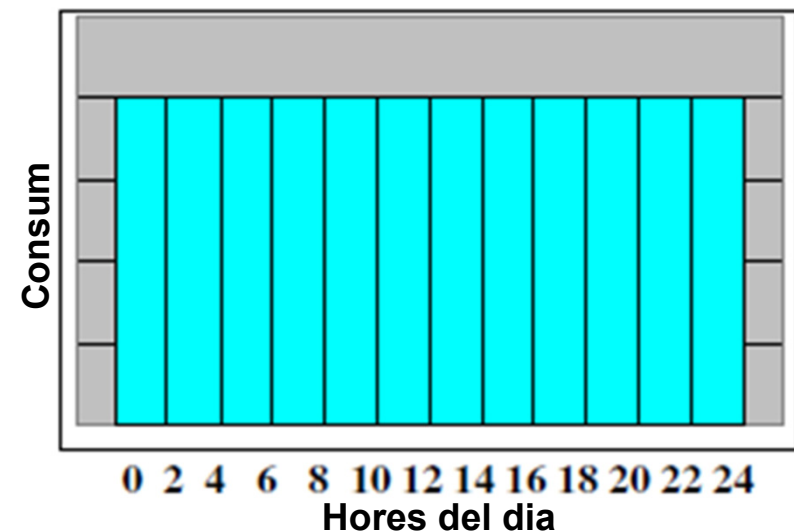
- A l'hora d'establir D_{aut} , cal considerar tant la **climatologia del lloc** com el tipus d'instal·lació, la **importància del servei prestat** (d'il·luminació d'habitatges, hospital, fàbrica, radioenllaç, etcètera) i les **limitacions econòmiques**, ja que com més gran siga D_{aut} , major serà la inversió.

Hivern	Instal·lació domèstica	Instal·lació crítica
Molt nuvolós	5	10
Variable	4	8
Assolellat	3	6

Perfil de consum (I)

- La configuració i els costos d'una instal·lació fotovoltaica aniran en funció de les càrregues que hàgem de connectar i dels consums previstos.
- Depenent del tipus d'aplicació podem considerar diferents perfils de consum:
 - **Consum constant** al llarg de tot l'any. Exemples: sistemes d'alarma i senyalització, repetidors de ràdio, estacions meteorològiques, etc .

Perfil de consum constant



Perfil de consum (II)

- **Consum nocturn.** En aplicacions com ara il·luminació, senyalització de carreteres, cartells publicitaris, etc.

Perfil de consum diürn



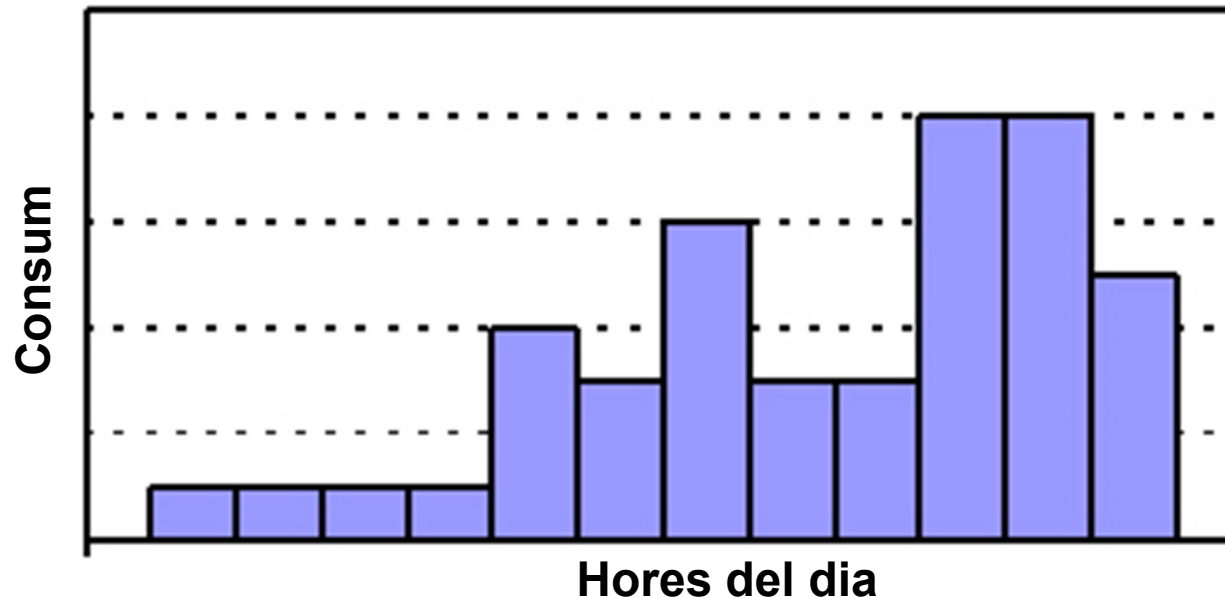
Perfil de consum nocturn



- **Consum diürn:** En aquelles aplicacions en les quals el consum es produeix quan hi ha hores de sol. Exemple: bombament d'aigua. El perfil anual d'aquest consum és similar al de radiació solar, alt a l'estiu i més baix a l'hivern.

Perfil de consum (III)

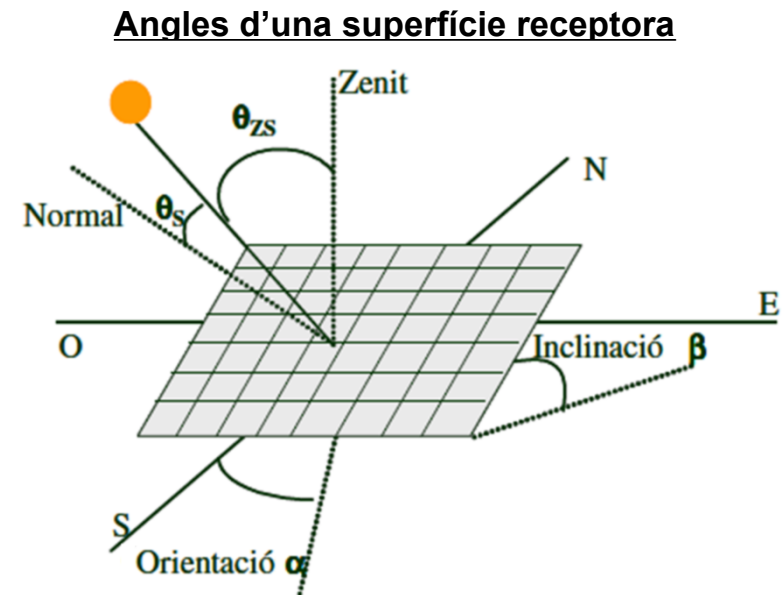
- **Corba de perfil domèstic:** cal tenir en compte els hàbits del lloc, estudiant cada cas en concret. Per tant, no es pot establir una gràfica concreta.



Orientació i inclinació dels panells (I)

- L'**orientació** és determinada per l'angle d'azimut α (desviació respecte al sud, en l'hemisferi nord, i respecte al nord, en l'hemisferi sud). La **inclinació** β és l'angle format per la superfície del mòdul amb el pla horitzontal.

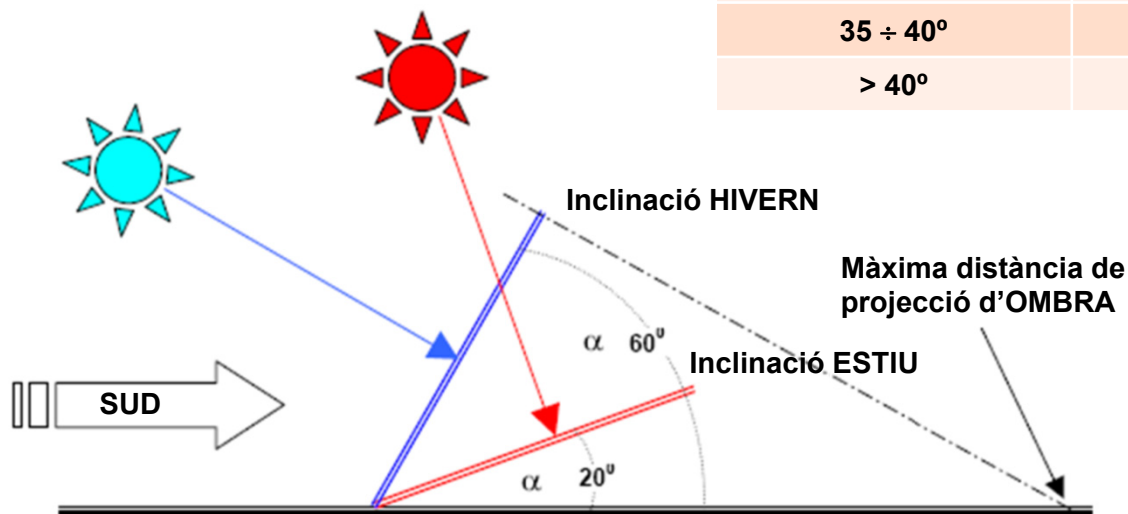
- **Azimut:** Perquè el panell durant el dia capte la major quantitat de radiació possible \rightarrow els panells s'orientaran cap al sud (cap al nord en el cas de l'hemisferi sud), encara que orientacions de $\pm 20^\circ$ **no afecten**. A més, s'ha de tenir especial cura que no es produïsquen ombres totals o parcials sobre els panells.



Orientació i inclinació dels panells (II)

- La captació serà màxima quan la posició de la placa solar siga perpendicular a la radiació.
- Convé cercar l'angle d'inclinació (β) dels panells respecte al pla horitzontal que fa **màxima la potència mitjana anual rebuda**.

Latitud del lloc de la instal·lació (en graus)	Angle d'inclinació hivernal	Angle d'inclinació estival
0 ÷ 15°	15°	15°
15 ÷ 25°	IGUAL QUE LATITUD	IGUAL QUE LATITUD
25 ÷ 30°	Latitud + 5°	Latitud - 5°
30 ÷ 35°	Latitud + 10°	Latitud - 10°
35 ÷ 40°	Latitud + 15°	Latitud - 15°
> 40°	Latitud + 20°	Latitud - 20°



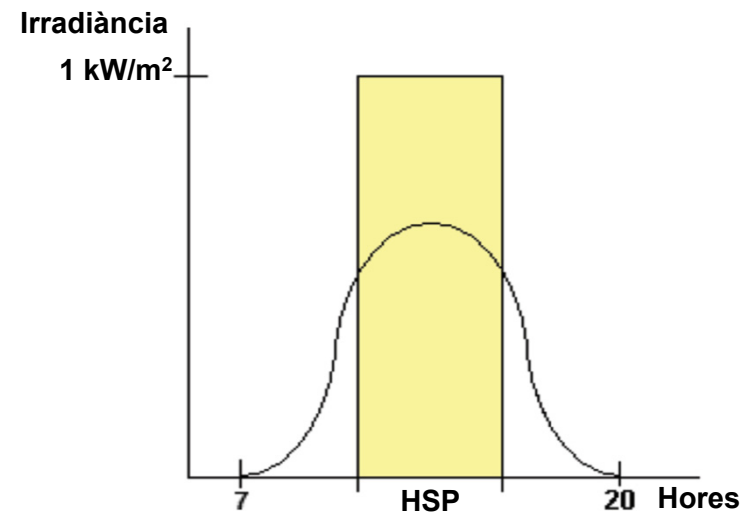
Inclinacions màxima i mínima d'un panell situat en Espanya

Una altra opció és
la del pitjor mes

Càlcul de la radiació solar: H.S.P.

- Es denominen **hores solars de pic (HSP)** al nombre d'hores diàries que, amb una irradiància solar ideal de 1000 W/m^2 proporcionen la mateixa irradiació solar total que la real d'aquest dia.

$$H (\text{kWh/m}^2) = I (1 \text{ kW/m}^2) \cdot \text{HPS} (\text{h})$$



- És a dir, si es disposa de les dades d'irradiació solar (en Wh/m^2) d'un determinat dia i es divideix entre 1000 W/m^2 , s'obtenen les HSP.

Càlcul de la radiació solar: H.S.P.

- Exemple: per a una irradiació diària de 5 kWh/m², el resultat és:

$$\text{HSP} = \frac{5 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 5 \text{ h}$$

- Per a això s'ha d'obtenir el valor de la irradiació mitjana en superfícies inclinades H(kWh/m²·dia) del lloc. Aquesta dada es pot obtenir de la base de dades de PVGIS: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> i de les coordenades geogràfiques del lloc tenint en compte les possibles pèrdues d'ombreig.

Tensió de funcionament de la instal·lació

- Es determina a partir de la potència de la instal·lació, la qual depèn de l'energia consumida.
- Se solen utilitzar les tensions estàndard: *12 V*, *24 V*, *48 V* o *120 V*.
- En general es recomana:

Potència	Tensió nominal
$P \leq 800 \text{ W}$	12 V
$800 \text{ W} < P \leq 1600 \text{ W}$	24 V
$1600 \text{ W} < P \leq 3200 \text{ W}$	48 V
$P > 3200 \text{ W}$	120 V

Dimensionament dels panells FV

□ Energia del panell en [Ah/dia]

$$E_{\text{panell}}(\text{Ah/dia}) = \eta_{\text{panell}} \cdot I_{\text{max_panell}} \cdot \text{HSP}$$

η_{panell} : Pèrdua de rendiment del panell. Es pot escollir un valor típic entre el 85% i el 95%.

$I_{\text{max_panell}}$: Corrent màxim del panell (A)

HSP: Hores solars de pic

□ Nombre de panells en sèrie i en paral·lel

$$N_{\text{PP}} = \frac{C_{\text{Tmax}}(\text{Ah/dia})}{E_{\text{panell}}(\text{Ah/dia})}$$

$$N_{\text{PS}} = \frac{V_{\text{nom}}}{V_{\text{max_panell}}}$$

□ Nombre total de panells

$$N_{\text{TP}} = N_{\text{PP}} \cdot N_{\text{PS}}$$

V_{nom} : Tensió nominal de la instal·lació.

$E_{\text{panell}}(\text{Ah/dia})$: Energia del panell.

$C_{\text{Tmax}}(\text{Ah/dia})$: Consum total màxim.

Dimensionament de la bateria

- La capacitat nominal de l'acumulador o bateria:

$$C_{\text{nom-bat}} = \frac{C_{\text{Tmax}} (\text{Ah/dia}) \cdot D_{\text{aut}}}{P_{\text{Dmax}}} \cdot 100$$

$C_{\text{nom-bat}}$: Capacitat nominal de l'acumulador.

D_{aut} : Dies d'autonomia.

P_{Dmax} : Profunditat màxima de descàrrega.

C_{Tmax} : Consum total màxim considerant les pèrdues en el sistema en Ah/dia.

- **NOTA:** És important tenir en compte que **la fiabilitat del sistema augmenta amb l'augment de la capacitat** de la bateria (augment del paràmetre D_{aut}), encara que, en realitat, l'augment en la fiabilitat del sistema requereix també un augment en el generador FV, donat que aquest ha de ser suficient per a carregar les bateries.

Dimensionament del regulador

- La intensitat màxima permesa per al regulador és un 20% superior a la màxima del panell FV:

$$I_{\text{regulador}} = 1,2 \cdot N_{\text{PP}} \cdot I_{\text{max_panell}}$$

$I_{\text{regulador}}$: Intensitat màxima permesa per al regulador

N_{PP} : Nombre de panells solars en paral·lel

$I_{\text{max_panell}}$: Intensitat màxima del panell solar

Dimensionament de l'inversor

- La potència de l'inversor serà determinada en funció de la potència dels aparells de consum de corrent altern i del rendiment del mateix inversor.

$$P_{INV} = \frac{P_{consum}(C.A.)}{\eta_{INV}}$$

P_{INV} : Potència de l'inversor.

$P_{consum}(C.A.)$: Potència dels consums en corrent altern.

η_{INV} : Rendiment de l'inversor (es pot considerar un valor aproximat del 85%).

Dimensionament dels conductors (I)

- Tenint en compte que les tensions de treball són baixes (12 V, 24 V i 48 V) la intensitat, per als nivells de potència requerits, serà alta, la qual cosa es tradueix en una gran dissipació en els cables (→ escalfament).
- Les pèrdues són (inversament) proporcionals a la secció dels cables, però cables de major secció implica més coure → més costos.
- S'ha de complir la normativa de baixa tensió quant a aïllament, resistència, corrent màxim per secció, etc.

Dimensionament dels conductors (II)

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{també}$$

$$R = \frac{L}{K \cdot S}$$

$$\rho (\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}) = \frac{R (\Omega) \cdot S (\text{mm}^2)}{L (\text{m})}$$

ρ = resistivitat del coure
0,01754 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$

K = conductivitat del
coure 56 m / $\Omega \cdot \text{mm}^2$

Sent $\rho = 1 / K$

Per facilitat a l'hora de fer els càlculs utilitzarem K .

També sabem que $R = (V_a - V_b) / I$

Si substituïm, tenim:

$$R = \frac{(V_a - V_b)}{I} = \left(\frac{L}{S} \right) \cdot \rho$$

Aleshores: $S = \frac{(\rho \cdot L \cdot I)}{(V_a - V_b)}$

→

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

Dimensionament dels conductors (III)

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

S : Secció del conductor [mm²].

L : Longitud del conductor [m].

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

V_A - V_B : 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%

En qualsevol cas s'ha de garantir que en cap línia la caiguda de tensió siga més gran que un 5% de la tensió nominal.

Dimensionament dels conductors (IV)

Conductors de coure			Conductors d'alumini		
Secció (mm ²)	I _{max} (A)	Resistència (mΩ/m)	Secció (mm ²)	I _{max} (A)	Resistència (mΩ/m)
1,5	17	15	1,5	14	22
2,5	24	8,8	2,5	19	13
4	32	5,5	4	25	8,3
6	41	3,7	6	32	5,5
10	57	2,2	10	44	3,3
16	75	1,4	16	59	2,1
25	101	0,88	25	79	1,3
35	125	0,63	35	97	0,94
50	156	0,44	50	121	0,66
70	192	0,31	70	149	0,47
95	232	0,23	95	181	0,35
120	269	0,18	120	209	0,28
150	309	0,15	150	241	0,22
185	353	0,12	185	274	0,18
240	415	0,092	240	323	0,14
300	477	0,073	300	371	0,11