

POTENCIAL SOLAR

Aquesta aplicació web, destinada a calcular de manera acurada els rendiments energètics i econòmics de les teulades de la zona d'estudi, està constituïda per un visor i dues calculadores diferenciades: una dedicada al potencial fotovoltaic (FV) i una altra dedicada al potencial termosolar (TS)

The screenshot displays the 'Fotovoltaic Termosolar' application interface. On the left, the 'Visor' (Viewer) panel allows users to select radiation types (Global or Directa), define time intervals, and choose between different 'Capes' (Irradiació total, Idoneïtat FV, Idoneïtat ST). A graph shows energy (kWh/m²) over a day. The central 'Calculadora' (Calculator) panel is divided into tabs for 'Instal·lació', 'Inversió', 'Retorn', 'Gràfic', 'Informe', and 'Configuració'. It contains various input fields and calculated values for parameters like area of interest, irradiation, panel orientation, and total power. The right side shows a satellite map with a building roof labeled 'Teulada' and a specific area marked as 'Rectangle d'interès'.

VISOR

El visor correspon al panell situat a la banda esquerra de la finestra del navegador.

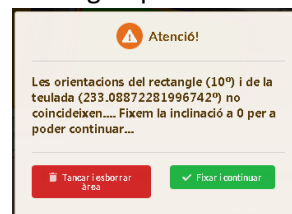
The 'Visor' panel includes controls for radiation type (Global or Directa), time range (Total day or Interval), start and end times, and 'Capes' (Irradiació total, Idoneïtat FV, Idoneïtat ST). A graph shows energy (kWh/m²) over a day. Below the graph is a 'Com començar?' (How to start?) section with instructions on how to use the drawing tool to define the area of interest on a roof.

D'una banda, permet definir, sobre un fons d'ortomtatge d'alta resolució, les capes que es visualitzaran: irradiació total o les idoneïtats fotovoltaica o termosolar (aquestes dues últimes tant a nivell de píxel com de polígon). Totes aquestes capes es poden desactivar per tal de visualitzar l'orto subjacent i interpretar les teulades. A més, el visor permet seleccionar el tipus de radiació desitjat i l'interval horari per estimar la insolació. Cal esmentar que totes les hores a l'aplicació fan referència a l'hora Solar.

En segon lloc, ajudat per aquestes capes, es pot dibuixar el rectangle que defineix l'àrea d'interès, sempre dins d'una única teulada. Cal remarcar que es tracta d'un rectangle dirigit, i la manera de dibuixar-lo és rellevant. El primer segment dibuixat defineix l'orientació dels col·lectors, com si amb aquesta primera línia apuntéssim cap al Sol. El

següent punt dibuixat defineix el rectangle i permetrà consultar la irradiació (global o directa) sobre aquesta àrea.

Atès que, a partir de certa inclinació de la teulada (10 graus per defecte però modificable al panell de configuració), l'orientació del rectangle i la teulada han de ser similars, el sistema proporciona dades d'inclinació i orientació de la teulada escollida i d'orientació del rectangle que es dibuixa. Per tal de fer més entenedors els valors d'orientació, menys intuïtius que la resta, es presenta també una rosa dels vents indicant els valor d'orientació corresponents als punts cardinals. En el cas que les orientacions de teulada i rectangle no coincideixin tenim l'opció de fixar la inclinació de la teulada a zero per tal d'accedir igualment a la calculadora.



Una vegada definit el rectangle, l'aplicació fa una crida a la base de dades d'imatges ràster d'insolació per tal de recuperar la insolació corresponent. La consulta a aquesta base de dades retorna irradiància integrada per a cada hora calculada (per tant, densitat d'energia radiant) $dEr[W \cdot h/m^2]$ com a suma dels valors del píxels del rectangle desitjat

Es calcula l'energia multiplicant per l'àrea del píxel APix ($0.5 \cdot 0.5m^2$, en aquest cas)

$$Er[W \cdot h] = dEr[W \cdot h/m^2] \cdot APix[m^2]; \quad Er[kW \cdot h] = dEr[W \cdot h/m^2] \cdot APix[m^2]/1000$$

Per tal d'obtenir l'energia incident durant un dia sumem els valors corresponents per a totes les hores. Igualment farem per obtenir els valors anuals.

Aquesta energia es representa al gràfic del visor, i uns camps per introduir un factor d'eficiència i un consum mig permeten estimar en primera aproximació l'energia real disponible i el percentatge d'autoconsum. Aquests valors, desglossats per dia de l'any i hora dins l'interval demanat, es poden guardar en un format intern (.calc) per tal d'esser recarregats a l'aplicació més endavant, o es poden exportar en format CSV per tal d'explotar les dades de forma externa. Els botons adients són a la part inferior del visor. A continuació es mostra un arxiu d'aquest tipus carregat en un full de càlcul.

	A	B	C	D	E	F	G
1	calcid	c863db2df173289894b8758c386fc087					
2	min_hour	7					
3	max_hour	20					
4	coverage	RubiGlobal					
5	Rectangle						
6		[2.0337345923198655,41.506543788931054]					
7		[2.033733373386471,41.50640047266862]					
8		[2.0342197313260373,41.50639815278355]					
9		[2.034220950259432,41.50654146905112]					
10		[2.0337345923198655,41.506543788931054]					
11	inclinacioTeulada	6.388476563					
12	orientacioTeulada	9.433211845					
13	Result						
14	doy	timestamp	val	interpol	data	hora	
15	1	2018-01-01T07:00:00Z	0	false	01-01-18	7:00	
16	1	2018-01-01T08:00:00Z	116207.7	false	01-01-18	8:00	
17	1	2018-01-01T09:00:00Z	403987.7	false	01-01-18	9:00	
18	1	2018-01-01T10:00:00Z	640062.3	false	01-01-18	10:00	
19	1	2018-01-01T11:00:00Z	794671.2	false	01-01-18	11:00	

També a la part inferior, dos botons permeten cridar a la calculadora desitjada (FV ó TS).

CALCULADORES

Com que explicar en detall cada camp de la calculadora faria innecessàriament llarg aquest manual (molts dels camps són auto-explicatius), s'han definit uns texts d'ajuda per a cada camp que es mostren en aturar el ratolí sobre el camp. En qualsevol cas, es farà a continuació una descripció resumida de les diferents pestanyes de la calculadora i el significat dels seus camps. En aquest text, a l'igual que a la calculadora, els camps en color verd són d'entrada, els camps blaus indiquen resultats intermedis o que ja venen de fora de la calculadora i no són modificables per l'usuari i els vermells són resultats del càlcul escrits als camps de sortida disposat a l'efecte.

CALCULADORA Fotovoltaica

S'hi accedeix en prémer el botó CalcFV després de fer una consulta d'irradiació. La calculadora consta de 6 pestanyes, 5 de càlcul i una de configuració que permet modificar certs paràmetres del sistema. Les 5 pestanyes de càlcul estan pensades per visitar-les de forma consecutiva atès que, en general, els valors d'entrada d'una pestanya corresponen a valors de sortida de les anteriors. Aquestes són:

- Instal·lació: Calcula la geometria i l'energia de la instal·lació segons l'àrea i la insolació corresponents al rectangle dibuixat.
- Inversió: Permet calcular el cost de la instal·lació i el seu possible finançament.
- Retorn: Dóna idea de l'estalvi i el rendiment econòmic de la instal·lació.
- Gràfic: Resumeix els valors anteriors en un gràfic i calcula el temps necessari per amortitzar la instal·lació i el benefici acumulat durant la seva vida útil
- Informe: Construeix un text amb els valors clau de la instal·lació que pot ser desat per l'usuari.

A continuació descrivim cadascuna de les pestanyes.

Instal·lació

Aquesta pestanya s'ocupa de dos càlculs consecutius. Primer, calcula la configuració geomètrica de captadors que optimitzen l'energia rebuda. Després estima amb més precisió l'energia total generada pel sistema.

Geometria

Els paràmetres d'entrada de la part geomètrica són:

AltCaptador[m], AmpleCaptador[m], IncCaptador[°]

Amb aquest valors i alguns paràmetres generals (veure pestanya de configuració) es calcula la distribució espacial optimitzant la radiació incident. Les dades calculades seran:

NumCaptadors: Quants captadors hi caben al rectangle d'interès

SepFiles[m]: Separació entre files de captadors

AreaCaptadors[m²]: Àrea total ocupada pels captadors

Aquesta distribució es pot calcular de dues maneres (a seleccionar a la pestanya de configuració):

- Optimització energètica. Calcula, per diverses separacions entre fileres de captadors i per a cada hora del dia, a cada dia de l'any, la part de la teulada il·luminada (energia que es perd) i les ombres sobre la resta de captadors (pèrdua d'eficiència a la captació). El valor final s'optimitza en funció de l'energia màxima que volem capturar.
- Ombres en data determinada. L'usuari tria un dia i hora determinats i el sistema calcula la separació mínima entre fileres per tal que l'ombra d'una filera de captadors no bloquegi la filera següent.

Una vegada determinada la separació òptima, es pot calcular l'energia total generada pel sistema.

Energia

Per calcular-la són necessaris certs paràmetres addicionals:

PotenciaCaptador[Wp] Dada únicament informativa per calcular la potència nominal de la instal·lació.

PotInstal·lació[kWp] = NumCaptadors* PotenciaCaptador[Wp]/1000.

MarcCaptador[m] Correspon a la dimensió del marc del captador, no fotosensible.

PèrduesSistema[%] Fracció de l'energia generada que es perd a causa de diversos factors d'eficiència a tota la instal·lació.

EffCaptadors[%] Fracció de l'energia incident que es transforma en electricitat

ErEfectiva[kWh]: Energia real incident sobre els captadors. En aquest càlcul intervinrà l'angle d'incidència entre el raig solar i la superfície de captació per a cada dia i hora de l'any.

EnergiaGenerada[kWh/any] = ErEfectiva[kWh]*(1-PerduesSistema[%]/100)* EffCaptadors[%]/100

Inversió

The screenshot shows a web application titled "Calculadora fotovoltaica" with a navigation menu including "Instal·lació", "Inversió", "Retorn", "Gràfic", "Informe", and "Configuració". The "Inversió" tab is active. There are two radio buttons for "Cost detallat" (selected) and "Cost estimat". Under "Cost detallat", there are input fields for "Preu per captador [€]" (300), "Preu inversors i altres [€]" (1000), "Bonificacions IBI - IAE [€]" (1200), "Cost de la instal·lació [€]" (70000), and "Cost de la instal·lació [€/Wp]" (1,2). Under "Cost estimat", there is an input field for "Preu per Wpic instal·lat [€]" (5). A "Finançament" section is checked, with input fields for "Quantitat a finançar [€]" (60000), "Termini [anys]" (10), "TAE [%]" (1,5), "Quota mensual [€]" (580), and "Quota anual [€]" (6963,24). A "Calcular" button is in the top right.

Aquesta pestanya calcula els cost d'inversió de dues maneres:

- Estimada. Si l'instal·lador proporciona un preu per Wp instal·lat [€] el cost d'instal·lació serà simplement una multiplicació.
- Detallada. Considera el preu dels panells, inversors, etc. i possibles bonificacions a la instal·lació considerades com a pagament únic

Contempla opcions de finançament amb quotes calculades segons interès simple

Retorn

Input	Value	Input	Value	Input	Value
Consum real [kWh/any]	0	Preu energia [€/kWh]	0,17	Preu reinjeccio [€/kWh]	0,14
Autoconsum [%]	30	Inc. anual preu energia [%]	2	Inc. anual preu reinjeccio [%]	1
Estalvi produccio [€/any]	2736,83	Estalvi total [€/any]	7352,2	Percentatge estalvi consum [%]	
Bonificacio Emissions CO2 [€/Tm]	0,19	CO2 no generat [Tm/any]	12	Estalvi emisions [€/any]	2

Aquesta pestanya permet calcular l'estalvi que suposa la instal·lació proposada en funció del percentatge d'autoconsum i els preus de compra de l'energia i de reinjecció de l'excedent a la xarxa. A més, contempla un estalvi addicional en funció d'una possible bonificació dinerària al CO₂ estalviat

Així, es calcularà l'estalvi total com la suma dels estalvi en producció més el retorn per reinjecció. Cal esmentar que aquest estalvi es pondera en funció dels increments previstos del preu de l'energia i reinjecció per a tota la vida útil prevista per a la instal·lació (Període de Càlcul, a la pestanya de configuració).

$$\text{EstalviProducció [€/any]} = \text{EnergiaGenerada[kWh/any]} * (\text{AutoConsum}/100) * \text{PrEnergia[€/kWh]}$$

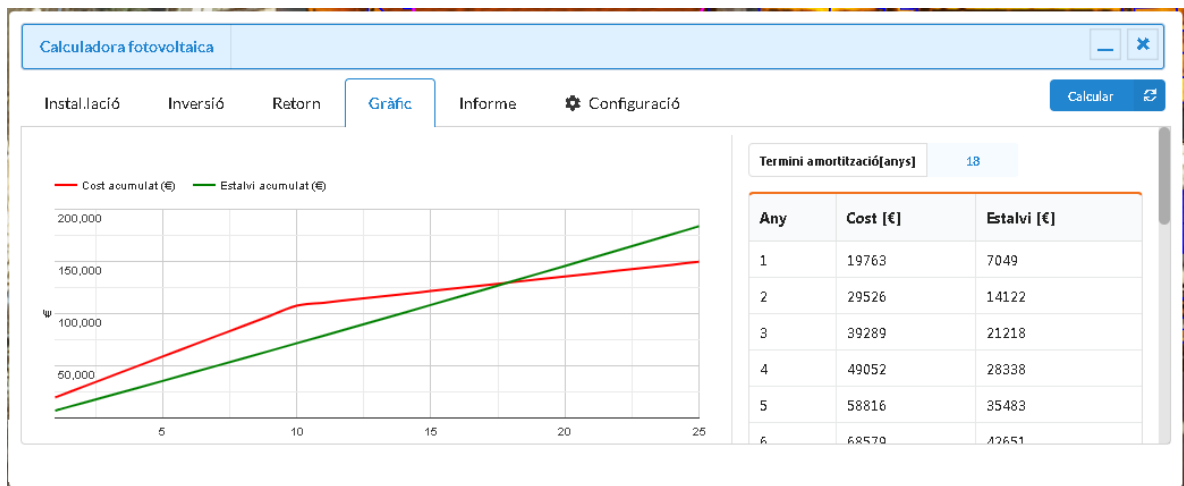
$$\text{EstalviRein[€/any]} = \text{EnergiaGenerada[kWh/any]} * (1 - \text{AutoConsum} / 100) * \text{PrReinjeccio[€/kWh]}$$

$$\text{EstalviTotal [€/any]} = \text{EstalviProducció [€/any]} + \text{EstalviRein[€/any]}$$

$$\text{EstalviConsum[%]} = \text{EstalviTotal [€/any]} * 100 / (\text{ConsumReal[kWh/any]} * \text{PrEnergia[€/kWh]})$$

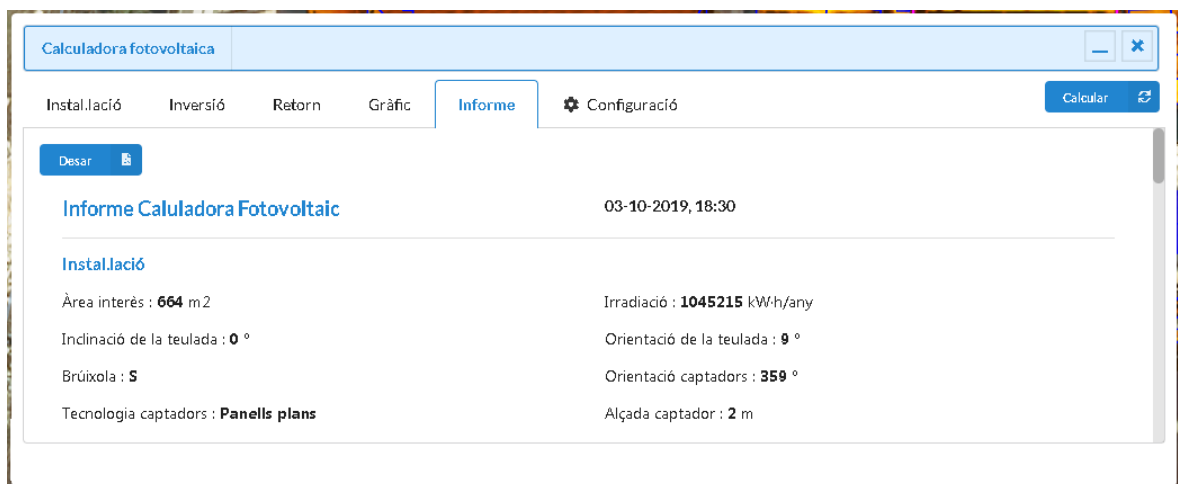
Gràfic

Tenint en compte un cost de manteniment explicat a la pestanya de configuració, aquesta pestanya mostra de manera gràfica i alfanumèrica l'evolució del cost i l'estalvi de la instal·lació per tal de calcular el període d'amortització.



Informe

Recull dels paràmetres d'entrada i sortida de la calculadora, el gràfic de situació i el d'amortització. Aquest informe es pot exportar en format PDF com a document de referència per a l'usuari.



Cal destacar que el gràfic de situació té un comportament dinàmic. Cal doncs, amb la pestanya d'informe i el gràfic a la vista, triar els factors de zoom i pan adequats navegant al visor fins a obtenir el gràfic desitjat que s'exportarà al PDF.

Configuració

Paràmetres generals de la calculadora que permeten afinar els càlculs a un usuari expert.

FactorDegradacióCaptadors Descriu el rendiment de la instal·lació amb el pas dels anys. El valor per defecte és 0.99. Això implica que el sistema generarà l'energia calculada l'any 1, $0.99 \cdot \text{EnergiaCalculada}$ l'any 2, $0.99 \cdot 0.99 \cdot \text{EnergiaCalculada}$ l'any 3 i així successivament.

InclímitTeulada[°] Angle fins al qual es considerarà la teulada com a plana i, per tant, es permetrà la instal·lació dels captadors en qualsevol orientació. Cal esmentar que en aquest cas la inclinació es fixa a 0 graus als càlculs i, per tant, la superfície real pot ser significativament diferent si aquest camp es fixa a un valor alt.

DiscMaxOrientacions[°] Diferència d'angles fins a la qual el sistema considerarà que les orientacions de teulada i rectangle són iguals. En cas de càlculs sobre teulades amb inclinació important és més acurat incrementar aquest valor que canviar el límit d'inclinació de la teulada.

SepMinFilesCaptadors[m] Valor mínim de separació entre files de captadors en calcular el rendiment energètic. Això permet fixar un passadís mínim per a tasques de manteniment en cas necessari.

Càlcul energètic

- **Mode òptim**
 - **FactorEnergiaMàxima** En el cas que la distribució geomètrica de la instal·lació es calculi optimitzant l'energia, sovint es troba un màxim a nivell energètic que pot implicar la inclusió d'una fila més de captadors sense un gran increment d'energia rebuda (perquè el factor d'ombregat creix en afegir-la i compensa la major superfície de captació). Aquest factor assegura que ens apropem al màxim energètic (0.99 del màxim, per defecte) per la banda que minimitza el nombre de captadors i, per tant, el cost de la inversió.
- **Mode data**
 - **Data** Dia de l'any per calcular l'ombra que genera una filera de captadors orientats segons el rectangle definit.
 - **Hora** Hora solar del dia per calcular aquesta ombra.

Cal remarcar que en el cas que els captadors no estan orientats al sud val la pena escollir l'hora del càlcul d'ombra a la part central del període diari en el qual els captadors estan il·luminats.

CostMantInstal·lacio[%] Costos anuals de manteniment expressats com un percentatge del cost inicial de la instal·lació. El defecte és un 4%

PeriodeCalcul[anys] Període per al qual es calculen els valors energètics i econòmics. El defecte són 25 anys, durada estimada de la vida útil de la instal·lació.

CALCULADORA Termosolar

S'hi accedeix en prémer el botó CalculadoraTS després de fer una consulta de Radiació Directa o, en determinades ocasions, també global. Les pestanyes són homòlogues a les de la calculadora fotovoltaica i algunes d'elles són comunes, així que ens centrarem en les que presenten diferències.

Instal·lació

Al igual que en el cas fotovoltaic, aquesta pestanya s'ocupa de dos càlculs consecutius. D'una part, la configuració geomètrica de captadors que optimitzen l'energia rebuda. Després estima amb més precisió l'energia total generada pel sistema.

En aquest cas, però, l'existència de diferents tecnologies (amb i sense seguiment solar) i el fet que no tota la superfície dels captadors captura radiació solar, introdueix diferències tant al càlcul geomètric com a l'energètic.

Geometria

A més de les dimensions del captador, ja esmentades a la part fotovoltaica, és necessari considerar entrades addicionals:

TecnologiaCaptador Es contemplen 5 tecnologies diferents, cadascuna amb les seves especificitats i els seus valors per defecte a la resta de paràmetres d'entrada:

- Tubs de buit (baixa temperatura)
- Panells plans (baixa temperatura)
- Cilindres parabòlics (alta temperatura)
- Reflectors de Fresnel (alta temperatura)
- Tubs de buit (alta temperatura)

CoefInstal·lacio Factor que escala la distància entre fileres de captadors calculada pel mètode d'ombres (veure calculadora fotovoltaica)

Energia generada

Per tal de calcular les energies incident i generada són necessaris certs paràmetres addicionals respecte del cas fotovoltaic:

AreaApertura[m²] Dóna idea de la relació entre l'àrea geomètrica del captador i l'àrea efectiva de captura de radiació (per això als sistemes amb seguiment pot ser més gran que l'àrea geomètrica)

ErEfectiva[kWh/any] Energia real incident sobre els captadors. En aquest càlcul només intervindrà l'angle d'incidència entre raig solar i superfície de captació en el cas de panells plans i tubs de buit. Per a la resta de tecnologies assumirem que els captadors segueixen la trajectòria solar o tenen reflectors específics capaços d'enfocar qualsevol angle solar sobre l'absorbidor.

Una vegada calculada l'energia incident sobre la instal·lació es pot calcular l'energia generada de dues maneres, una estimada tenint en compte simplement un valor general de rendiment i una altra més precisa

- a. Càlcul estimat. L'usuari omple el paràmetre **EffCaptadors[%]** i el càlcul es fa de la següent manera:

$$\text{EnergiaGenerada[kWh/any]} = \text{ErEfectiva[kWh/any]} * (1 - \text{PerduesSistema}[\%] / 100) * \text{EffCaptadors}[\%] / 100$$

- b. Càlcul detallat. L'usuari entra la **TempSortida[°C]**, el **RendimentOptic[%]** i un o dos coeficients de pèrdues (**CoefPerdua1[W/m²/°C]**, **CoefPerdua2[W/m²/°C²]**)

El sistema té accés a un arxiu de recursos amb dades de temperatura de l'aigua i temperatura de l'aire per a cada hora i dia de l'any per a un any tipus.

En primer lloc, es defineix el rendiment dels captadors com:

$$\text{Rendiment} = \text{RendimentOptic} - \text{CP1} * (\text{Tm} - \text{T}_{\text{aire}}) / I - \text{CP2} * (\text{Tm} - \text{T}_{\text{aire}})^2 / I,$$

on Tm serà la temperatura de treball, que assumirem com la mitjana de la temperatura d'entrada de l'aigua i la temperatura desitjada de sortida. $\text{Tm} = (\text{Ts} + \text{T}_{\text{aigua}}) / 2$ i I és la irradiació em W/m².

Després, aplicarem la fórmula a) a cada instant de l'any (dia i hora) per al qual tenim radiació, substituint “EffCaptadors[%]/100” per aquest rendiment calculat (rang [0,1]) i acumulem l'energia generada fins al total anual.

Inversió

The screenshot shows the 'Calculadora termosolar' interface with the 'Inversió' tab selected. The interface includes a navigation bar with 'Instal·lació', 'Inversió', 'Retorn', 'Gràfic', 'Informe', and 'Configuració'. A 'Calcular' button is in the top right. The main area contains several input fields for investment parameters:

Preu per captador [€]	500	Preu acumuladors i altres [€]	1000	Bonificacions IBI - IAE [€]	1200
Preu per Wpic instal·lat [€]	5	Cost de la instal·lació [€]	62900	Cost de la instal·lació [€/Wp]	1,99
<input checked="" type="checkbox"/> Finançament					
Quantitat a finançar [€]	0	Termini [anys]	10	TAE [%]	1,5
Quota mensual [€]	0	Quota anual [€]	0		

Aquesta pestanya és semblant a la calculadora FV, excepte que s'ha eliminat la part de càlcul estimat, menys útil en aquest tipus d'instal·lació.

Retorn

Pestanya similar a la calculadora FV, excepte pel fet que aquí el concepte reinjecció no existeix.

The screenshot shows the 'Calculadora termosolar' interface with the 'Retorn' tab selected. The interface includes a navigation bar with 'Instal·lació', 'Inversió', 'Retorn', 'Gràfic', 'Informe', and 'Configuració'. A 'Calcular' button is in the top right. The main area contains several input fields for return parameters:

Consum real [kW-h/any]	0	Consum real [l/any]	0	Preu energia [€/kW-h]	0,17
Inc. anual preu energia [%]	2	Autoconsum [%]	30	Instal·lació actual	Gas
Estalvi [€/any]	41960,59	Percentatge estalvi consum [%]		Bonificació Emissions CO2 [€/Tm]	0,19
CO2 no generat [Tm/any]	171	Estalvi emissions [€/any]	32		

En aquest cas el consum real es pot introduir en kWh/any o litres d'aigua calenta per any. Per convertir entre Energia i litres d'aigua calenta s'utilitzaran les següents expressions:

$$E[\text{kW/any}] = (T-15)[^\circ] * H_2O[\text{l/any}] * 0.9832[\text{kg/l}] * 1.16[\text{kWh/kg}\cdot^\circ] / 1000$$

$$H_2O[\text{l/any}] = E[\text{kW/any}] * 1000 / ((T-15)[^\circ] * 0.9832[\text{kg/l}] * 1.16[\text{kWh/kg}\cdot^\circ])$$

Es manté el terme autoconsum per tal que l'usuari pugui explicitar quin percentatge de l'energia (aigua calenta) generada (inclosa l'emmagatzemada als acumuladors) es pot consumir realment.

En el cas termosolar cal tenir en compte com s'escalfava l'aigua fins ara per tal d'avaluar l'estalvi. Per això es defineix el camp **Instal·lació Actual** per tal de definir un Rendiment Auxiliar en funció de si s'utilitzava gasoil, gas natural o electricitat.

RendAuxiliar = 0.9 (gas) | 0.8 (gasoil) | 1.0 (electricitat)

Estalvi[€/any] = **EnergiaGenerada[kWh]** * (**AutoConsum/100**) * **PreuEnergia[€/kWh]** / **RendAuxiliar**

EstalviConsum[%] = **Estalvi[€/any]** * 100 / (**ConsumReal[kWh/any]** * **PrEnergia[€/kWh]** / **RendAuxiliar**)

Aquests valors s'amitjanen per a tot el període de càlcul com al cas fotovoltaic.

Gràfic

Pestanya anàloga al cas fotovoltaic (consultar secció corresponent)

Informe

Pestanya anàloga al cas fotovoltaic (consultar secció corresponent)

Configuració

Pestanya anàloga al cas fotovoltaic (consultar secció corresponent)