

Dimensionament d'un sistema de mòduls fotovoltaics a Sant Pol de Mar

Rovira, I. | Sardin, T. | Serna, A.



Article sobre el Treball de Fi de Grau

Grau de Ciències Ambientals | Febrer 2016 | Universitat Autònoma de Barcelona

Dirigit per: *Daniel Campos, Almudena Hierro, Joan Rieradevall, Anna Petit*

RESUM

Des de l'inici de la revolució industrial al 1750, la població mundial ha augmentant exponencialment, fet que ha comportat un incessant augment dels nivells de Gasos d'Efecte Hivernacle (GEH). L'ús de combustibles fòssils ha esdevingut abusiu i insostenible. És per això, que la Organització de les Nacions Unides (ONU), mitjançant el Marc de Canvi Climàtic i a través de la COP-21 a París, al desembre de 2015, on es va determinar que al 2020 s'hauria de limitar l'augment de temperatures als dos graus.

Tenint en compte això, l'objectiu d'aquest estudi ha estat crear un sistema de plaques solars fotovoltaïques, a petita escala, per al municipi costaner català de Sant Pol de Mar. Aquest sistema ha estat dimensionat en base a la implementació de mesures d'eficiència energètica i estalvi, en els vuit equipaments de major consum del municipi, edificis als quals es pretén abastir elèctricament.

Aquest estudi s'ha realitzat utilitzant eines interdisciplinàries i ha estat ideat per tal que pugui servir com a model de referència per a altres municipis similars.

Els resultats obtinguts en tots els àmbits han estat satisfactoris ja que s'ha arribat a conclusions favorables, aconseguint un gran estalvi energètic (del 36%) i una substitució exitosa per energies renovables, contribuint així a disminuir les emissions globals de GEH.

PARAULES CLAU: *Eficiència energètica, Energia solar fotovoltaica, Sistema d'energies renovables, Estalvi energètic i de consums, Dimensionament, Autosuficiència, GEH, transició de model energètic*

INTRODUCCIÓ

Sant Pol de Mar és un municipi català costaner que compta aproximadament amb 5000 habitants. Es caracteritza per un clima mediterrani amb estius càlids i tardors plujoses.

Fins fa relativament poc, el municipi no estava dotat de cap mena d'aportació energètica de producció local ja que la companyia Endesa sempre ha gestionat l'abastiment i la distribució de la majoria d'electricitat del municipi.

Malgrat això, hi ha una petita proporció de producció local: la instal·lació del sistema de biomassa de la Llar d'Infants.

Existeixen també unes plaques solars tèrmiques destinades a abastir la caldera dels banys del gimnàs del l'escola de primària del municipi, però es van espatllar i l'ajuntament va decidir desconnectar-les (Navas, A. i Roca, X., 2016).

Existeix també un projecte de rehabilitació del poliesportiu municipal que inclourà la instal·lació de renovables i la inclusió de mesures d'eficiència energètica però el document definitiu del projecte no s'ha acabat de redactar (Vives i Serra C., 2016).

D'altra banda, hi ha hagut debats interns a l'ajuntament sobre la instal·lació de renovables al camp de futbol municipal però no s'ha arribat encara a la formulació de cap acció concreta en aquesta direcció. (Fernández Rodrigo E., 2016).

Per tant, en aquests moments, el municipi depèn pràcticament de fonts energètiques externes.

A més a més, fent un estudi dels pressuposts de l'ajuntament, s'ha observat que durant els darrers anys, l'import del pressupost que s'ha dedicat en matèries medi ambientals ha sigut menor al previst.

Cal afegir també que fins ara, el municipi de Sant Pol de Mar no ha complert els requisits necessaris per tal d'obtenir subvencions de la Diputació ni de la Generalitat per a la instal·lació de renovables i això ha pogut ésser un factor obstaculitzant.

Fent un breu estudi de la situació social del municipi s'ha observat que els habitants de Sant Pol de Mar són partidaris de la implementació de més mesures d'eficiència energètica als edificis del municipi i els semblaria positiu que Sant Pol de Mar comencés un procés de transició cap a un model energètic més sostenible. Tanmateix, s'ha vist que els residents de Sant Pol no estan pràcticament informats del que es fa a l'ajuntament en relació a accions de medi ambient (Fig. 1).

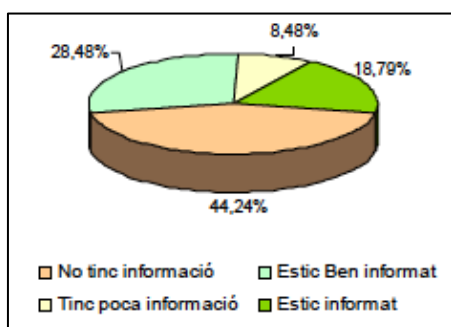


Figura 1; **Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.**: Estat de la informació ambiental al municipi. (Font: Auditoria Ambiental de Sant Pol de Mar, Agenda 21, 2006).

Això resulta un desaprofitament de les capacitats de Sant Pol de Mar ja que el municipi, segons les dades de l'atles de radiació de Catalunya, gaudeix d'un alt

potencial solar. El municipi rep una mitjana anual diària de $4,16 \text{ kWh/m}^2$ d'irradiació solar, arribant fins als $5,5 \text{ kWh/m}^2$ durant els mesos d'estiu.

Aquests valors, són prou alts com a constatar que, mitjançant energia solar i, específicament, la fotovoltaica, el municipi podria abastir un gran percentatge del seu consum gràcies a la instal·lació d'un sistema de panells fotovoltaics (Fig. 2).

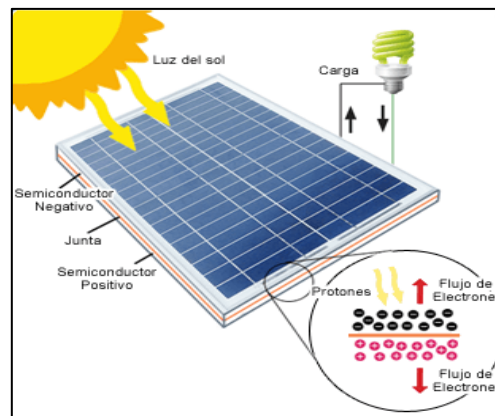


Figura2: Esquema sobre com funcionen les plaques fotovoltaïques. (Font: Damiasolar, 2009)

No obstant l'energia solar, cal també esmentar que com a pas previ en tot sistema de renovables és important considerar la implementació de mesures d'eficiència energètica que permetin generar un estalvi en el consum, possibilitant així la major eficiència del sistema de renovables.

Un cop estudiat el context de la zona d'estudi es determina que l'objectiu és el següent: dissenyar un sistema d'energia solar fotovoltaica capaç d'abastir els edificis públics de més consum elèctric del municipi de Sant Pol de Mar.

METODOLOGIA

En aquest estudi s'ha plantejat l'abastiment mitjançant energia solar fotovoltaica dels 8 edificis públics de Sant Pol de Mar de major consum, segons l'Observatori del Maresme, (2015):

- El camp de futbol municipal
- El CEIP Sant Pau
- L'ajuntament
- Els serveis tècnics
- El poliesportiu
- La llar d'infants
- Pi del Soldat
- El centre cultural Ca l'Arturo
- La policia local

S'han plantejat tres mesures d'eficiència aplicables a tots els edificis, enfocats en els àmbits de major consum identificats per *Rovira et al, (2017)*, en el seu estudi d'eficiència dels mateixos vuit edificis que els considerats en aquest estudi. Aquestes són:

- **Mesura 1:** Reduir les hores d'ús dels aparells i desconnectar aquells que no es fan servir.
- **Mesura 2:** Regular de forma més eficient la temperatura de la calefacció i de l'aire condicionat.
- **Mesura 3:** Substituir els focus, fluorescents i les bombetes halogenades/incandescent per bombetes més eficients (LEDs).

El consum nou aconseguit mitjançant l'aplicació d'aquestes mesures s'ha calculat de la següent forma:

- **Mesura 1:**
 - Reduint a 0 el valor del consum dels equips prescindibles.
 - Regulant el valor de les hores d'ús d'altres aparells per tal de recalculer-ne el consum:

$$\text{Consum nou} \left(\frac{kWh}{any} \right) = \text{Temps nou} \left(\frac{h}{any} \right) \cdot \text{Potència equip} (kW)$$

- **Mesura 2:** utilitzant els percentatges de reducció de consum de les dades de l'Agència d'Energia de Barcelona, (2011):
 - Considerant la disminució en 1°C de la calefacció:

$$\text{Consum nou} (kWh/any) = \text{Consum vell} (kWh/any) - \text{Consum vell} (kWh/any) \cdot 0'08$$

- Considerant l'augment en 1°C de l'aire condicionat:

$$\text{Consum nou} (kWh/any) = \text{Consum vell} (kWh/any) - \text{Consum vell} (kWh/any) \cdot 0'1$$

- **Mesura 3:** s'han substituït els valors de les potències de les bombetes instal·lades actualment als edificis pels valors reflectits a les fitxes 5 i 7 de l'apartat d'il·luminació de Agència d'Energia de Barcelona, (2011):

$$\text{Consum nou} \left(\frac{kWh}{any} \right) = \text{Temps} \left(\frac{h}{any} \right) \cdot \text{Potència nova} (kW)$$

El consum vell en el qual s'han basat els càlculs s'ha obtingut a partir de les dades dels consums dels equipaments l'any 2015, reflectides al document de consums obtingut de l'ajuntament de Sant Pol de Mar (*Observatori del Maresme, 2015*).

Consegüentment, el dimensionament del sistema de mòduls solars s'ha efectuat en base a aquests nous consums dels equipaments.

Primer, s'ha escollit un model de placa, gràcies al qual s'ha calculat l'àrea total ocupada per aquest mòdul i la seva màxima ombra en hores d'aprofitament solar, per tal de determinar quina és la superfície que cadascuna de les plaques necessita per obtenir el seu màxim rendiment de treball (sempre i quan no hi hagi objectes que puguin produir ombres).

En segon lloc, s'ha determinat el nombre total de plaques que es poden situar en les diferents àrees disponibles: superfícies escollides per instal·lar-hi les plaques.

I en tercer lloc i, per últim, s'ha calculat el nombre de plaques que s'hi pot ubicar en cadascuna de les zones d'estudi.

Això ha estat possible gràcies a l'equació següent:

$$n^{\circ} \text{ mòduls} = \frac{\text{Energia per abastir}}{\text{HSP} \cdot \text{rendiment de treball} \cdot \text{Potència pic del mòdul}}$$

Els paràmetres que apareixen es tracten a continuació.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Els consums nous resultants després d'haver aplicat les mesures d'eficiència energètica es reflecteixen en la següent taula (*Taula 1*):

Taula 1: Estalvis i consums nous després de l'aplicació de les mesures d'eficiència energètica. (Font: elaboració pròpia)

Edifici públic	Consum electricitat 2015 (kWh/any) (Observatori del Maresme, 2015)	Estalvi mesura 1 (kWh/any)	Estalvi mesura 2 (kWh/any)	Estalvi mesura 3 (kWh/any)	Estalvi per edifici (kWh/any)	% consum elèctric estalviat	Consum nou (kWh/any)
Camp de futbol municipal	84.314	29	0	54.044	54.073	18	30.241
CEIP Sant Pau	74.705	9.023	990	10.251	20.265	7	54.440
Ajuntament	43.310	222	1.221	2.581	4.023	1	39.287
+ serveis tècnics	5.765	280	357	707	1.344	1	4.421
+ policia local	18.324	0	700	4.302	5.002	1	13.322
Poliesportiu	26.462	2.068	0	16.974	19.041	6	7.421
Llar d'infants Pi del Soldat	30.685	361	332	1.447	2.139	1	28.546
Centre cultural Ca l'Arturo (i Radio Litoral)	22.536	343	808	1.786	2.937	1	19.599
	Consum total electricitat 2015 (kWh/any)	Estalvi total mesura 1 (kWh/any)	Estalvi total mesura 2 (kWh/any)	Estalvi total mesura 3 (kWh/any)	Estalvi total edificis públics (kWh/any)	Total % consum elèctric estalviat	Consum nou total edificis públics (kWh/any)
	306.101	12.325	4.408	92.091	108.824	36	197.277

Això ha permès reduir el consum en un 36 %, reduint considerablement la quantitat de plaques solars necessàries per abastir els edificis públics considerats. Concretament, s'ha passat d'un consum inicial dels edificis de 306.101 kWh/any a un de 197.277 kWh/any (=16.440 kWh/mes).

Atenent als nous consums mensuals dels 8 equipaments, resultants de la implementació de les mesures d'eficiència i estalvi (Taula 2), s'ha escollit el model de placa amb el que s'ha dimensionat el nostre sistema, tenint en compte el seu potencial i el seu grau d'eficiència. Així doncs, s'ha triat el model AXITEC (high quality german solar brand).

Taula 2: Consums mensuals a abastir (Font: elaboració pròpia)

Equipaments públics	Consums mensuals a abastir (kWh/mes)
Camp de futbol municipal	2.520
CEIP Sant Pau	4.537
Ajuntament + serveis tècnics + policia local	4.753
Poliesportiu	618
Llar d'infants Pi del Soldat	2.379
Centre cultural Ca l'Arturo (i Ràdio Litoral)	1.633
Total	16.440

Tot seguit, s'ha fet una estimació de l'àrea total ocupada per un mòdul i la seva màxima ombra en hores d'aprofitament solar. El valor obtingut ha estat de 5'55 m².

Tanmateix, s'ha utilitzat aquesta dada per a calcular el nombre total de plaques que es poden situar en les diferents àrees disponibles, dividint aquestes superfícies entre els 5'55 m². Aquestes zones útils per instal·lar-hi plaques han estat acotades gràcies a una anàlisi cartogràfica de la radiació solar incident rebuda per les diferents cobertes dels edificis en qüestió. A més a més, s'ha considerat també adient ubicar-hi mòduls a la zona del pàrquing de Sant Pol, degut als seus bons valors de radiació incident i a la seva bona localització.

Els resultats obtinguts s'exposen en la següent taula (Taula 3):

Taula 3: nombre de mòduls segons la zona d'estudi (Font: elaboració pròpia)

Zones d'estudi	Nº mòduls
Pàrquing	486
Equipaments del camp de futbol (bar, vestuaris, etc.)	66
CEIP Sant Pau	240
Llar d'Infants (Pi del Soldat)	205
Nº mòduls total	997

Paral·lelament, per tal de dimensionar el sistema energètic s'ha utilitzat l'equació, anteriorment mencionada, que mostra la relació entre el nombre de mòduls fotovoltaics i tot un seguit de paràmetres a tenir en compte:

$$n^{\circ} \text{ mòduls} = \frac{\text{Energia per abastir}}{\text{HSP} \cdot \text{rendiment de treball} \cdot \text{Potència pic del mòdul}}$$

Així, els valors dels factors que determinen el nombre de mòduls fotovoltaics, d'acord amb l'equació, són:

- **Energia a abastir:** valor que difereix en funció del consum de cada equipament (Taula x1)
- **HSP:** nombre d'hores equivalent que hauria de brillar el sol a una intensitat de 1 kW/m² per a obtenir la insolació total d'un mes. Aquest valor varia segons la zona d'estudi i s'ha determinat també a traves de l'anàlisi cartogràfica. (Taula 4)
- **Rendiment de treball: 0'8.** Aquest és el factor que té en compte les pèrdues produïdes pel possible embrutiment i / o deteriorament dels panells fotovoltaics i que normalment oscil·la entre valors de 0'7 - 0'8.
- **Potència pic del mòdul: 0'32 kW.** Determinada pel tipus de placa (320 W en el cas plantejat).

Cal recalcar que per a cadascuna d'aquestes àrees d'ubicació dels mòduls fotovoltaics s'han escollit les HSP del més mes desfavorable (pitjor escenari

possible), per tal que el nostre sistema energètic renovable sigui capaç de cobrir la demanda energètica dels equipaments durant tot l'any.

La següent taula mostra aquests valors (*Taula 4*):

Taula 4: nombre d'HSP en funció de la zona d'estudi (Font: elaboració pròpia)

Zones	HSP
Pàrquing	93'4
Equipaments del camp de futbol (bar, vestuaris, etc.)	79'6
CEIP Sant Pau	82'9
Llar d'Infants (Pi del Soldat)	74'9

D'aquesta manera, a través de la recopilació de totes les dades anteriors i a través de l'equació esmentada, s'ha calculat el nombre total de plaques del sistema de mòduls fotovoltaics capaç de cobrir el consum dels 8 equipaments. Això s'ha fet en funció de la proximitat dels equipaments amb les zones d'instal·lació de mòduls fotovoltaics.

Els resultats es mostren a la Taula següent (*Taula 5*):

Taula 5: nombre de mòduls instal·lats en funció de la zona d'estudi (Font: elaboració pròpia)

Zones d'estudi	Nº mòduls instal·lats
Pàrquing	346
Equipaments del camp de futbol (bar, vestuaris, etc.)	62
CEIP Sant Pau	214
Llar d'Infants (Pi del Soldat)	124
Nº mòduls total	746

També s'ha comprovat que aquests tinguessin cabuda dintre de les diferents superfícies d'estudi, atenent al nombre de mòduls que es poden ubicar dins les àrees útils disponibles (*Taula 3*).

La següent taula mostra aquesta disponibilitat (*Taula 6*):

Taula 6: nombre de "mòduls instal·lats" en funció del nombre de "mòduls amb possibilitat de ser instal·lats" en cadascuna de les zones d'estudi (Font: elaboració pròpia)

Zones d'estudi	Nº total de mòduls instal·lats	Nº total de mòduls amb possibilitat de ser instal·lats
Pàrquing	346	486
Equipaments del camp de futbol (bar, vestuaris, etc.)	62	66
CEIP Sant Pau	214	240
Llar d'Infants (Pi del Soldat)	124	205
Nº mòduls total	746	997

D'aquesta manera, s'ha conclòs determinant que les àrees disponibles del pàrquing, dels equipaments del camp de futbol, de l'escola CEIP Sant Pau i de la llar d'infants Pi del Soldat permeten ubicar-hi la quantitat exacta de plaques solars fotovoltaïques capaces d'abastir els 16.440 kWh/mensuals. Així, cada zona d'estudi cobreix la demanda energètica de certs equipaments.

A més a més, s'ha vist que, en cas que es volguessin instal·lar més mòduls en un futur, hi ha encara espai disponible dintre dels diferents perímetres estudiats per situar-ne (*Taula 6*).

CONCLUSIONS

ACCIONS D'EFICIENCIA ENERGÈTICA

Aplicant mesures correctores simples es pot aconseguir una reducció de consum considerable (del 36 %), respecte el consum del 2015 (306.101 kWh/any).

SOBRE EL DIMENSIONAMENT

Pel que fa a les dimensions del sistema energètic destinat a cobrir el consum dels equipaments (la instal·lació de mòduls solars fotovoltaics), s'ha determinat que aquest està compost per 746 plaques: 346 de les quals es troben situades a la zona del pàrquing, 62 al camp de futbol, 214 al CEIP Sant Pau i 124 a la Llar d'Infants (Pi del Soldat).

La següent taula (*Taula 7*) mostra de forma esquemàtica els resultats obtinguts, els quals

expressen el nombre de mòduls totals en cada zona d'estudi i el nombre de plaques que abasteixen cada equipament (en cadascuna d'aquestes àrees).

Taula 7: nombre de mòduls segons els equipaments. (Font: Elaboració pròpia)

Zones d'estudi	Nº mòduls necessaris
Pàrquing	346
Equipaments del camp de futbol (bar, vestuaris, etc.)	62
CEIP Sant Pau	214
Llar d'Infants (Pi del Soldat)	124
Nº mòduls total	746

• Ajuntament (+ serveis tècnics + policia local):	199
• Poliesportiu	26
• Ca l'Arturo	68
• 50% consum equipaments del camp de futbol	53

• 50% consum equipaments del camp de futbol

• CEIP Sant Pau

• Llar d'Infants

Tanmateix, els mòduls fotovoltaics de la zona del pàrquing estan destinats a cobrir el consum de l'Ajuntament (i els serveis tècnics i la policia local), el poliesportiu i el Centre cultural Ca l'Arturo (i Ràdio Litoral) i el 50% del consum dels equipaments del camp de futbol.

D'altra banda, les plaques que es troben dintre del perímetre del camp de futbol abasteixen el 50% restant del consum dels equipaments del camp de futbol municipal (bar, vestuaris, etc.).

Per últim, els mòduls situats dintre l'àrea de l'escola i de la llar d'infants són els encarregats de cobrir els consums respectius d'aquests equipaments.

Per tant, Sant Pol de Mar pot, avui dia, abastir els seus 8 equipaments públics de major consum amb energia solar fotovoltaica.

REFERÈNCIES

Albasolar, (2016). *Tarifa PVP. Edición 14 diciembre 2016*. Madrid: Albasolar España.

Agència d'Energia de Barcelona, (2011). *Guia bàsica d'eficiència energètica en edificis municipals*.

Barcelona: Ajuntament de Barcelona, pp.61 – 62, 94 – 95, 97 - 98.

Barroso, F. (2016). *Consulta a la Francesc Barroso (Delegat d'Electricitat Boquet S.L.)*.

Consell Comarcal del Maresme, (2012). *Visites d'Avaluació energètica a Sant Pol de Mar*. Mataró: Consell Comarcal del Maresme.

Fabricaled.com, (2017). *Fàbrica LED*. [web] Accessible a: <https://www.fabricaled.com/ca/> [Consultada 5 Gen. 2017].

Fernández Rodrigo, E. (2016). *Consulta a l'Elena Fernández Rodrigo (Tècnica de Medi Ambient de Sant Pol de Mar)*.

García i Monzón, R. (2015). *Observatorio de la Electricidad Año 2015*. Informes anuales WWF España. Madrid: WWF España.

Marré i Mir, N. (2016). *Consulta a la Narcís Marré i Mir (Enginyer Municipal de Sant Pol de Mar)*.

Ministerio de Industria, Energía y Turismo, (2015). *Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo*. Madrid: Consejo de Ministros.

Morera i Marcé, M. (2016). *Entrevista amb la Marta Morera i Marcé (Responsable tècnica de Rubí Brilla)*.

Observatori del Maresme, (2014, 2015). *Sistema d'Informació Energètica: Informe Anual*. Sant Pol de Mar: Ajuntament de Sant Pol de Mar.

Palomo i Trigo, A. (2013). *Factura de la luz: qué y cuánto nos cobran*. [web] Eroski Consumer.

Disponible a:

http://www.consumer.es/web/es/economia_domestica/servicios-y-hogar/2013/01/14/215327.php [Consultada 16 Gen. 2017].

Rovira et al (2017). *Estudi de la viabilitat d'un sistema energètic basat en renovables a Sant Pol de Mar*. Bellaterra: Universitat de Barcelona.