Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Estudi d'aplicació de les energies renovables en una granja d'Osona i projecte d'instal·lació fotovoltaica

MEMÒRIA

Autor: Roger Caballeria Terradellas
Director: Josep Maria Morancho Llena
Convocatòria: Juny 2018

Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona

Resum

El projecte es basa en l'estudi d'aplicació d'energies renovables en una granja d'Osona i en l'aplicació d'una instal·lació solar fotovoltaica. Segons les condicions energètiques de l'emplaçament, s'ha estudiat la viabilitat d'implementar energies renovables com l'energia eòlica, l'energia hidràulica, l'energia solar fotovoltaica, la biomassa o la geotèrmia, constatant que la més rentable per la granja es l'energia solar fotovoltaica. Per tant s'ha dimensionat un projecte basat en l'energia procedent del Sol que permet a la granja reduir el seu consum elèctric i conseqüentment part la factura de la llum.

La instal·lació solar fotovoltaica consta d'un camp solar de 54 panells solars que li generen electricitat suficient per cobrir una tercera part del seu consum elèctric anual. Inclou bateries per emmagatzemar el 80% de l'energia produïda durant un dia i així no generar excedents. Tot i això, l'elevat cost de les bateries han fet concloure que no és rentable la seva implementació. Així dons s'ha presentat una altre alternativa sense bateries i amb la venta dels excedents generats. Aquesta altre opció ha comportat un període de retorn d'uns 15 anys amb un benefici de 6.500€ al cap de 20 anys.

Amb aquest projecte es pretén incentivar a les petites i mitjanes empreses a invertir en energies renovables, les energies d'un futur pròxim, que té a l'horitzó una reforma energètica basada en energies netes i sostenibles.

Sumari

RESUM 1

SUMARI 2

1. PREFACI 5

1.1. Origen del projecte 5

1.2. Motivació 6

2. INTRODUCCIÓ 7

3. DESCRIPCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ ACTUAL 9

4. CONDICIONS ENERGÈTIQUES DE L'EMPLAÇAMENT 12

5. DIMENSIONAMENT FOTOVOLTAIC 14

5.1. Camp fotovoltaic 15

5.2. Càlcul de l'energia generada pel camp fotovoltaic 18

5.3. Panell fotovoltaic 20

5.4. Bateries 22

5.5. Inversor híbrid 24

5.6. Estructura 27

5.6.1. Distància mínima entre estructures 28

6. INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA 30

6.1. Equips de mesura i protecció 30

6.2. Justificació locals mullats 31

6.3. Telemonitorització 31

6.4. Sistemes de Seguretat, protecció i connexió a Terra de la instal·lació. 32

6.5. Harmònics i compatibilitat electromagnètica 33

6.6. Conductors 33

6.6.1. Càlcul de la secció 34

6.7. Canalització de cablejat 38

6.8. Punt de Connexió 38

7. RENDIMENT ENERGÈTIC DE LA INSTAL·LACIÓ 39

7.1. Producció del camp generador 41

8. PLÀNOLS 42

9. NORMATIVA 43

10. IMPACTE AMBIENTAL DE LA INSTAL·LACIÓ 44

11. PRESSUPOST 45

11.1. Estudi viabilitat econòmica (VAN i període de retorn).....47

CONCLUSIONS 50

AGRAÏMENTS 52

BIBLIOGRAFIA 53

Referències bibliogràfiques.....53

Altres referències 53

1. Prefaci

1.1. Origen del projecte

Estem vivint el final d'un període en el qual la principal font primària d'energia han estat els combustibles fòssils. Durant el segle passat i fins avui ha pujat exponencialment el seu consum a escala mundial. Però actualment, han deixat ja de ser una font d'energia barata, tal com posa de manifest la clara tendència a l'alça del preu del petroli: que ha passat d'estar per sota de 20 dòlars el barril als anys 70 del segle passat, a uns 80 dòlars actualment, amb oscil·lacions del preu que, en alguns moments, han arribat a superar els 100 dòlars. Aquesta pujada del preu és conseqüència del increment del consum i de la reducció de les reserves, i en els propers anys tot fa pensar que els preus continuaran pujant.

En paral·lel, els problemes associats al canvi climàtic s'han convertit en una preocupació a escala mundial, que ha fet que els estats es proposin de fer-hi front. Una de les principals causes del canvi climàtic posada en evidència pels estudis del panell d'experts internacionals és el creixement sostingut en el darrer segle de la concentració de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. Una de les principals contribucions a aquest increment són les emissions de diòxid de carboni associades a l'ús dels combustibles fòssils. És per aquest motiu que s'han engegat accions a escala internacional per controlar aquest tipus d'emissions i s'ha plantejat buscar alternatives als combustibles fòssils.

Les energies renovables a través de la biomassa, els recursos eòlics i l'energia hidràulica han estat utilitzades des de sempre com a fonts d'energia primària. Però el desenvolupament tecnològic dels darrers anys ha fet possible disposar d'un volum molt més gran de recursos renovables associats principalment a l'energia solar i l'energia eòlica. És per això, que les energies renovables han acabat de ser reconegudes com una font d'energia que pot convertir-se en alternativa als combustibles fòssils. En els propers anys s'haurà de produir un canvi de model energètic que passi de fonamentar el consum en els combustibles fòssils i nuclears a utilitzar fonamentalment les energies renovables com a font principal d'energia primària.

La transició energètica que s'ha de produir en els propers anys m'ha portat a interessar-me per l'aprofitament de les energies renovables. És per això que en el període de pràctiques externes en l'empresa vaig anar a SUD Energies Renovables de Vic, on vaig veure com es treballa a l'hora de dimensionar instal·lacions d'energia solar fotovoltaica. L'experiència professional a SUD m'ha permès conèixer quins són els captadors i els inversors que hi ha en el marcat, he pogut també veure com es dimensiona la part elèctrica d'aquestes instal·lacions, i he tingut l'oportunitat d'utilitzar eines de simulació com els programes PVSyst i PVgis.

1.2. Motivació

Quan vaig parlar per primera vegada amb el tutor de la possibilitat d'orientar el treball final de grau cap a les energies renovables, em va recomanar fer un estudi concret basat en alguna empresa o instal·lació real. En aquell moment vaig recordar que un amic que té una explotació ramadera estava interessat en estudiar la possibilitat d'utilitzar energies renovables a la seva explotació. Després de parlar amb ell i de confirmar que seguia interessat en el tema i que estava disposat a passar-me tota la informació que necessités per fer l'estudi, vaig pensar que aquesta aplicació concreta podia ser l'objectiu del meu treball.

El plantejament inicial passava per fer una exploració de les possibilitats que oferien les diferents energies renovables. Però de seguida es va veure que el principal recurs amb el que es podia comptar era l'energia solar. És per això que, encara que el treball comença valorant la possibilitat d'aplicar els diferents recursos renovables, acaba dimensionant una instal·lació d'energia solar fotovoltaica.

Una altre motivació afegida dins l'estudi d'aprofitament d'energia solar fotovoltaica era el fet de necessitar bateries. En les experiències prèvies que havia tingut d'instal·lacions solars fotovoltaiques mai m'havia trobat amb sistemes que necessitessin sistemes d'emmagatzemament. No hi havia cap instal·lació autònoma sinó que totes estaven connectades a la xarxa sense utilitzar bateries. Les primeres valoracions de les necessitats energètiques en la granja objecte d'estudi van posar de manifest que el consum d'energia i la producció es produïen en moments de temps diferents, i que podia ser molt interessant estudiar la possibilitat d'incloure bateries.

2. Introducció

L'objecte del treball és l'estudi de l'aplicació de les energies renovables per cobrir les necessitats d'energia elèctrica d'una explotació ramadera situada a la comarca de Osona. Per efectuar aquest estudi s'han fixat els següents objectius:

- Avaluar els recursos energètics renovables disponibles en l'emplaçament i el seu entorn més proper d'energia solar i d'energia eòlica. Constatar la falta de recursos hidràulics, geotèrmics i de biomassa.

- Avaluar les necessitats d'energia elèctrica de la instal·lació.

- Dimensionar una instal·lació solar fotovoltaica que cobreixi el màxim de les necessitats d'energia elèctrica amb la restricció de no superar la potència elèctrica contractada. Aquest és un requisit fixat pel propietari de la instal·lació.

- Fer el corresponent estudi de viabilitat econòmica.

Per tal d'aconseguir aquests objectius, el cos del treball comença en un primer bloc de tres capítols dedicats a caracteritzar la instal·lació, a determinar les necessitats energètiques i avaluar els recursos renovables en l'emplaçament. Aquest primer bloc comença amb la descripció de la situació actual de la instal·lació. Continua amb un estudi per determinar el consum d'energia elèctrica. I acaba amb l'estudi de les condicions energètiques de l'emplaçament, avaluant la disponibilitat de les diferents energies renovables, i fent un estudi particular amb més profunditat dels recursos d'energia solar i eòlica que, a priori, es pensava que podien ser els més abundants. Amb aquest objectiu es va recopilar informació de dades meteorològiques en un període de més de 10 anys per obtenir valors representatius de la irradiació solar i de la velocitat del vent en l'entorn proper de la instal·lació.

A continuació hi ha el bloc dedicat al dimensionament de la instal·lació solar fotovoltaica. Es comença amb un capítol on es dimensiona el camp fotovoltaic triant el model de captador i calculant la seva producció d'energia elèctrica. Per estimar la producció d'energia elèctrica s'ha calculat directament a partir de les irradiacions i les característiques dels captadors, i s'ha comprovat els resultats amb l'ajuda del programa PVgis, que es pot utilitzar online a la plataforma de CMSAF. Es dimensionen també els inversors i les necessitats d'emmagatzemament de les bateries. I finalment s'estudia com ha de ser l'estructura de suport. La instal·lació elèctrica s'ha especificat de forma detallada en el capítol dedicat als elements de protecció, als sistemes de seguretat, incloent la telemonitorització i dimensionant les seccions dels cablejats. Aquest segon bloc acaba amb el capítol on es fa la previsió del rendiment energètic de la instal·lació utilitzant com a eina de càlcul el programa PVSyst, que coneixia del meu període de pràctiques a SUD Energies Renovables, i amb un darrer capítol on es presenten els plànols de la situació general, de la secció de la instal·lació, i de l'esquema unifilar. Pel que fa al programa PVSyst, s'ha utilitzat la versió que s'ha pogut descarregar a la pàgina web pvsyst.com, que és un versió que es pot utilitzar per un període màxim d'un mes, i amb la limitació de no poder incloure bateries.

El tercer bloc inclou un capítol dedicat a revisar tota la normativa de les instal·lacions solars fotovoltaiques, un capítol dedicat a l'estudi del impacte ambiental i finalment el capítol dedicat a l'estudi de la viabilitat econòmica. El treball acaba amb l'apartat de conclusions on es valora com s'han assolit els objectius proposats en el treball i es consideren alternatives a la instal·lació proposada.

3. Descripció de la instal·lació actual

La instal·lació objecte de l'estudi està ubicada a la comarca d'Osona, al centre de Catalunya a una altura respecte el nivell del mar de 499 m.

Com es pot observar en la Figura 3.1 el conjunt de les instal·lacions conté un total de 7 edificis. L'edifici 7 està dedicat a l'habitatge i conté els quadres elèctrics de comandament de totes les instal·lacions excepte les de l'edifici 2. L'edifici 1 està dedicat a les vedelles de recria i vaques eixutes. A l'edifici 2 hi ha les vaques de llet, els vedells de cria, els vedells d'engreix i les sales de munyir amb els corresponents quadres elèctrics. L'edifici 3 està destinat al bestiar porcí. Els edificis 4 i 5 estan dedicats a les vedelles de recria. I finalment l'edifici 6 està destinat a magatzem. El rectangle vermell d'aquesta Figura 3.1 correspon a la porta automàtica, que s'ha instal·lat recentment, i que ha comportat la construcció d'una línia elèctrica soterrada per connectar la porta amb els quadres centrals de la instal·lació elèctrica de l'edifici 7.

Fig. 3.1: Vista en planta de la masia. Font: Google Maps.

S'ha fet dues visites tècniques a la granja i a l'habitatge per determinar tots els aparells de consum i les respectives potències elèctriques.

D'aquestes visites se n'ha extret que a la granja els consums són deguts als dos motors dels tancs de refrigeració de la llet de 4 kW cada un, als dos motors de la sala de munyir de 2,2 kW, als 3 motors destinats a accionar el sistema de neteja de deposicions ramaderes (tiras), el primer d'ells de 4,6 kW i els altres 2 de 4,4 kW, als 4 ventiladors per la climatització de l'estiu de 552 W cada i finalment al sistema d'il·luminació basat en 60 fluorescents de 18 W cada un.

Pel que fa al consum elèctric de la casa és degut a la vitroceràmica de 2,2 kW, al microones de 0,8 kW, al forn de 0,9 kW, al rentaplats de 1,8 kW, a les dues rentadores de 1,8 kW, a l'assecadora de 4 kW i a una nevera i tres congeladors, dels quals no s'ha pogut aconseguir dades de la seva potència però si de la seva eficiència.

L'explotació ramadera es dedica majoritàriament a la producció de llet de vaca. La potència elèctrica contractada és de 15 kW, però cada dia de les 5:30 h a les 9:00 h del matí, i de les 17:30 h a les 21:00 de la tarda, han de controlar els equipaments connectats a la xarxa per no superar el límit de potència contractada. Amb aquesta potència cobreixen tot el consum de la granja a més a més del de l'habitatge. El seu consum es manté força constant durant tot l'any, tot i que puja en els mesos d'estiu degut a la utilització d'elements de refrigeració.

Durant l'any arriben a consumir un total de 69.926 kWh de mitjana. Aquest és la suma del consum elèctric de la granja i del consum elèctric de l'habitatge, que a continuació a la Taula 3.1 queda desglossat.

Totes aquestes dades estan basades en una factura elèctrica que va proporcionar l'empresa a l'autor d'aquest treball a més a més de dues visites tècniques.

Consums elèctrics						
	n	P(kW)	h/dia	nd	h/any	kWh
Granja						
Sala de munyir m1	1	2,2	7	365	2555	5621
Sala de munyir m2	1	2,2	3	365	1095	2409
tiras 1	1	4,6	1,5	365	547,5	2519
tiras 2	2	4,4	1,5	365	547,5	4818
ventiladors	4	0,552	7	122	854	1886
fluorescents	60	0,018	6	365	2190	2365
tancs llet	2	4	-	-	-	30000
					Subtotal:	**49617**
Habitatge						
Vitroceràmica	1	2,2	3,0	365	1095,0	2409,0
Microones	1	0,8	0,3	365	121,7	97,3
Forn	1	0,9	0,7	365	260,7	234,6
Rentaplats	1	1,8	3,0	365	1095,0	1971,0
Congeladors	3	-	-	-	-	8175,0
Nevera	1	-	-	-	-	2540,4
Rentadores	2	1,8	1,1	365	401,5	1445,4
Assecadora	1	4	0,3	365	109,5	438,0
Altres	-	-	-	-	-	2998
					Subtotal:	**20309**
					Total:	**69926**

Taula. 3.1: Consum elèctrics de l'emplaçament

4. Condicions energètiques de l'emplaçament

Catalunya rep una mitjana d'insolació d'uns 1.650 kWh/m^2 cada any, equivalent a unes 4,5 hores pic de Sol al dia, això fa que es trobi al capdavant d'Europa en quant a potencial productiu d'energia elèctrica a partir de plantes fotovoltaiques. Tot i això, actualment Espanya ocupa el cinquè lloc a Europa pel que fa a potència solar instal·lada amb un total de 5,4 GW, quedant per darrera de França amb 6,6 GW, del Regne Unit amb 8,8 GW, d'Itàlia amb 19,8 GW, i d'Alemanya amb 39,7 GW instal·lats.

Per estudiar el potencial concret de la instal·lació s'han consultat les dades d'irradiació solar del Servei Meteorològic de Catalunya recopilades en els anuaris que van des de 1997 fins a 2016. S'ha triat com a estació meteorològica representativa l'estació de Gurb, que es troba a una distància de menys de 10 km i a un altura respecte el nivell del mar de 509 m (la instal·lació està a una altura de 499 m). Per obtenir irradiacions mensuals representatives s'ha efectuat la mitjana aritmètica de les dades corresponent als 12 anys disponibles dins del període 1997 - 2016. Els resultats es presenten a la Taula 4.1.

	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DES	ANY
Irradiació Solar mitjana diària (kWh/m^2)	1,86	2,60	4,14	4,97	5,97	6,53	6,58	5,91	4,42	3,15	2,04	1,63	4,18

Taula. 4.1: Mitjana de la irradiació solar diària en els diferents mesos de l'any a l'estació Meteorològica de Gurb. (El detall de les dades anuals d'irradiació utilitzades es poden trobar a l'annex).

Pel que fa a l'energia eòlica, encara que a Catalunya hi ha comarques amb un gran potencial de vent, com l'Alt Empordà, el Baix Ebre o el Montsià, la comarca d'Osona té uns recursos molt pobres. Segons els anuaris del Servei Meteorològic de Catalunya, les velocitats mitjanes diàries del vent en els diferents mesos de l'any recollides en l'estació meteorològica de Gurb s'especifiquen a la Taula 4.2. Els valors d'aquesta taula són la mitjana aritmètica de les dades corresponents als 17 anys disponibles dins del període 1997 - 2016.

	GEN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DES	ANY
Velocitat mitjana del vent (m/s)	0,84	1,08	1,28	1,34	1,12	1,14	1,29	1,12	0,95	0,86	0,78	0,69	1,04

Taula. 4.2: Mitjana de la velocitat del vent diària en els diferents mesos de l'any a l'estació Meteorològica de Gurb. (El detall de les dades anuals de velocitat del vent utilitzades es poden veure a l'annex).

Com s'observa en la Taula 4.2 la mitjana anual de la velocitat del vent és de 1,04 m/s. Tenint en compte que els aerogeneradors estàndards requereixen una velocitat mínima del vent de 3 m/s, resulta evident que s'ha de descartar l'aprofitament de l'energia eòlica per satisfer les necessitats d'energia elèctrica de la instal·lació.

Tampoc hi ha disponible a l'emplaçament recursos hidràulics. No hi ha cap torrent ni cap riu en els terrenys de la instal·lació ni en les seves immediacions.

L'activitat ramadera de la instal·lació no genera biomassa aprofitable per la generació d'energia, ni hi ha recursos forestals en la mateixa instal·lació per poder plantejar-se un aprofitament tèrmic, i encara menys elèctric, de la biomassa.

Pel que fa a l'energia geotèrmica l'únic aprofitament possible seria Geotèrmia de baixa temperatura perquè en l'emplaçament no hi ha ni aigües termals ni activitat geològica que comporti aprofitaments de mitja o alta temperatura. Els aprofitaments de baixa energia es poden utilitzar per calefacció i climatització de les instal·lacions però requereixen de l'ús de bombes de calor que tenen també un consum elèctric. La generació d'energia elèctrica no es podria fer amb l'ús d'energia Geotèrmia de baixa temperatura. I l'objectiu d'aquest estudi és cobrir les necessitats d'energia elèctrica de la instal·lació agropecuària considerada.

Per tot això sembla evident que s'ha de optar per una instal·lació solar fotovoltaica.

5. Dimensionament Fotovoltaic

En aquest apartat es triaran i descriuran els elements de la instal·lació solar fotovoltaica: camp fotovoltaic, panells, inversors, bateries, estructura mecànica de suport dels captadors i s'efectuaran els càlculs necessaris per dimensionar tots aquests elements.

La normativa espanyola que regeix les instal·lacions fotovoltaiques destinades a l'autoconsum es troba en el RD 900/2015 d'Autoconsum. Aquest reial decret regula el consum instantani d'energia fotovoltaica i la seva venta classificant les instal·lacions en dos grups: les instal·lacions fotovoltaiques tipus 1 i les instal·lacions fotovoltaiques tipus 2.

En tots dos casos el propietari, que es un consumidor, té contractada una potència elèctrica de consum. La potència de les instal·lacions solars fotovoltaiques tant del tipus 1 com del tipus 2 no poden superar la potència de consum contractada pel consumidor.

Les instal·lacions fotovoltaiques tipus 1 són instal·lacions de generació que no estan donades d'alta en el registre de producció i per això no reben cap retribució pel sobrant d'energia que subministren a la xarxa elèctrica. Aquestes instal·lacions tenen potències que no poden excedir els 100 kW i el titular del subministrament de consum elèctric ha de ser el mateix que el titular de la instal·lació fotovoltaica. Si la instal·lació disposa d'un dispositiu acreditat que impedeix la injecció de l'energia no utilitzada, aquesta no ha de pagar l'estudi d'accés i de connexió i d'escomesa. També les instal·lacions d'aquesta tipologia amb potència de fins a 10 kW estan exemptes de pagar els costos d'estudis de connexió i accés, i del impost de "peaje de respaldo", que es coneix col·loquialment com el impost al Sol.

Les instal·lacions fotovoltaiques tipus 2 són instal·lacions que sí que estan inscrites en el registre de producció i, per tant, reben contraprestació econòmica pel seus excedents. En aquest cas se'n distingeixen dos subjectes: el consumidor i el productor, els quals, a diferència de les instal·lacions de tipus 1, no han de perquè coincidir. Les instal·lacions poden superar els 100 kW. Finalment, els titulars de les instal·lacions de producció hauran de pagar els peatges d'accés establerts en el RD 1544/2011, sense els quals no podran rebre contraprestació econòmica.

L'objectiu d'aquest projecte és dimensionar una instal·lació fotovoltaica capaç de reduir al màxim el preu de la factura elèctrica dels propietaris. Degut a que amb la limitació de la potència màxima de 15 kW no es preveu que es generin excedents d'energia (ni energia elèctrica suficient per cobrir les necessitats de la instal·lació), es descarta la instal·lació tipus 2 i s'opta per dimensionar una instal·lació fotovoltaica per autoconsum tipus 1.

Tal com s'ha explicat a l'apartat 4, en les granges lleteres els pics de consum d'energia elèctrica es produeixen en els dos períodes de les tasques de munyir, que van de les 5:30 h a les 9:00 h del matí, i de les 17:30 h a les 21:00 de la tarda. En aquests dos períodes de temps és quan estan en funcionament els motors de les màquines de munyir, amb una potència de 2,2 kW quan funciona un sol motor, i amb una potència de 4,4 kW quan s'utilitzen al mateix temps els dos motors. També en

aquests mateixos períodes és quan els tancs on es guarda la llet treballen amb més potència per tal de baixar la temperatura des d'uns 35 ºC fins a la temperatura de conservació dels tancs que és de 3 ºC. La potència dels motors del tancs de refrigeració és d'uns 8 kW i per tant durant aquests períodes la potència amb la qual treballa la instal·lació supera els 10 kW. Quan s'hi sumen les potències corresponents a la il·luminació i al funcionament de la vivenda, la potència total connectada pot arribar a superar el límit dels 15 kW contractats, tal com s'ha explicat que comentaven els propietaris de la instal·lació que ocasionalment es podia produir en l'apartat 3.

La producció d'energia elèctrica en plaques solars fotovoltaiques es concentra majoritàriament en la franja de 4 hores al voltant del punt del migdia. Això vol dir que, en l'horari d'hivern, aquesta franja va des de les 11 h fins a les 15 h; i en l'horari d'estiu, aquesta franja va des de les 12 h fins a les 16 h. Les dues franges horàries de màxim consum i la franja horària de màxima producció no tenen intersecció i per tant es necessita dimensionar un sistema de bateries amb capacitat per emmagatzemar la gran part de la producció diària d'energia elèctrica subministrada pels captadors solars. Tenint en compte els consums de l'apartat 3, s'ha considerat que les bateries hauran de cobrir un 80% de l'energia produïda. L'energia de l'habitatge representa un 30% del total consumit durant l'any, a més a més, els tancs de la llet i tots els aparells de refrigeració tenen un consum constant durant tot el dia i els tiras, que treballen durant el migdia, representen un 15% del consum de la granja anual. No s'ha pogut disposar del perfil de consum elèctric horari de la granja, cosa que no permet saber en exactitud si es compleix aquesta hipòtesis. Per tant, a l'hora de dimensionar les bateries per a dur a terme físicament el projecte, s'haurà de confirmar.

En conclusió la instal·lació fotovoltaica a dimensionar és una instal·lació autònoma de tipus 1 amb un potència elèctrica lo més propera a 15 kW i amb la capacitat d'emmagatzemar el 80% de l'energia produïda durant un dia.

5.1. Camp fotovoltaic

L'òptima orientació dels mòduls fotovoltaics és cap al sud, tot i que la pèrdua per desviació en l'orientació és de l'ordre del 0,2% per cada grau de desviació respecte l'azimut zero (direcció sud). Així mateix, la inclinació òptima dels mòduls per un valor fix durant tot l'any està entre uns 5 i 10 graus per sota del valor de la latitud de l'emplaçament. Aquesta inclinació òptima és la que correspon al període de l'any situat als dos equinoccis. Pel període de l'any centrat en el solstici d'estiu el valor òptim de la inclinació està per sota, i al voltant del solstici d'hivern la inclinació òptima està per sobre.

Tenint en compte la latitud de l'emplaçament, la inclinació òptima dels panells que s'instal·lin per aprofitar la radiació solar durant tot l'any es trobarà entre els 30º i els 40º.

Els mòduls fotovoltaics es poden instal·lar en qualsevol emplaçament lliure d'obstacles que puguin projectar ombres sobre els captadors. Els edificis 4, 5 i 6 de la Figura 5.1 estan afectats per les ombres que projecten la resta de les instal·lacions i, per tant, les cobertes d'aquests edificis s'han descartat com a emplaçament dels captadors solar. Tots els altres edificis estan lliures d'ombres. Donat que els

captadors instal·lats sobre una teulada amb inclinació diferent a la de la pròpia teulada estan subjectes a una acció del vent molt més forta que quan no sobresurten (efecte vela), s'ha optat per considerar els captadors de forma coplanar amb la mateixa inclinació i orientació que la coberta. De totes les cobertes de la resta d'edificis, en la Figura 5.1 s'han considerat aquelles que estan inclinades en direcció sud, est o oest, a més a més del camp agrícola. L'edifici 1 està orientat 60º en direcció sud-est i la seva coberta té una inclinació de 10º. La coberta considerada de l'edifici 2 té també una inclinació de 10º i una orientació de 25º sud-est. L'edifici 3 té una orientació de 65º sud-oest i una inclinació de 10º. Finalment l'habitatge, edifici 7, té una orientació est oest i una inclinació també de 10º.

Fig. 5.1: Cobertes a considerar pel camp fotovoltaic . Font: Pròpia

Tenint en compte que els quadres elèctrics estan a ubicats a l'habitatge, edifici 7, la teulada d'aquest edifici seria la ubicació més adient dels panells fotovoltaics per reduir costos en les dimensions del cablejat. S'ha descartat aquesta opció ja que la orientació dels dos vessants d'aquesta teulada estan orientats cap a l'est i l'oest tal com s'indica a la Figura 5.1. Aquesta orientació faria que la producció d'energia dels captadors baixés al voltant d'un 15% respecte a la orientació en direcció sud.

Unes altres cobertes que es poden descartar són les referents als edificis 2 i 3. Són cobertes que tot i tenir una millor orientació, 65º oest i 25º est respectivament, estan fetes de fibrociment. El RD 396/2006 especifica que s'ha de substituir el fibrociment quan aquest arribi al final de la seva vida útil, cosa que faria que el cost del projecte pugés uns 5.000 € a més a més de suposar un problema de reorganització del bestiar durant tot el període de construcció. Les pèrdues respecte a la orientació en direcció sud serien d'un 12% per l'edifici 3 i d'un 8% per l'edifici 2.

La coberta numero 1 és doncs la última opció per instal·lar en teulada. Aquesta no té el problema del fibrociment ja que està feta de xapa metàl·lica, té una orientació de 60º, tampoc molt favorable, i a més a més, està molt lluny de l'habitatge, cosa que suposaria molt cost en cablejat i en obra per soterrar aquets mateixos. En aquest cas les pèrdues respecte la orientació en direcció sud estarien al voltant d'un 12%. També s'ha descartat.

Finalment queda el camp agrícola marcat amb el punt 8. El principal punt favorable és que el terreny permet instal·lar el camp en la orientació i inclinació òptima. També, al ser molt proper a la porta automàtica que s'ha esmentat en l'apartat 3, es poden aprofitar les rases que es van fer per passar el cablejat del camp fotovoltaic cap als quadres elèctrics ubicats a l'habitatge.

L'opció triada ha estat la de panells ubicats en el camp agrícola, orientats a sud i inclinats 30º.

Com s'ha esmentat en l'apartat 4 de Condicions energètiques de l'emplaçament, la instal·lació no podrà superar els 15 kW instal·lats. Per tant s'ha dimensionat un camp fotovoltaic compost per 4 sèries en paral·lel, 2 d'elles de 14 panells i les altres 2 de 13 panells, formant un total de 54 panells de 275 Wp de potència. Aquesta disposició equivaldrà a una potència total instal·lada de 14,85 kWp, que suposaran 13,2 kW nominals evacuats mitjançant 2 onduladors/carregadors de 6,6 kW. L'energia generada pels 54 panells s'emmagatzemarà amb 13 bateries de capacitat total 1638Ah. La superfície ocupada pel camp generador és de 89,1 m^2.

Descripció del Camp Fotovoltaic		
Potència Nominal Instal·lada	13,2	kWn
Potència màxima pic instal·lada	14,85	kWp
Núm. de panells total	54	Unitats de 275 Wp
Núm de inversors	2	Unitat de 6,6 Wp
Sèries camp coberta	2 sèries 2 sèries	En paral·lel: 14 panells en sèrie En paral·lel: 13 panells en sèrie
Bateria	13	de 126 Ah
Inclinació dels panells	30º	Respecte a l'horitzontal
Orientació dels panells		Sud

Taula. 5.1: Descripció del camp fotovoltaic

5.2. Càlcul de l'energia generada pel camp fotovoltaic

S'ha basat el càlcul en el llibre Sorensen, B. Renewable Energy [1] i en el De Juana, JM. Energias renovables para el desarrollo [2].

La primera equació utilitzada ha estat la del càlcul de la irradiació fora de l'atmosfera durant tot un dia per una placa inclinada:

$$G_{0\,t\,dia} = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} S(n) \cdot [\sin\delta \cdot \sin(\emptyset - s) \cdot w'_s + \cos\delta \cdot \cos(\emptyset - s) \cdot \sin w'_s] \qquad (5.1)$$

On $S(n)$ és la constant solar i es calcula de la següent forma:

$$S(n) = S\left[1 + 0.034 \cdot \cos\left(360^\circ \cdot \frac{n}{365}\right)\right] \qquad \begin{cases} n \in (1, 365) \ \ dia\ de\ l'any \\ S = 1353\ W \cdot m^{-2} \end{cases} \qquad (5.2)$$

δ és la declinació del Sol, angle format per la direcció Sol - Terra i el pla equatorial de la Terra. Els seus valors canvien en les diferents èpoques de l'any, passant del valor δ = 23,45º en el solstici d'estiu, al valor de δ = -23,45º en el solstici d'hivern.

ϕ correspon a la latitud de l'emplaçament.

s equival a la inclinació dels panells. Com s'ha dit anteriorment, els panells van inclinats amb s = 30º.

Finalment w'_s és l'angle de sortida del Sol. Aquest angle dependrà de si és època de hivern o època de estiu. En època d'hivern, δ < 0, el Sol surt i es pon per l'horitzó al mateix temps que per la superfície inclinada. I l'angle horari de sortida queda com:

$$w'_s = \arccos(-tan\emptyset \cdot tan\delta) \qquad (5.3)$$

I en època d'estiu, δ > 0, com que el dia és més llarg que la nit, quan el Sol surt i es pon per l'horitzó il·lumina el darrera de la superfície inclinada. Per a que el Sol surti i es pongui per la cara de la superfície que s'està controlant fa falta que l'angle d'incidència de la radiació directe sobre la placa sigui menor de 90º. S'obté:

$$w'_s = \arccos(-\tan(\emptyset - s) \cdot tan\delta) \qquad (5.4)$$

També s'ha utilitzat la formula de la irradiació solar sobre una superfície horitzontal fora de l'atmosfera:

$$G_{0h\,dia} = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} S(n) \cdot [\sin\delta \cdot \sin\emptyset \cdot w_s + \cos\delta \cdot \cos\emptyset \cdot \sin w_s] \quad (5.5)$$

És semblant a l'equació (5.1) però simplificada, en aquest cas l'angle horari de sortida del Sol, w_s, sempre valdrà com en l'equació (5.3) ja que el Sol sempre sortirà i es pondrà per l'horitzó el mateix temps que ho fa per la superfície de la placa solar.

Finalment s'utilitzen les dades de irradiació en superfície horitzontal, G_h, obtingudes pel Servei Meteorològic de Catalunya esmentat en l'apartat 4 i utilitzant l'equació següent es trobar la irradiació en els dies buscats:

$$G_t = \frac{G_{0t} \cdot G_h}{G_{0h}} \quad (5.6)$$

Per calcular la irradiació anual de la masia, s'ha considerat una dia representatiu de cada mes.

Data dies significatius	Número dia	Dada Irradiació Sup. Horit.	Irradiació extraterr. Sup. Horit.	Irradiació extraterr. Sup. Incli.	Irradiació Sup. Incli.
	n	G_h (kWh/m^{2}dia)	G_{0h} (kWh/m^{2}dia)	G_{0t} (kWh/m^{2}dia)	G_t (kWh/m^{2}dia)
17-ene	17	1,86	3,84	8,19	3,95
16-feb	47	2,60	5,33	9,19	4,49
16-mar	75	4,14	7,29	10,05	5,71
15-abr	105	4,97	9,36	10,45	5,54
15-may	135	5,97	10,86	10,44	5,74
11-jun	162	6,53	11,47	10,32	5,87
17-jul	198	6,58	11,15	10,33	6,09
16-ago	228	5,91	9,93	10,38	6,17
15-sep	258	7,83	8,02	10,14	5,58
15-oct	288	3,15	5,90	9,42	5,03
14-nov	318	2,04	4,19	8,41	4,09
10-dic	344	1,63	3,44	7,84	3,72

Total =	1887,20

Taula. 5.2: Producció anual del camp fotovoltaic

Pel càlcul de la irradiació total, s'ha multiplicat la irradiació superficial inclinada de cada mes pel nombre de dies de cada mes i s'ha fet el sumatori.

Tenint en compte que s'instal·laran 14,85 kWp, amb 54 panells de 275 Wp, utilitzant l'equació (5.7) podem extreure l'energia que produirà la planta.

$$E = n_p \cdot P_p \cdot \frac{G_t}{S_{std}} \tag{5.7}$$

On n_p és el nombre de panells, P_p és la potència de cada panell i S_{std} és igual a 1 kW/m^2.

Surt que la instal·lació produirà 28.025 kWh, un 40% del total que consumeix la granja anualment, que són 69.926 kWh.

5.3. Panell fotovoltaic

Els panells fotovoltaics són els encarregats de la conversió d'energia radiant en energia elèctrica. Aquest procés és gràcies a l'efecte fotoelèctric i és degut a terme pel conjunt de cèl·lules que formen el panell.

S'ha optat pel panell REC TP 275, panell de 275 Wp molt eficient, fiable i amb una qualitat preu molt bona.

Les principals característiques dels laminats escollits per aquesta instal·lació, en condicions normals de funcionament, corresponent a una radiació de 1.000 W/m^2 i una temperatura de 25 ºC són:

Característiques elèctriques		
Potència màxima nominal	275	Wp
Tolerància	+5/-0	W
Tensió en el punt de màxima potència	31,4	V
Intensitat en el punt de màxima potència	8,76	A
Tensió de circuit obert	38,8	V
Intensitat de curtcircuit	9,40	A
Eficiència del mòdul	16,7	%
Producció Específica	166	W/m^2

Taula. 5.3: Característiques elèctriques del panell REC TP 275

Característiques físiques		
Longitud total dels mòduls	1.665	mm
Amplada	991	mm
Gruix	38	mm
Pes	18	kg

Taula. 5.4: Característiques físiques del panell REC TP 275

Els mòduls proposats es presenten des de fàbrica amb connectors MC4 i compleixen tota la normativa actual vigent IEC-61215, IEC-31730 disposant dels certificats TÜV de qualitat.

Dimensions del panell:

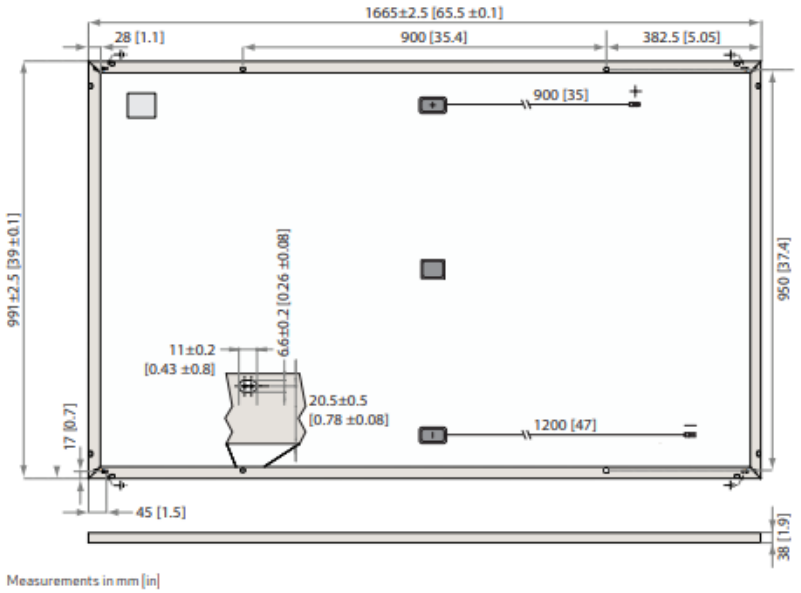


Fig. 5.3: Dimensions físiques del panell REC TW 275

5.4. Bateries

Com s'ha esmentat anteriorment, els principals consums de la granja són de dos quarts de 6 a les 9 hores del matí i de les 17:30 fins a les 21 hores de la tarda. Tenint en compte que la gran part de l'energia produïda per la instal·lació fotovoltaica es dóna durant el migdia, de les 11:00 hores a les 15:00 hores, la utilització de bateries és completament necessària per no perdre la gran part de l'energia generada.

Les bateries són dispositius capaços de transformar energia química en energia elèctrica i viceversa. Són carregades amb l'energia elèctrica generada pels panells solars, la qual és emmagatzemada en forma d'energia química en l'interior de les bateries i quan les necessitats energètiques ho requereixen torna a ser transformada en energia elèctrica per esser entregada a la instal·lació.

El paràmetre més important a l'hora d'elegir una bateria és la capacitat. La capacitat és la quantitat d'electricitat que es pot aconseguir en una descarrega completa de la bateria partint d'un estat de càrrega total. És el producte de la intensitat de descàrrega pel temps en el que està actuant.

A mes a més de la capacitat, s'han de tenir en compte els següents paràmetres:

- Eficiència de la càrrega: relació entre la energia requerida per recarregar la bateria i la energia realment emmagatzemada.
- Autodescàrrega: pèrdua de la capacitat de una bateria sense estar en ús degut al consum intern de l'energia emmagatzemada.
- Profunditat de descarrega: màxima capacitat que podem obtenir en % d'una bateria sense que es vegi perjudicada en la seva vida útil.

S'ha calculat la capacitat necessària per a emmagatzemar tota l'energia generada pels panells fotovoltaics de la següent forma:

$$C = \frac{E_n \cdot d_n}{V \cdot f_d} \tag{5.8}$$

On, E_n és l'energia produïda diària pel camp fotovoltaic; d_n són els dies d'autonomia, V és la tensió de la bateria i f_d és la profunditat de descàrrega.

L'energia diària és la divisió de l'energia produïda pel camp entre els 365 dies que dura un any. Pren un valor de 76,78 kWh diaris. Si li apliquem el 80% que s'ha explicat al principi d'aquest capítol, queden en 61,43 kWh diaris.

S'ha optat per les bateries LG Chem RESU 6.5 de liti amb una capacitat de 126 Ah. Tenen un voltatge

nominal de 48 V i una profunditat de descàrrega del 80%. Arriben a superar els 4.000 cicles de vida. A un dels inversor hi aniran connectades 7 bateries en sèrie i en l'altre 6 bateries en sèrie, formant una capacitat total de 1638 Ah.

Si substituïm els valors de la tensió, la profunditat de descàrrega, l'energia produïda de l'apartat 5.2 i tenim en compte un dia d'autonomia, l'equació (5.8) dóna un resultat de:

$$C = \frac{E_n \cdot d_n}{V \cdot f_d} = \frac{61430 \cdot 1}{48 \cdot 0.8} = 1600Ah \qquad (5.9)$$

La capacitat proporcionada per les bateries LG doncs, serà suficient.

Característiques elèctriques		
Capacitat	126	Ah
Potència pic	4,2	kW
Tensió Nominal	51,8	V
Rang de Tensió	48 - 58,8	V
Eficiència	95,3	%
Rang de Temperatura	-10 a 35	ºC
Característiques físiques		
Longitud	654	mm
Amplada	452	mm
Gruix	120	mm
Pes	52	kg

Taula. 5.5: Característiques elèctriques i físiques de la bateria LG Chem RESU 6.5

Fig. 5.4: Bateria LG Chem RESU 6.5

5.5. Inversor híbrid

L'inversor és un dispositiu electrònic que transforma el corrent continu procedent dels panells fotovoltaics o de les bateries en corrent altern. El fet de ser híbrid li permet, a més a més, controlar la càrrega i descarrega de les bateries i gestionar les diferents fonts d'energia, ja sigui energia procedent dels panells solars, energia emmagatzemada a les bateries o energia de la xarxa elèctrica.

Ha d'admetre uns valors de intensitat i tensió d'entrada que siguin compatibles amb els valors obtinguts en les plaques i les bateries. A més a més, incorpora les proteccions necessàries per assegurar la seguretat de les persones i equips, i la qualitat del subministrament elèctric.

Es important que l'inversor treballi en una zona pròxima a la potència màxima, ja que la seva màxima eficiència es produeix per potències properes a la nominal. Per tant, no convé sobredimensionar excessivament l'inversor sobre la potència amb la que normalment es treballarà, s'agafa un marge màxim d'un 20% de diferència entre la potència pic dels total dels panells i la potencia nominal de l'inversor.

La intensitat i la tensió màximes que ha de suportar l'inversor per part dels panells són les següents:

$$I_{max,p} = n_{sèries} \cdot I_{max,panell} = 2 \cdot 8{,}76 = 17{,}52\ A \tag{5.10}$$

$$V_{max,p} = n_{p,sèrie} \cdot V_{max,panell} = 14 \cdot 31{,}4 = 439{,}6\ V \tag{5.11}$$

$$V_{min,b} = n_{b,sèrie} \cdot V_{max,} = 7 \cdot 51{,}8 = 362{,}6\ V \tag{5.12}$$

S'ha previst la instal·lació de 2 inversor Kostak Piko 6.0 BA de 6,6 kW.

A les taules 5.6 i 5.7 s'indiquen les característiques de l'equip.

Característiques elèctriques		
Valors d'entrada		
Potència màxima	6,6	kW
Tensió màxima	950	V
Rang de Tensió	180 - 850	V
Intensitat màxima	24	A
Num. seguidors MPP	2	
Tensió màxima bateries	420	V
Tensió mínima bateries	153	V
Valors de sortida		
Potència nominal	6,6	kW
Tensió nominal	3/N/PE, 230/400	V
Freqüència nominal	50 ± 1,5	Hz
Intensitat màxima	9,7	A
Factor de potència (cosφ)	0-1	Inductiu / capacitiu
Euroeficiència	94,8	%
Rendiment màxim	96,1	%

Taula. 5.6: Característiques elèctriques i físiques de l'inversor Kostal Piko 6.0 BA

Característiques generals	
Rang de temperatura ambient	- 20 a + 60 º C
Grau de protecció	IP 55
Pes	33 kg
Dimensions	450 x 520 x 230 mm

Taula. 5.7: Característiques generals de l'inversor Kostal Piko 6.0 BA

Fig. 5.5: Kostak Piko 6.0 BA

Aquest inversor disposa de microprocessadors de control i un PLC de comunicacions que permet extreure dades de la instal·lació a temps real, per poder ser tractades posteriorment des d'un ordinador.

L'equip inversor treballa connectat al costat de corrent continu (DC) als panells i a les bateries i pel costat de corrent altern (AC) a un transformador que adapta la tensió de sortida de l'inversor a la xarxa elèctrica. El microprocessador que incorpora l'equip, s'encarrega de garantir una ona sinusoïdal amb la menor distorsió, a la fi de no injectar harmònics a la xarxa elèctrica. Aquest incorpora també, un sistema de seguiment de l'inversor que fa que sempre treballi en el punt de màxima potència possible i evitar així pèrdues durant els períodes de no funcionament.

L'inversor s'instal·larà en una zona habilitada per a tal efecte a la zona de quadres elèctrics de l'edifici. Es mantindran les distàncies mínimes que garanteixin un bon funcionament de l'equip, evitant així els reescalfaments.

5.6. Estructura

Els panells es muntaran sobre la base d'una estructura d'alumini model Bombeo Solar de l'empresa Alusinsolar orientada com s'ha dit anteriorment a Sud, i amb una inclinació de 30º respecte l'horitzontal.

L'estructura consta d'un disseny d'inclinació fixa de 30º, i estarà subjectada en el terreny. En aquest, abans s'hi col·locarà una base de ciment on hi anirà fixada tota l'estructura. Amb aquest disseny, l'estructura serà capaç de suportar vents de fins a 240 km/h i neu fins a una quantitat de 2 kN/m^2. L'estructura estarà connectada entre si mitjançant perfils longitudinals que a la vegada subjectaran els panells mitjançant unes pinces dissenyades per a tal efecte.

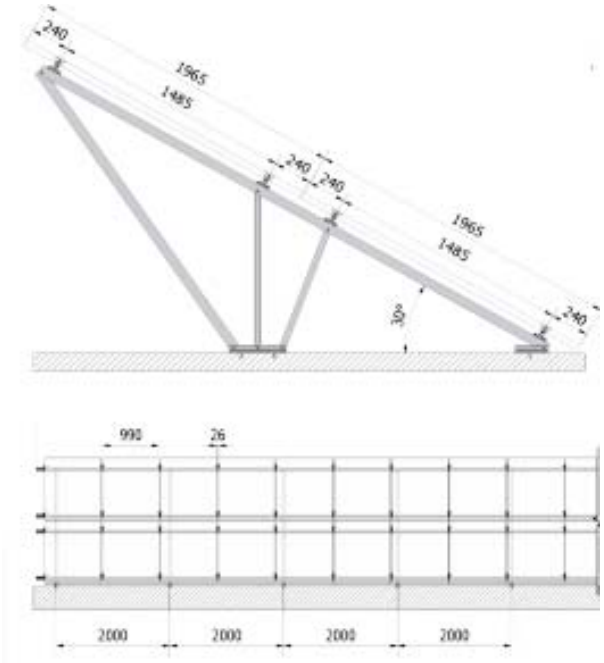


Fig. 5.6: Estructura Bombeo Solar

Com es pot observar a la Figura 5.6, l'estructura consta de 3 eixos encarregats de suportar el pes dels panells. Cada perfil triangular permet la instal·lació de fins a dos panells en vertical subjectats amb grapes.

Les estructures de suport compliran les normes vigents CTE (Código ténico de la edificación) i tots els accessoris de cargolaria seran d'acer inoxidables, d'acord amb el que estableix la norma MV-106.

5.6.1. Distància mínima entre estructures

Un cop coneguda l'estructura que es vol implementar i les seves dimensions, es calcularà la distància mínima de separació entre les diferents files de mòduls solars en l'estructura que compon el camp generador, amb la fi de no produir ombres entre mòduls.

La distància, *d,* mesurada sobre la horitzontal, entre dues files de mòduls de altura *h*, que poden produir ombres sobre la instal·lació, haurà de garantir un mínim de 4 hores de sol en torn del migdia del solstici d'hivern. Aquesta distància d serà superior al valor obtingut per l'expressió:

$$d = \frac{h}{\tan(61º - latitud)} \tag{5.13}$$

En la següent figura es mostren totes les mesures que s'han de tenir en compte:

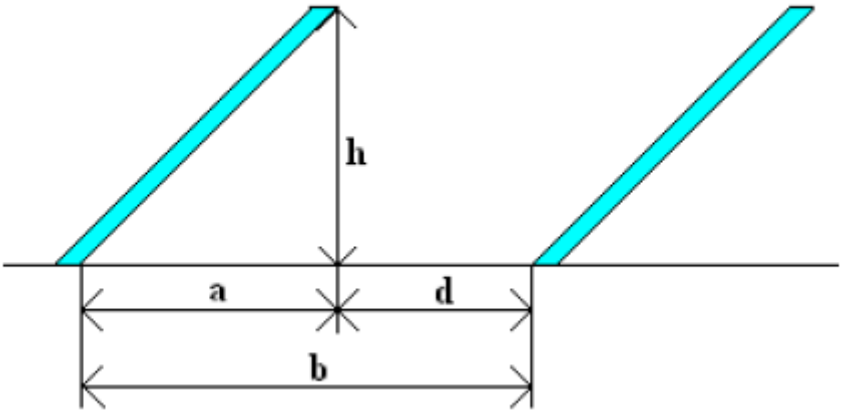


Fig. 5.7: Esquema distància mínima entre plaques

La distància de separació entre files de mòduls dependrà de l'angle de inclinació d'aquests, així que com més inclinat estigui el panell, més gran haurà de ser la distància entre files.

En el cas projectat, com que els panells estaran fixos, es col·locaran a la distància que marqui l'equació (5.13) per un angle de 30º. En aquest cas l'altura h, es calcularà mitjançant l'angle d'inclinació i l'amplada del panell.

$$h = \sin 30º \cdot a = 496\,mm \tag{5.14}$$

Coneguda l'altura dels panells i la latitud de l'emplaçament, la distància *d* queda:

$$d = \frac{h}{\tan\,(61º - latitud)} = 1{,}44\,m \qquad (5.15)$$

Per tant la distància entre els extrems inferiors de dos panels consecutius resultarà de la suma de la distància d = 1,44 m i la projecció de la longitud dels panells sobre el terra, és a dir, en total cada estructura estarà separada una distància de 2,3 m com a mínim.

6. Instal·lació elèctrica

Tota la instal·lació complirà el que estableix el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT). A continuació es detallen els principals elements de protecció i mesura de la instal·lació.

6.1. Equips de mesura i protecció

La instal·lació complirà els requisits de mesura que li corresponen segons el RD900/2015 com a instal·lació acollida a la modalitat d'autoconsum de tipus 1 i disposarà de:

- Un equip de mesura bidireccional que mesuri l'energia generada neta.
- Un comptador bidireccional en el punt frontera ja existent del subministrament actual.

Tota la instal·lació complirà el que estableix el RD 1110/2007 i a continuació es detallen els principals elements de protecció i mesura:

- **Protector contra sobretensions transitòries i protector contra sobretensions permanents**
- **Interruptor general:** Interruptor magnetotèrmic amb intensitat de curtcircuit superior a l'indicada per l'empresa distribuïdora en el punt de connexió. Aquest interruptor serà accessible per l'empresa distribuïdora en qualsevol moment, per poder efectuar la desconnexió manual.
- **Interruptor automàtic diferencial:** Interruptor diferencial capaç de detectar fugues de corrent i a tallar el subministrament de la instal·lació amb la finalitat d'evitar electrocucions per contactes directes.
- **Interruptor automàtic de interconnexió, controlador permanent d'aïllament, aïllament galvànic i protecció contra el funcionament en illa** (tots aquests elements de protecció estan disposats en el mateix inversor seleccionat pel projecte).
- **Aïllament classe II:** vàlid per a tots els components (panells, cablejat, caixes de connexió, etc).

6.2. Justificació locals mullats

Les instal·lacions realitzades a la intempèrie compliran en tot cas l'especificat a la norma ITC-BT-30 en el punt 2: es canalitzacions seran estanques, utilitzant-se com a terminals, entroncaments i connexions de les mateixes, sistemes i dispositiu que presentin el grau de protecció corresponent a les projeccions d'aigua, IPX4, les canalitzacions prefabricades tindran el mateix grau de protecció IPX4.

Els aparells de comandament i protecció i preses de corrent seran del tipus protegit contra les projeccions d'aigua, IPX4, o bé s'instal·laran a l'interior de caixes que els proporcionin un grau de protecció equivalent.

6.3. Telemonitorització

Amb l'objectiu de que els propietaris i els responsables de manteniment de la instal·lació estiguin al corrent de l'estat de funcionament d'aquesta, es disposarà d'un sistema de control via web amb:

- Dades meteorològiques de l'emplaçament (radiació i temperatura dels panells).
- Dades de producció del camp fotovoltaic
    - Voltatge de DC, a l'entrada dels inversors.
    - Voltatge de les fases a la xarxa, potència total de sortida dels inversors.
    - Potència reactiva de sortida de l'inversor.
    - Estat de la càrrega de les bateries.

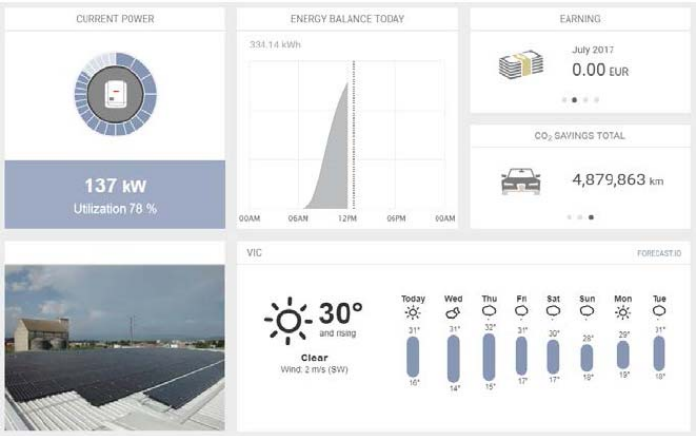


Fig. 6.1: Exemple pantalla de monitorització

6.4. Sistemes de Seguretat, protecció i connexió a Terra de la instal·lació.

Seguint les especificacions de la ITC-BT-18 del REBT, amb la finalitat de protegir la instal·lació de possibles electrocucions per contacte directe i de sobrecàrregues d'origen atmosfèric, es realitzarà una connexió a terra, tant dels marcs dels panells fotovoltaics, com de la mateixa estructura.

La connexió a terra de tota la instal·lació s'estableix amb l'objectiu de limitar la tensió, respecte al terra, que poden presentar en un moment determinat les masses metàl·liques, assegurant l'actuació de les proteccions i eliminar o disminuir els riscos d'avaria.

Mitjançant la connexió a terra, s'ha d'aconseguir que entre el conjunt d'instal·lacions, edificis i superfícies properes no apareguin diferències de potencial perilloses.

Els inversors disposen d'un microcontrolador que controla constantment i en paral·lel els següents paràmetres:

- Sobretensions de la banda de CC.
- Errors de freqüència.
- Sobreescalfaments.
- Subtensions i sobretensions de la xarxa per cadascuna de les fases de CA.
- Errors d'aïllament.

Quan detecta qualsevol d'aquests errors s'interromp immediatament l'alimentació i l'inversor de connexió de xarxa es desconnecta de xarxa activant un relé de xarxa.

En el costat de xarxa i del generador fotovoltaic es disposa, a més, dels següents dispositiu de protecció incorporats en els propis inversors:

- Varistors en el costat de xarxa: protegeixen als semiconductors de potència en cas de pics de tensió intensos i limitats en el temps, garantint l'eliminació de l'energia en la bobina en cas de desconnexió de xarxa.
- Varistors en el costat del camp fotovoltaic: protegeixen contra sobretensions atmosfèriques (p.e. llamps)

Els conductors de coure utilitzats seran de Classe II, segons la norma UNE 21.000. El tipus i la profunditat de connexions del terra es realitzaran de manera que la possible pèrdua d'humitat del terra, la presència de gel o altres efectes climàtics, no augmentin la resistència de la connexió del terra per sobre el valor previst.

Les canalitzacions metàl·liques de servei no s'utilitzaran com a connexió a terra. El diàmetre dels conductors de terra seran superiors a 16 mm, ja que són amb aïllament a la corrosió. El diàmetre vindrà determinat per les especificacions tècniques de la ITC-BT-18 i haurà d'estar protegit contra deteriorament mecànic, químic i electrolític.

Les masses de la instal·lació de generació estaran connectades a un terra independent de la del neutre de l'empresa distribuïdora i compliran el que indiquen els reglament de seguretat i qualitat industrials vigents.

6.5. Harmònics i compatibilitat electromagnètica

La instal·lació complirà tot el que disposa el RD 842/2002 en el que s'aprova el Reglament Electrotècnic de la Baixa Tensió (ITC-BT-40) i el RD 1699/2011 (article 16) sobre harmònics i compatibilitat electromagnètica en instal·lacions fotovoltaiques connectades a la xarxa elèctrica de baixa tensió.

6.6. Conductors

Tots els conductors seran de coure amb secció suficient per assegurar que les pèrdues de tensió dels cables i caixes de connexió siguin inferiors a l'1,5% de la tensió de treball en el cas de corrent continu, i inferiors al 2% en el cas de corrent altern. Tots els cables seran adequats per a la seva aplicació a la intempèrie o enterrats tal i com s'especifica a la ITC-BT-19 del REBT.

- La xarxa de distribució de DC es farà mitjançant conductors de coure unipolars (RV-K 0,6/1 kV i de tensió nominal no inferior a 1.000V) amb aïllament de Polietilè i recobriment de Policlorur de Vinil, garantint un bon aïllament enfront de les condicions ambientals adverses, així com el compliment de les normes de seguretat aplicables.

- La xarxa de distribució de AC es farà fins al quadre de comptadors mitjançant cables unipolars de coure a través de la canalització de serveis de l'edifici. El cablejat serà tipus RZ1-K-(AS) 0,6/1 kV de tensió nominal no inferior als 1.000 V.

6.6.1. Càlcul de la secció

Pel càlcul de la secció en els trams de corrent continu s'utilitza l'equació següent:

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc}}{u \cdot C} \tag{6.1}$$

On:

- **s** és la secció teòrica del conductor (mm^2).
- **L** és la longitud del conductor (m).
- **I_{cc}**, és el corrent màxim que circularà pels panells i equival al corrent de curtcircuit dels panells (A)
- **u** és la caiguda de tensió màxima que podran tenir els conductors. Com ja s'ha dit en l'apartat 6.1 és del 1,5%
- **C** és la conductivitat de l'element que forma el conductor, en aquest cas serà el coure amb una conductivitat de 56 $m/\Omega \cdot mm^2$.

Pel càlcul de la secció en els trams de corrent altern s'utilitza l'equació:

$$s = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot \cos\varphi}{u \cdot C} = \frac{L \cdot P}{u \cdot C \cdot U_L} \tag{6.2}$$

On:

- **s** és la secció teòrica del conductor (mm^2).
- **L** és la longitud del conductor (m).
- **P** és la potència màxima que pot transportar el cable (W).
- **u** és la caiguda de tensió màxima que podran tenir els conductors, del 2%.
- **C** és la conductivitat de l'element que forma el conductor, en aquest cas serà també de coure amb una conductivitat de 56 $m/\Omega \cdot mm^2$.
- **U_L** és la tensió de línia de la xarxa elèctrica (V).

S'ha dividit el total de la instal·lació elèctrica en 5 trams diferents:

1. Mòduls fotovoltaics → Quadre de proteccions CC

Estarà comprés entre la sortida de cada un dels 4 strings del camp fotovoltaic i una caixa de connexió de grup. En aquesta caixa de connexió hi aniran ubicats els elements de protecció de cada un dels strings i 8 conductors, 4 corresponent al pol positiu i 4 corresponents al pol negatiu de cada string. En sortiran els mateixos conductors.

Els paràmetres de càlcul de la secció mínima per aquest tram són:

- L = 28 m. S'ha agafat com a longitud de cable la distància del mòdul més allunyat fins a la caixa de connexió, ubicada a la mateixa estructura.
- I_{cc} = 8,76 A. Cada string subministra un corrent màxim igual al de curtcircuit de cada un dels mòduls que el formen.
- u = 0,015 · 439,6 = 6,59 V. Els strings tindran una tensió igual a la suma de tensions de cada panell que el formen. Cada panell té una tensió màxima de 31,4 V i els strings amb més panells en tenen 14.
- C = 56 m/Ω·mm^2.

Al tractar-se d'un tram de corrent continu, la secció mínima quedarà calculada segons l'equació (6.1) com:

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc}}{u \cdot C} = \frac{2 \cdot 28 \cdot 8{,}76}{6{,}59 \cdot 56} = 1{,}33\, mm^2 \qquad (6.3)$$

2. Quadre de proteccions de CC → Inversors

Estarà compres entre la caixa de proteccions fins a la caseta on s'ubicaran els inversors, situada en la mateixa ubicació que els quadres elèctrics de l'emplaçament. Aquest tram anirà soterrat i seguirà la rasa que es va fer al instal·lar la porta automàtica de l'entrada esmentada en l'apartat 3.

Els paràmetres de càlcul de la secció mínima per aquest tram són:

- L = 95 m. S'ha agafat com a longitud de cable la distància entre la caixa de proteccions i la ubicació dels inversors a l'emplaçament.
- I_{cc} = 8,76 A. Cada string subministra un corrent màxim igual al de curtcircuit de cada un dels mòduls que el formen.
- u = 0,015 · 439,6 = 6,59 V. Els strings tindran una tensió igual a la suma de tensions de cada

panell que el formen. Cada panell té una tensió màxima de 31,4 V i els strings amb més panells en tenen 14.

- C = 56 m/Ω·mm^2.

Al tractar-se també d'un tram de corrent continu, la secció mínima quedarà calculada segons l'equació (6.1) com:

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc}}{u \cdot C} = \frac{2 \cdot 95 \cdot 8{,}76}{6{,}59 \cdot 56} = 4{,}51\ mm^2 \qquad (6.4)$$

3. Bateries → Inversors

Estarà comprès entre les bateries i els inversors/carregadors. Les bateries estan situades a una sala apart de l'habitatge, en la mateixa planta que els quadres elèctrics.

Els paràmetres de càlcul de la secció mínima per aquest tram són:

- L = 6 m. S'ha agafat com a longitud de cable la distància màxima entre les 6 bateries i els 2 inversors.
- I_{cc} = 19 A. S'ha considerat la intensitat màxima que pot donar l'inversor, ja que aquest mateix varia i adequa en cada moment el corrent que ha de passar per les bateries.
- u = 0,015 · 411,6 = 6,17 V. La tensió és igual a la suma de tensions de les 7 bateries que van connectades a l'inversor. Cada bateria té una tensió màxima de 58,8 V.
- C = 56 m/Ω·mm^2.

També correspon a un tram de corrent continu i segons l'equació (6.1) la secció mínima quedarà com:

$$s = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc}}{u \cdot C} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 19}{6{,}17 \cdot 56} = 0{,}7\ mm^2 \qquad (6.5)$$

4. Inversors → Quadre general de fotovoltaica

El cablejat anirà des de la sortida trifàsica de l'inversor fins al quadre general de fotovoltaica on es connecten tots els cables provinents dels dos inversors i s'hi ubiquen els interruptors automàtics i diferencials.

Aquest circuit serà de corrent altern i la secció mínima es calcularà am la formula (6.2). Els seus paràmetres seran els següents:

- L = 2,5 m. S'ha agafat com a longitud de cable la distància entre l'inversor més allunyat i el quadre general de fotovoltaica.
- P = 6.600 W. És la potència màxima que pot entregar l'inversor a la seva sortida.
- U_L = 400V. Valor de la tensió de línia de la xarxa.
- u = 0,02 · 400 = 8 V. A la sortida dels inversors existirà una tensió alterna constant de 400V, valor el qual s'injectarà a la xarxa de baixa tensió.
- C = 56 m/Ω·mm^2.

La secció mínima dels conductors és doncs:

$$s = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot \cos\varphi}{u \cdot C} = \frac{L \cdot P}{u \cdot C \cdot U_L} = \frac{2{,}5 \cdot 6.600}{8 \cdot 56 \cdot 400} = 0{,}1 mm^2 \qquad (6.6)$$

5. Quadre general de fotovoltaica → Xarxa de consum de la granja

Estarà comprès entre el quadre general de fotovoltaica i el quadre general des de on es distribueix a la xarxa particular.

Els paràmetres pel càlcul de la secció mínima són els següents:

- L = 3 m. S'ha agafat com a longitud de cable la distància entre el quadre de la fotovoltaica i el quadre general local. Tot ubicat a la mateixa planta de l'habitatge.
- P = 13.200 W. És la potència màxima que pot entregar l'inversor a la seva sortida.
- U_L = 400V. Valor de la tensió de línia de la xarxa.
- u = 0,02 · 400 = 8 V. A la sortida dels inversors existirà una tensió alterna constant de 400V, valor el qual s'injectarà a la xarxa de baixa tensió.

– C = 56 m/Ω·mm^2.

Aplicant l'equació (6.2) la secció mínima quedarà com:

$$s = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot \cos\varphi}{u \cdot C} = \frac{L \cdot P}{u \cdot C \cdot U_L} = \frac{3 \cdot 13.200}{8 \cdot 56 \cdot 400} = 0{,}23mm^2 \qquad (6.7)$$

6.7. Canalització de cablejat

Els tubs, canalitzacions i safates que conduiran el cablejat elèctric compliran amb totes les especificacions requerides en la ITC-BT-21 del REBT. La major part del cablejat (la que va del quadre de proteccions de CC als inversors) aprofitarà la canalització ja feta per tal d'instal·lar la porta automàtica que s'ha esmentat en l'apartat 3.

Els tubs tindran un diàmetre exterior mínim en funció del nombre i secció dels conductors dels cables que condueixin, i compliran la normativa UNE-EN 50.086 que els regeix. El dimensionat dels tubs es realitzarà a través de les especificacions mínimes exigides a la ITC-BT-21 en funció del tipus d'instal·lació.

Les canals protectores estaran formades per un perfil de parets perforades o no, amb una tapa protectora superior desmuntable i seran destinades a la conducció del cablejat. Les canalitzacions compliran la normativa UNE-EN 50.085 que les regeix.

Les safates estaran formades per un perfil de parets, sense tapa protectora superior i seran destinades a la conducció del cablejat. Normalment, aquest tipus d'instal·lacions només s'emprarà en instal·lacions elèctriques a l'interior d'edificis, no sotmeses a la intempèrie, i on l'accés quedi restringit al personal autoritzat o habilitat per a la seva manipulació. Les seves característiques i dimensionament seguiran l'establert en el REBT.

6.8. Punt de Connexió

Pendent del corresponent estudi a realitzat per la companyia elèctrica que dóna servei a l'emplaçament subjecte d'estudi, es considera que el mateix punt d'escomesa de l'edifici suportarà el punt de connexió proposat donat que la instal·lació es connectarà a la xarxa interior d'aquest subministrament amb una potència contractada semblant al de la potència fotovoltaica.

La connexió de la instal·lació fotovoltaica a la xarxa interior de l'edifici permet utilitzar la mateixa Caixa General de Protecció i Comptadors (TMF). L'equip comptador del subministrament serà bidireccional i permetrà el comptatge d'energia generada exportada i importada.

En qualsevol cas, s'haurà de seguir les normes i els requeriments de connexió, fixats per la companyia.

7. Rendiment energètic de la instal·lació

Mitjançant la versió del programa de càlcul de sistemes fotovoltaics PVSIST, s'ha simulat el funcionament del camp generador dissenyat, i s'ha obtingut el següent factor de rendiment (FR) en el qual s'ha tingut en compte tant els factors de disminució de rendiment dels mòduls fotovoltaics i inversors. No s'ha pogut incloure a la simulació les bateries ja que la versió que s'ha pogut descarregar, és una versió que es pot utilitzar per un període màxim d'un mes, amb la limitació de no poder incloure bateries.

En la Figura 7.1 s'observa que el factor de rendiment és del 83,19%, i que l'energia produïda útil que genera la instal·lació fotovoltaica és de 22,99 MWh/any, suposant un 33% del consum elèctric total de la granja durant un any.

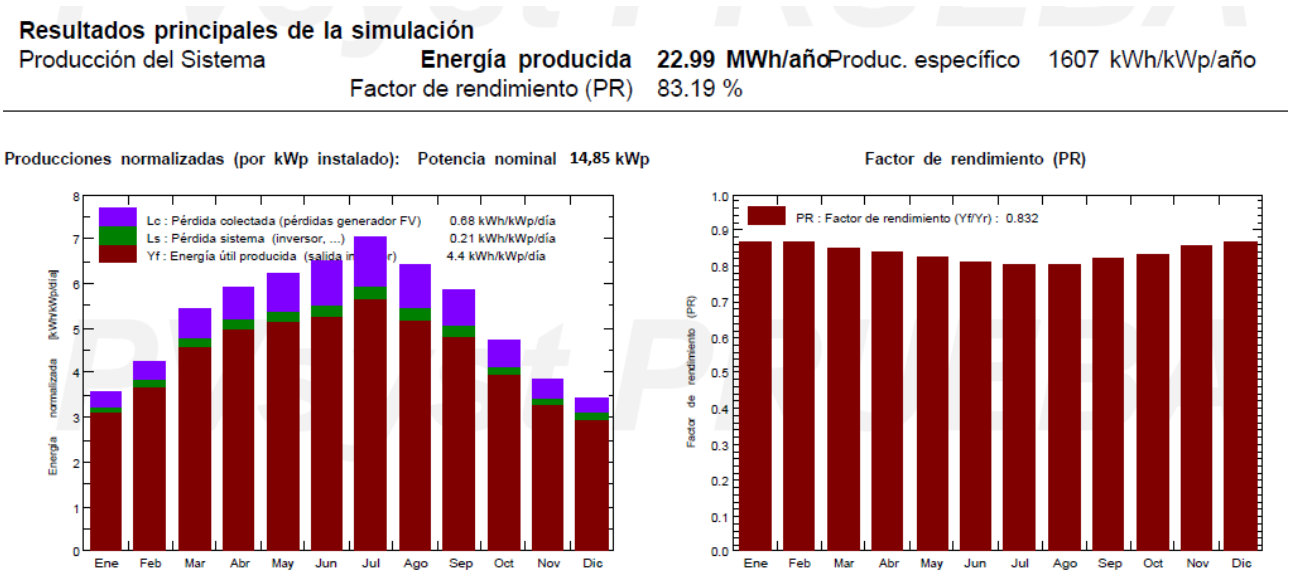


Fig. 7.1: Pèrdues, factor de rendiment i energia produïda per la instal·lació fotovoltaica

Essent :

LC : Pèrdues del camp fotovoltaic (tèrmiques, de cablejat, qualitat del mòdul, captació y reflexió, ombres, pols i brutícia, regulació MPP, etc). Amb un valor de 0,68 kWh/kWp/dia.

LS : Pèrdues dels inversors i bateries per a sistemes connectats a la xarxa elèctrica. Amb un valor de 0,21 kWh/kWp/dia

Yf : Energia útil produïda. Amb un valor de 4,4 kWh/kWp/dia

També en la Figura 7.2 s'ha obtingut el diagrama de pèrdues de la instal·lació durant tot l'any. Destaquen les pèrdues als panells degut a la temperatura, de gairebé el 4%, i les pèrdues dels l'inversors, del 4,5%. Aquí se li ha de sumar les pèrdues en les bateries, per un valor del 4,7%, calculades a partir de la seva eficiència.

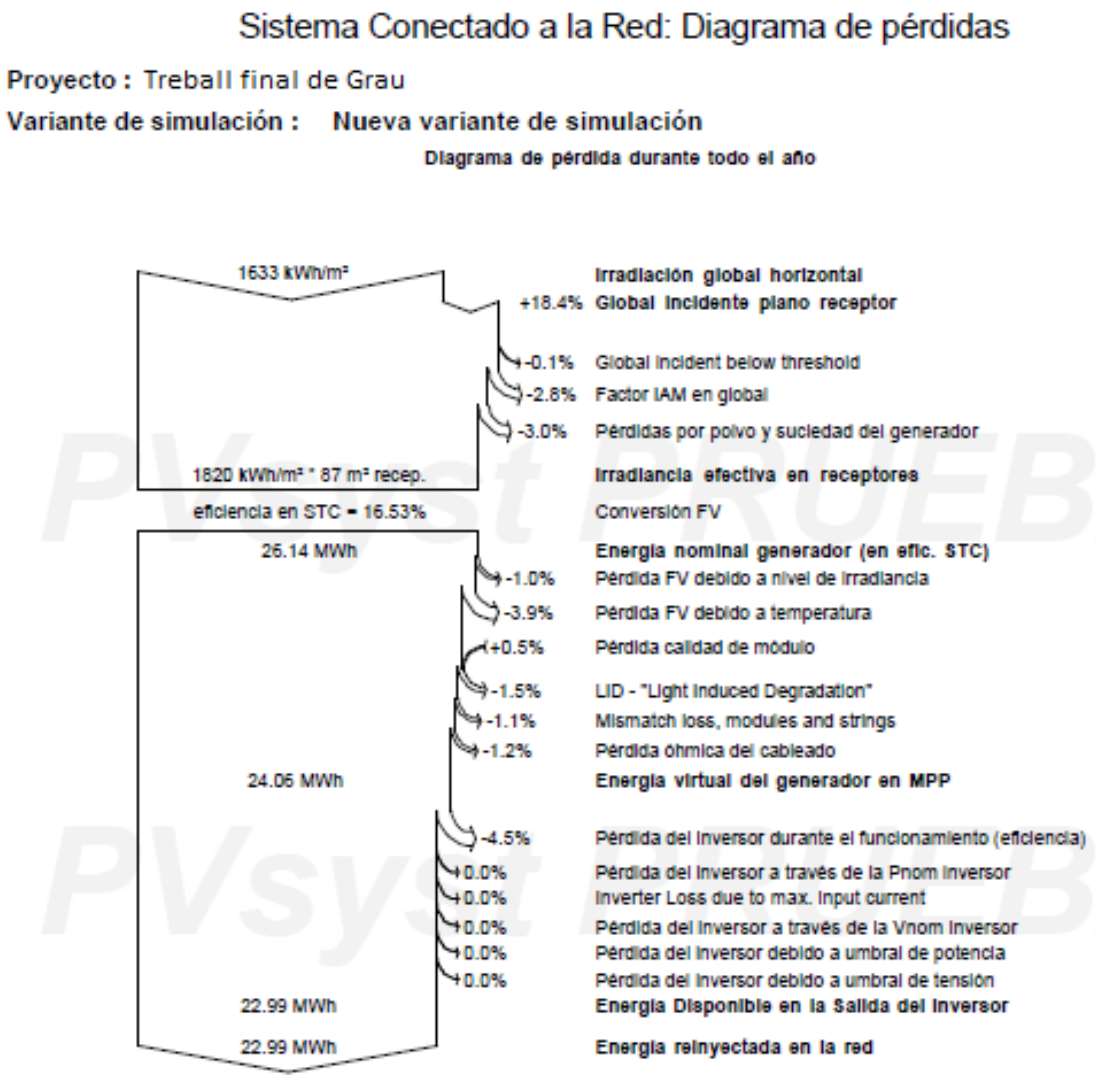


Fig. 7.2: Diagrama de pèrdues

7.1. Producció del camp generador

En la Taula 7.1 es mostra el resum de dades obtingudes en la simulació de la instal·lació fotovoltaica. Com s'ha esmentat en el principi de l'apartat, l'energia útil produïda pel camp generador és de 22,99 MWh, gairebé un 22% menys de la obtinguda en l'apartat 5.2, de 28,03 MWh. Aquests valors també reafirmen el càlcul fet en l'apartat 5.2, ja que aplicant el factor de rendiment del 83% a la producció estimada de 28,03 MWh, surt un valor de 23,2 MWh molt proper als 22,99 MWh, amb un error de l'1,5%.

	Irradiació Sup. Inclinada	Irradiació Global Efectiva	Energia Útil	FR
	kWh/m^2	kWh/m^2	MWh	-
Gener	122,58	115,2	1,38	0,87
Febrer	125,62	117,9	1,48	0,87
Març	177,01	163,7	2,04	0,85
Abril	166,24	162	2,14	0,84
Maig	177,84	172,3	2,29	0,83
Juny	176,19	171,6	2,26	0,81
Juliol	188,87	181	2,52	0,81
Agost	191,34	186,6	2,31	0,81
Setembre	167,43	166,9	2,07	0,82
Octubre	156,05	149,5	1,76	0,83
Novembre	122,79	114,3	1,42	0,86
Desembre	115,23	105,4	1,32	0,87
Any	**1887,20**	**1800,5**	**22,99**	**0,83**

Taula. 7.1: Irradiació, energia útil i factor de rendiment obtingut amb el programa PVSIST

Finalment en la Figura 7.3 s'ha efectuat un gràfic mensual de la producció d'energia elèctrica, destacant com era d'esperar, l'augment de la producció en els mesos de primavera estiu i un decreixement en el mesos de tardor hivern.

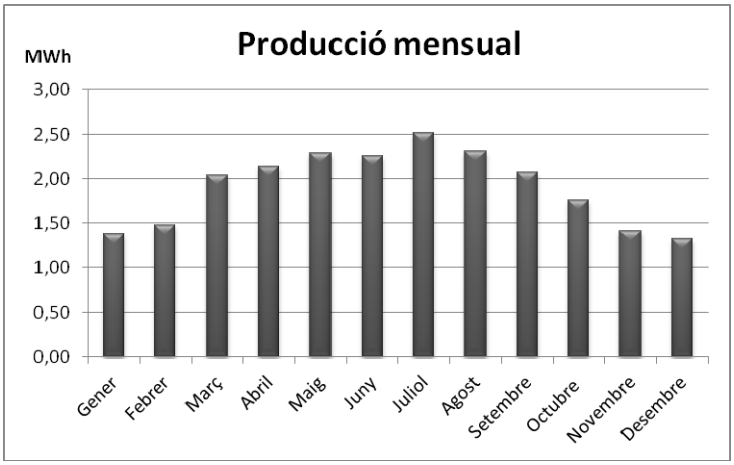


Fig.7.3: Producció mensual

8. Plànols

Estudi d'aplicació de les energies renovables en una granja d'Osona i projecte d'instal·lació solar fotovoltaica

Autor: Roger Caballeria Terradellas

Núm.Plànol
1

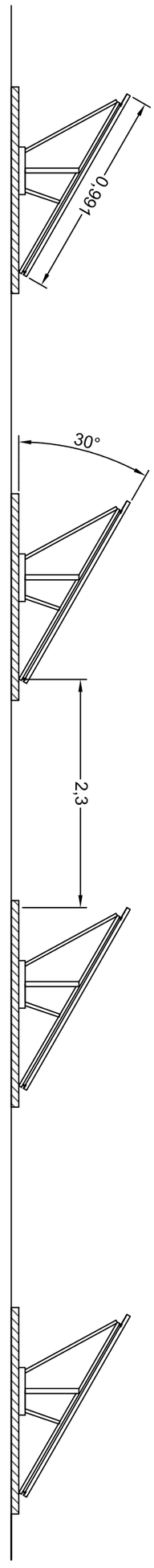
Escala
1/150

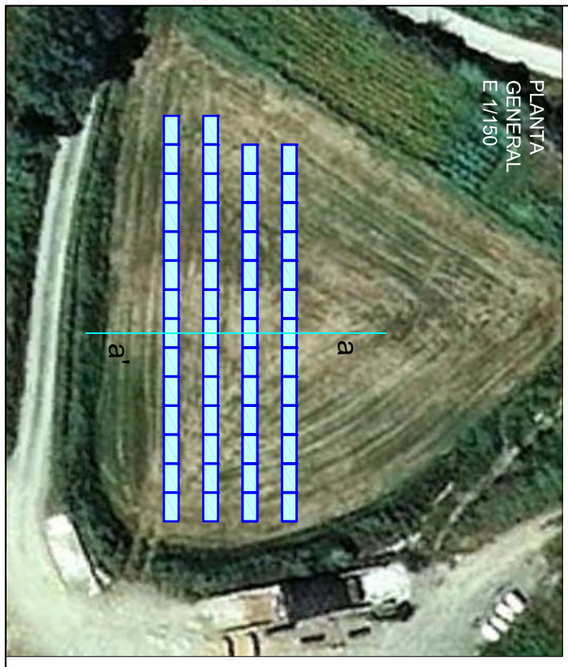
Data
21/6/2018

Títol

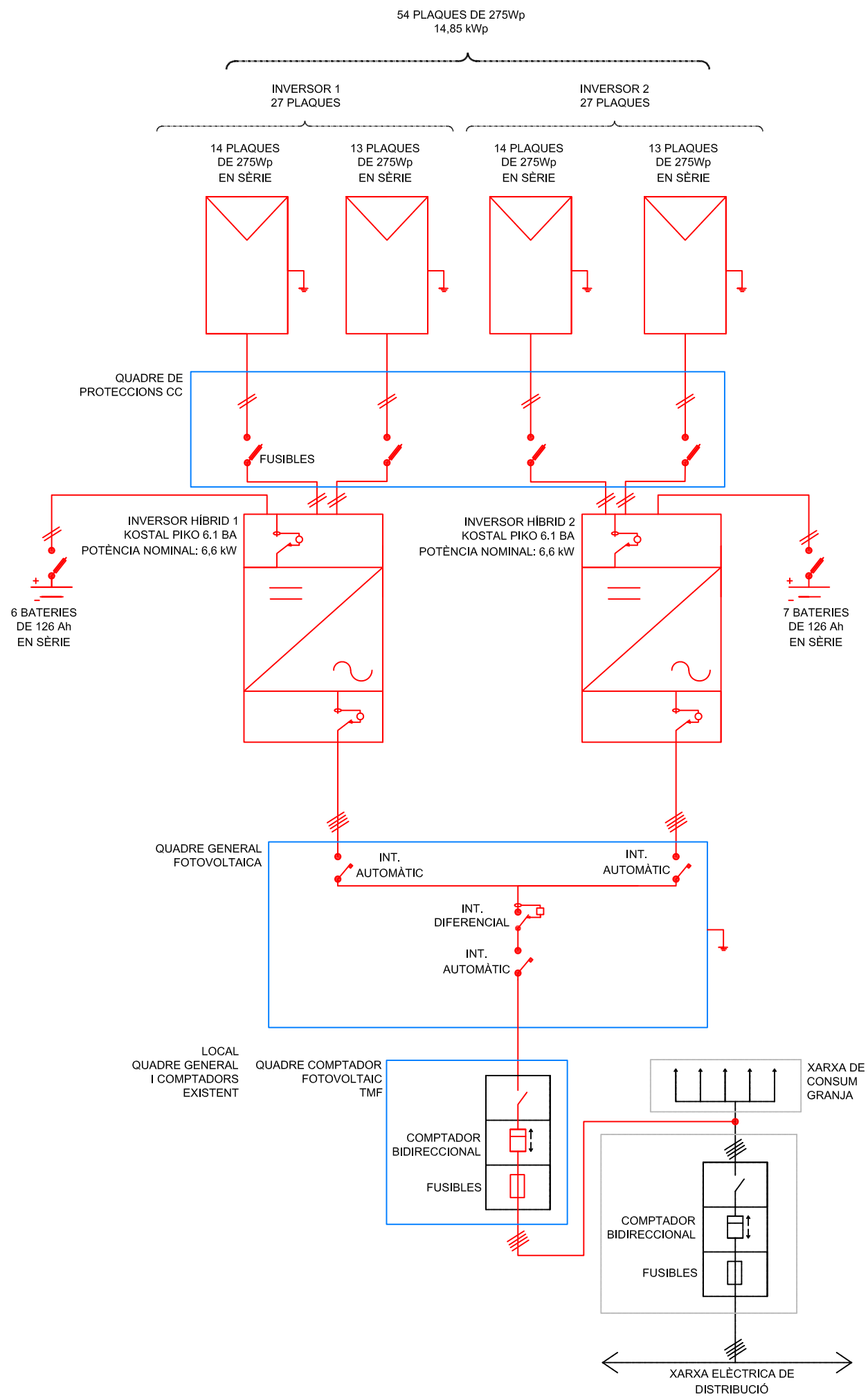
PLANTA GENERAL

SECCIÓ a-a'
E 1/50





Estudi d'aplicació de les energies renovables en una granja d'Osona i projecte d'instal·lació solar fotovoltaica Autor: Roger Caballeria Terradellas		Núm.Plànol 2 Escala 1/50
Títol	SECCIÓ	Data 21/6/2018



Estudi d'aplicació de les energies renovables en una granja d'Osona i projecte d'instal·lació solar fotovoltaica Autor: Roger Caballeria Terradellas	Núm.Plànol 3 Escala -	
Títol: ESQUEMA UNIFILAR	Data 21/6/2018	

9. Normativa

La normativa vigent que s'exposa a continuació, és d'aplicació a les instal·lacions fotovoltaiques de connexió a la xarxa:

- **Reial Decret 900/2015, de 9 de octubre**, pel que es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministrament d'energia elèctrica amb autoconsum i de producció amb autoconsum.

- **Reial Decret Llei 1110/2007, de 24 d'agost**, pel que s'aprova el Reglament unificat de punts de mesura del sistema elèctric.

- **Reial Decret 1699/2011, de 18 de novembre**, sobre connexió d'instal·lacions fotovoltaiques a la xarxa de baixa tensió.

- **Reial Decret 413/2014, de 6 de juny,** pel que es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovable, cogeneració i residus.

- **Reial Decret 363/2004, de 24 d'agost,** pel qual es regula el procediment administratiu per a l'aplicació del Reglament electrotècnic per a baixa tensió.

- **Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió. Decret 842/2002, de 2 d'agost,** i instruccions Tècniques Complementàries (ITC) BT01 a BT51.

- **Disposició 1793 del BOE núm. 45 de 2017,** per la que s'actualitzen els paràmetres retributius de les instal·lacions tipus aplicables a determinades instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts de energia renovable, cogeneració i residus, a efectes de la seva aplicació al semiperíode regulatori que té inici l'1 de gener de 2017.

10. Impacte ambiental de la instal·lació

A continuació es realitza una breu descripció de l'afecció mediambiental de la instal·lació objecte de l'estudi.

Tots els elements constructius seran reciclables i no tindran cap reacció ni afectació sobre el medi ambient. La fase d'explotació no tindrà cap afectació negativa des del punt de vista mediambiental, sinó el contrari, contribuirà a la reducció d'emissions de gasos contaminants i al consum de petroli en centrals tèrmiques convencionals.

Cal destacar que el rentat de les plaques que es realitza de forma periòdica dins el manteniment preventiu de la instal·lació, serà mitjançant productes especials per netejar en sec.

L'activitat normal del camp fotovoltaic no produirà cap residu, i en el cas puntual d'avaries que puguin ocasionar algun element de rebuig, aquest es gestionarà d'acord amb la normativa vigent de gestió de residus.

La realització del camp fotovoltaic de connexió a la xarxa projectat, aportarà una reducció en les emissions contaminants a l'atmosfera i un estalvi de petroli equivalent. D'acord amb l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic[4], s'ha considerat el mix elèctric de l'any 2017 que correspon a un valor de 392 gCO_2/kWh. A la taula 10.1 es mostra l'estalvi d'emissions contaminants.

Estalvi d'emissions contaminants	
	Tn CO_2
Gener	0,66
Febrer	0,68
Març	0,95
Abril	0,89
Maig	0,96
Juny	0,95
Juliol	1,02
Agost	1,03
Setembre	0,90
Octubre	0,84
Novembre	0,66
Desembre	0,62
Total	10,15

Taula. 10.1: Estalvi d'emissions contaminants anuals

11. Pressupost

En la Taula 11.1 que es presenta a continuació s'hi detalla el cost dels principals elements de la instal·lació fotovoltaica:

DESCRIPCIÓ	Unitats	€ / ut	€ Total
MÒDUL FOTOVOLTAIC -Mòdul FV REC 275 Twin Peak, 120 cèl·lules policristal·lines i de dimensions 1.665 × 991 × 38 mm. Panells amb una eficiència del 16,7% amb tolerància positiva 0/+5%, garantia de fabricació de 12 anys, i garantia de potència lineal de 25 anys amb una màxima degradació anual de 0,7%. El pes del mòdul és de 18kg.	54	81,53	4.402,62
ESTRUCTURA - Estructura Bombeo Solar, d'alumini inoxidable. Inclou cargoleria d'acer inoxidable i tots els elements necessaris per al seu muntatge, així com la col·locació dels mòduls a les estructures metàl·liques segons el sistema de muntatge autoritzat pel fabricant del mòdul. Inclou transport fins al lloc de la instal·lació.	1	1.752	1.752
BATERIES -Bateries LG Chem RESU 6.5 de liti amb capacitat de 126 Ah, voltatge de 48 V i una profunditat de descàrrega del 80%. Arriben a superar els 4.000 cicles de vida. El seu pes és de 52 kg.	13	2.902,08	37.727,04
INVERSORS HÍBRIDS -Subministrament, muntatge i instal·lació dels inversors Kostal Piko de 6,6 kW, per a connexió a la xarxa i càrrega de bateries que compleixin amb tots els requisits del projecte tècnic, així com amb la normativa vigent.	2	2.051,05	4.102,1
INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA I MECÀNICA - PROTECCIONS I QUADRES -Subministrament i instal·lació de cable segons les necessitats de la instal·lació, per a connexió des dels strings fins al punt de connexió amb la xarxa. Inclou subministrament i muntatge de connectors ràpids. -Subministrament i muntatge de la caixa de proteccions de CC a l'entrada dels inversors. -Subministrament i muntatge de la caixa de proteccions de CA a la sortida dels inversors amb dimensions i proteccions segons les necessitats. -Posada a terra de la instal·lació, inclou cable de coure, una piqueta, una grapa i totes les peces necessàries per la seva correcta instal·lació. -Mà d'obra per a la instal·lació de les estructures i els panells fotovoltaics	1	5.072,1	5.072,1
COMPTADOR FOTOVOLTAIC - Comptador 5CTD - Mòdem - Interruptor magnetotèrmic - Mòdul precintable TMF	1	507,18	507,18
REALITZACIÓ PROJECTE - Hores dedicades i desplaçaments	1	3.000	3.000
		Total instal·lació:	56.563,04 €
		IVA (21%):	11.878,24 €
		Total amb IVA:	68.441,28 €

Taula. 11.1: Pressupost total de la instal·lació

El pressupost total de la instal·lació és de CINQUANTA-SIS MIL CINC CENTS SEIXANTA-TRES EUROS AMB QUATRE CÈNTIMS (56.563,04 € + IVA)

S'ha de destacar l'elevat preu de les bateries, representant el 70% del valor total de la instal·lació. S'ha de tenir present que les bateries de liti actualment estan a un preu de 3 o 4 vegades el preu d'altres bateries com per exemple les de plom, les més assequibles. Tot i això, si es té en compte que les bateries de liti arriben als 4.000 cicles de vida i les bateries de plom de mitjana tenen 1.200 cicles de vida, resulta que per amortitzar una bateria de liti se'n necessiten entre 3 i 4 de plom, el que fa que el cost d'amortització pel mateix període de temps sigui el mateix. A més a més les continues millores tecnològiques i el creixement de la producció de les bateries de liti, fan que en els propers anys els seus preus de marcat baixin considerablement. Tot i això aquest elevat preu fa inviable la utilització de bateries.

La solució que es proposa és canviar el tipus de la instal·lació, de tipus 1 a tipus 2, i d'aquesta forma inscriure la instal·lació al registre de producció, vendre l'energia que emmagatzemen les bateries i treure'n una contraprestació econòmica.

En el cas de no tenir en compte les bateries el pressupost total de la instal·lació és de DIVUIT MIL VUIT CENTS TRENTA-SIS EUROS (18.836 € + IVA). Un preu molt més assequible per l'economia de la petita empresa i que entra dins dels preus que es mouen en el marcat actual, d'uns 1.000 € per kW instal·lat.

11.1. Estudi viabilitat econòmica (VAN i període de retorn)

Considerant les bateries, l'estalvi econòmic es produeix per baixar el consum d'energia elèctrica de la xarxa. Aquest estalvi són els 22,99 MWh anuals que produeix el camp fotovoltaic. Si es considera el preu que s'està pagant actualment, de 0,147096 €/kWh, pel consum elèctric, l'empresa presenta un estalvi anual de 3.381,74 €.

Tenint en compte que la vida útil dels panells i de la instal·lació són d'uns 20 anys, s'ha calculat el VAN per aquest període. No s'ha tingut en compte cap taxa d'interès ja que no es preveu la demanda d'un crèdit per part dels propietaris.

També s'ha calculat el període de retorn de la inversió. El càlcul ha sortit de la divisió entre la inversió i l'estalvi anual.

Els resultats són els següents:

VAN	- 806,48 €
Període de retorn	20,2 anys

Taula. 11.2: VAN i període de retorn per la instal·lació amb bateries.

En el VAN obtingut en vista dels següents 20 anys, s'observa que el guany després de 20 anys de funcionament és negatiu de -806,48 €. A més a més, presenta un gran període de retorn de 20,2 anys, que implica que no s'haurà cobert el cost de la inversió inicial i quan rendiment del camp haurà baixat considerablement i s'haurà de renovar equips, cosa que provocaria que s'hagués de fer una altre inversió.

Aquests fets són degut al sobrecost que han produït les bateries a la instal·lació i es conclou doncs, que es inviable la utilització de bateries per a la instal·lació.

En el cas de no considerar-les i injectar tota l'energia que es vol emmagatzemar a les bateries a la xarxa elèctrica, el benefici que s'obté ve donat per dues parts diferents: l'estalvi de pagament de la factura elèctrica en el consum del 20% de l'energia produïda, i la venta del 80% restant a la companyia elèctrica.

El preu de venta de l'energia fotovoltaica ve marcat en el BOE-A-2017-1793, el qual especifica els paràmetres retributius de les instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia fotovoltaica. En el cas que s'està considerant, el BOE marca un preu de 42,84 €/MWh.

Així doncs l'estalvi total serà la suma del 20% de 23 MWh pel preu del kW que s'està pagant actualment a la factura elèctrica, i el 80% restant per 42,84 €/MWh que s'han de rebre com a contraprestació econòmica per l'energia injectada a la xarxa. El valor surt d'un estalvi de 1.467,57 € anuals.

Calculant el VAN i el període de retorn de la mateixa manera que s'ha fet anteriorment queden:

VAN	6.589,56 €
Període de retorn	15,5 anys

Taula. 11.3: VAN i període de retorn per la instal·lació sense bateries i amb venta.

Es certifica que tot i tenir un període de retorn d'uns 15 anys, aquesta alternativa és molt més econòmica i assequible que la considerada amb les bateries.

Per acabar d'entendre la magnitud econòmica que té la implementació de bateries, a continuació es fa el càlcul d'estalvi sense considerar-les i, d'aquesta manera, que tot l'estalvi produït sigui degut a la disminució de la factura elèctrica. De fet l'estalvi anual és el mateix que en el cas de considerar les bateries, de 3.383,21 € anuals. El que disminueix considerablement és la inversió.

En aquest cas el VAN i el període de retorn queden:

VAN	44.873,24 €
Període de retorn	6,7

Taula. 11.4: VAN i període de retorn per la instal·lació sense bateries.

Com és d'esperar és la opció amb la que s'obté més benefici. El període de retorn baixa a més e la meitat amb un valor molt rentable de 6,7 anys. I al cap de 20 anys s'hauran obtingut més de 44.000 € de benefici.

Ara es pot entendre el perquè gairebé no es fan instal·lacions fotovoltaiques amb bateries i el que es busca és l'autoconsum. L'elevat preu i cost de manteniment d'aquestes provoquen sobrecostos molt grans i conseqüentment uns períodes de retorn molt més alts. A més a més es comprova que surt molt més a compte l'autoconsum que la venta d'energia a les companyies elèctrica.

Conclusions

En aquest treball s'ha estudiat l'aplicació de les energies renovables en una instal·lació ramadera situada a la comarca d'Osona.

El primer objectiu del treball que era avaluar els recursos d'energia renovables disponibles en l'emplaçament, s'ha pogut assolir a partir dels anuaris de Taules de Dades de la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques del Servei Meteorològic de Catalunya del període que va de 1997 a 2016. Segon aquestes dades l'energia solar i l'energia eòlica disponible en l'emplaçament de la instal·lació es concreten en una mitjana anual de irradiació diària de 4,18 kWh/m^2 i una velocitat mitjana anual de la velocitat del vent de 1,04 m/s. Per tenir una descripció més detallada de la distribució al llarg de l'any, a la Taula 4.1 s'hi pot trobar la mitjana mensual de la irradiació global diària i a la Taula 4.2 s'especifica la velocitat mitjana del vent mensual. Aquesta irradiació disponible fa viable plantejar-se l'aprofitament de l'energia solar per la producció d'energia elèctrica i, en canvi, el valor tant baix de la velocitat del vent fa inviable l'aprofitament d'energia eòlica. També s'ha constatat que no hi ha prous recursos disponibles de biomassa, d'energia hidràulica i d'energia geotèrmica.

Després de visitar la instal·lació, de l'entrevista amb el propietari i de revisar les factures elèctriques de l'empresa, s'ha pogut establir que la potència elèctrica contractada és de 15 kW i les necessitats anuals d'energia elèctrica de l'explotació són de 69,93 MWh. Com que el propietari no està disposat a ampliar potència i la normativa estableix que la potència de captadors instal·lada no pot superar la potència instal·lada, la potència de la instal·lació solar fotovoltaica s'aproximarà el màxim als 15 kW.

La instal·lació fotovoltaica s'engloba amb les instal·lacions de tipus 1 (no inscrits en el Registre de Producció) i consta de 54 panells solars REC TP 275 de 275 Wp que suposen una potència total de 14,85 kWp. Aquest captadors s'han disposat en 4 strings de 14, 13, 14 i 13 panells, respectivament, connectats a 2 dos onduladors híbrids Kostak Piko 6.0 BA de 6,6 kW de potència. Aquest model de inversors permet la connexió directa a les bateries pel procés de càrrega. Els captadors s'han orientat a sud amb una inclinació de 30º. Amb aquesta orientació la producció d'energia elèctrica s'estima en 28 MWh/any que representa el 40% de les necessitats energètiques. Quan es tenen en compte les pèrdues degudes a l'escalfament dels captadors, als inversors i al cablejat, la producció aprofitable es redueix a 23 MWh/any que és només el 33% de l'energia necessària.

Com que el consum d'energia elèctrica de la granja es produeix en les hores de munyir, de les 5:30 h a les 9:00 h del matí, i de les 17:30 h a les 21:00 de la tarda, i com que aquestes franges no coincideixen amb la franja horària de producció d'energia dels captadors, que és al voltant del migdia, s'ha inclòs la utilització de bateries. La capacitat total d'aquestes bateries ha de ser igual al 80% de la producció diària d'energia elèctrica, que és de 61,43 kWh, i suposen 13 bateries de liti d'una capacitat total de 1600 Ah.

La instal·lació elèctrica compleix tots els requisits marcats pel REBT i s'ha dimensionat la secció de

cablejat pels 5 trams diferents que inclou la instal·lació: dels panells fotovoltaics al quadre de proteccions de CC amb una secció de 1,4 mm^2, del quadre de proteccions de CC als inversors amb una secció de 0,7 mm^2, de les bateries als inversors amb una secció de 4,5 mm^2, dels inversors al quadre de general de fotovoltaica amb una secció de 0,5 mm^2, i del quadre general de fotovoltaica a la xarxa de consum de la granja amb una secció de 0,25 mm^2.

La inversió necessària per dur a terme la instal·lació amb bateries és de 56.563,04 € + IVA i permet un estalvi de 3.381,74 € anuals. El període de retorn de la inversió és de 20,2 anys, un període de temps molt gran degut a l'elevat preu de les bateries (70% de la inversió) i que fa que la instal·lació no sigui rendible. Per aquesta raó s'ha descartat la utilització de bateries i s'ha optat per canviar el tipus de la instal·lació a tipus 2 i així estar inscrita en el Registre de Producció i rebre contraprestació econòmica.

Aquesta segona alternativa necessitaria d'una inversió de 18.836 € + IVA i permet un estalvi anual de 1.467,57 €. Aquest estalvi és el conjunt del 20% de la producció elèctrica que es deixaria de pagar de la factura elèctrica, i del 80% restant que es vendria a l'empresa distribuïdora. El període de retorn d'aquesta segona instal·lació és de 15,5 anys i permet un benefici al cap de 20 anys de 6.589,56 €.

La utilització d'energies renovables en aquesta instal·lació permet estalviar 10,15 Tn de CO_2 anuals emeses a l'atmosfera.

Agraïments

Agraeixo al meu tutor, Josep Maria Morancho, totes les estones que m'ha dedicat per ajudar-me a triar el tema del treball i per la informació que m'ha proporcionat.

També agraeixo als propietaris i familiars de la granja que em permetessin fer aquest treball a la seva empresa, i que posessin totes les facilitats al seu abast per tirar-lo endavant.

No em puc oblidar tampoc d'en Miquel Caballeria, el meu pare, per animar-me i aportar-me el seu consell al llarg de tot el treball.

Finalment, agraeixo als meus germans, Aina i Manel, a la meva mare, Dolors, i a totes aquelles persones que de forma continuada m'han donat suport durant tot aquest temps.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

[1] SORENSEN BENT, Renewable Energy, Elsevier Academic Press, 1979.

[2] DE JUANA JOSÉ MARIA, Energías renovables para el desarollo, Thomson Paraninfo, 2003.

[3] .OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC, Nota informativa sobre la metodología de estimación del mix eléctrico por parte de la Oficina Catalana del Cambio Climático (OCCC), febrer 2018.

Altres referències

- http://www.comparatarifasenergia.es/comparar-precios-de-energia/consumo-medio
  CONSUM DE LLUM I GAS.
- http://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/serveis-i-dades-climatiques/anuaris-de-dades-meteorologiques/xarxa-destacions-meteorologiques-automatiques/
  ANUARIS DE IRRADIACIÓ.
- https://renovamos.org/paneles-fotovoltaicos/f/10/t/119
  NORMATIVA FOTOVOLTAICA, TIPUS.
- http://www.solarmat.es/blog/real-decreto-de-autoconsumo-aclaramos-como-queda-el-asunto/#Resumen_del_RD_9002015 TIPUS DE INSTAL·LACIONS FOTOVLTAIQUES.
- http://www.elmundo.es/ciencia/2016/09/29/57ec06ff46163fe6798b4658.html
  EUROPA, ESPANYA, POTENCIA FV INSTALADA.
- https://unef.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2016/08/Informe-Anual-UNEf-2016_El-tiempo-de-la-energia-solar-fotovoltaica.pdf
  EUROPA, ESPANYA POTENCIA FV INSTALADA.
- http://es.krannich-solar.eu/category/autoconsumo-fotovoltaico/
  DIFERÈNCIA INSTAL·LACIÓ AMB O SENSE BATERIES I CONNECTADA A O NO A LA XARXA ELÈCTRICA.

- https://gesternova.com/todo-sobre-la-tarifa-de-luz-para-empresas-3-0a/
  DIFERÈNCIA ENTRE PEATGE 2.1A I 3.0.

- http://canviclimatic.gencat.cat/es/redueix_emissions/com-calcular-emissions-de-geh/factors_demissio_associats_a_lenergia/
  EQUIVALÈNCIA CO2 I KWH.

- https://precio.habitissimo.es/retirar-tejados-fibrocemento-uralita#1
  PREU SUBSTITUCIÓ URALITA.

- http://eoliccat.net/la-tecnologia/preguntas-frecuentes/?lang=es
  ENERGIA EÒLICA VELOCITAT VENT.

- http://www.hybridsteingroup.com/rentabilidad-y-funcionalidad-de-el-litio-frente-a-otros-tipos-de-baterias/
  COMPARACIÓ BATERIES DE LITI I PLOM.

- http://www.boe.es/boe/dias/2017/02/22/pdfs/BOE-A-2017-1793.pdf
  RETRIBUCIONS ECONOMIQUES.