

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Elèctrica

Títol: Disseny planta fotovoltaica de 500 kW

Document: 1.Memòria

Alumne: Carlos Martínez León

Tutor: Lino Montoro

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Coneixement de Màquines i Motors Tèrmics

Convocatòria (mes/any) Setembre del 2015

Índex

1	Introducció.....	8
1.1	Antecedents.....	8
1.2	Objecte.....	8
1.3	Especificacions i abast.....	9
2	Reglamentació.....	10
3	Energia solar.....	11
3.1	Introducció.....	11
3.2	Efecte fotovoltaic.....	11
3.3	La radiació solar.....	12
3.3.1	Classes de radiació solar.....	13
3.4	Moviment del Sol.....	14
3.5	Avantatges e inconvenients de l'energia solar.....	14
4	Descripció del generador fotovoltaic.....	16
4.1	Introducció.....	16
4.2	Localització.....	16

4.3	Característiques generals instal·lació	17
4.4	Configuració del camp solar	19
4.5	Panells fotovoltaics	20
4.6	Orientació dels panells solars.....	22
4.7	Inclinació dels panells	23
4.8	Distància mínima entre files de mòduls	23
4.9	Centre fotovoltaic integrat.....	24
4.9.1	Edifici prefabricat	25
4.9.2	Inversor	26
4.9.3	Quadre de baixa tensió.....	28
4.9.4	Cel·les de mitja tensió	28
4.9.5	Transformador BT/MT	33
4.9.6	Serveis auxiliars	34
4.9.7	Punts de connexió	34
4.10	Estructura de suport.....	34
4.11	Cablejat.....	36

4.12	Caixes de connexió	42
4.12.1	Caixa primer nivell	42
4.12.2	Caixa primer nivell - Caixa segon nivell	43
4.12.3	Caixa segon nivell - Centre Integrat Ormazabal.....	43
4.12.4	Cablejat de protecció	43
4.13	Aparells elèctrics de protecció.....	45
4.13.1	Moduls - Caixa primer nivell.....	45
4.13.2	Caixa primer nivell - Caixa segon nivell	46
4.13.3	Caixa segon nivell - Inversor.....	49
4.13.4	Protecció corrent altern.....	51
4.13.5	Tubs de protecció	51
4.14	Instal·lació posada a terra	52
4.14.1	Terra de protecció	52
4.14.2	Terra de servei	52
4.15	Punt de connexió	52
5	Obra civil.....	55

5.1	Tancament de la parcel·la	55
5.2	Condicionament del terreny.....	55
5.3	Canalitzacions.....	56
5.4	Col·locació del Centre integrat fotovoltaic	57
5.4.1	Excavació	57
5.4.2	Tipus de terreny.....	57
6	Previsió anual de producció elèctrica.....	59
7	Estat actual d'energia elèctrica fotovoltaica	64
7.1	Introducció	64
7.2	Dèficit tarifari elèctric.....	64
7.3	Desenvolupament sistemes de retribució per centrals fotovoltaïques connectades a xarxa	65
7.4	Mercat elèctric (Pool)	73
7.4.1	Introducció.....	73
7.4.2	OMIE i cassació.....	73
8	Estudi de viabilitat econòmica	75
8.1	Venta d'energia elèctrica.....	75

8.2	Costos addicionals de manteniment i assegurança	79
8.3	Altres costos	81
8.4	Payback	84
8.5	VAN i TIR.....	86
9	Resum del pressupost	88
10	Conclusions.....	89
11	Relació de documents	92
12	Bibliografia.....	93
13	Glossari.....	96
A	Disseny generador fotovoltaic.....	98
A.1	Configuració del generador fotovoltaic.....	98
A.2	Elecció de l'Inversor.....	99
A.3	Cablejat	102
A.3.1	Tram cablejat corrent continu	102
A.3.2	Tram corrent altern.....	103
A.3.3	Cablejat de protecció	104

A.4	Proteccions corrent continu CC	104
A.4.1	Mòduls - Caixa connexió primer nivell.....	104
A.4.2	Caixa connexió primer nivell - Caixa connexió segon nivell.....	105
A.4.3	Caixa connexió segon nivell - Inversor	108
A.5	Proteccions corrent altern	108
B	Producció d'energia elèctrica	111
B.1	Determinació de la quantitat d'energia incident.....	111
B.1.1	Disposició dels mòduls.....	112
B.1.2	Determinació de pèrdues per orientació e inclinació	113
B.1.3	Rendiment energètic de la instal·lació.....	113
C	Dimensionament centre fotovoltaic integrat	118
C.1	Intensitat de mitja tensió	118
C.2	Intensitat de baixa tensió	118
C.3	Càlcul de curtcircuit	119
C.3.1	Càlcul de curtcircuit MT.....	119
C.3.2	Càlcul de curtcircuit BT	119

C.4	Dimensionament de l'embarrat	120
C.5	Proteccions contra sobrecarregues i curtcircuits	121
C.6	Dimensionament sortida centre fotovoltaic.....	121
C.7	Càlcul de posada a terra del centre fotovoltaic integrat.....	121
C.7.1	Determinació de les corrents màximes de posada a terra	121
C.7.2	Càlcul de la resistència del sistema de terra de protecció	123
C.7.3	Càlcul de la resistència del sistema de terra de servei	126
C.8	Càlcul de les tensions de pas	126
C.8.1	Tensions interiors.....	126
C.8.2	Tensions exteriors.....	127
C.9	Càlcul de les tensions aplicades	128
D	Càlcul del VAN i el TIR	130

1 Introducció

El consum d'energia elèctrica en la societat creix de forma considerable. Arribarà un moment que els recursos energètics naturals dels quals es disposen en l'actualitat seran insuficients. A més, el sistema energètic està basat en els combustibles fòssils, majoritàriament aquests, presenten impactes negatius importants sobre el medi ambient. Les energies renovables són la principal alternativa energètica en l'actualitat. L'energia renovable que ha tingut un creixement més important en els últims temps és l'energia fotovoltaica. Aquest creixement ha sigut degut a subvencions per part de l'estat que per diversos motius han sigut cancel·lades. Això ha provocat que, el que abans, fos una proposta d'inversió interessant ara no ho sigui.

En el següent document es realitzarà un estudi sobre la situació de l'energia fotovoltaica a Espanya i es farà el disseny d'una planta de generació fotovoltaica per estudiar la seva rendibilitat.

D'aquesta manera es pretén analitzar la situació de l'energia fotovoltaica i la viabilitat econòmica que té.

1.1 Antecedents

Com ha estat explicat a la introducció del present document, la inversió en energies fotovoltaiques no són atractives actualment a Espanya per la seva poca rendibilitat, malgrat això, es creu convenient fomentar aquest tipus de generació elèctrica per la situació geogràfica del país i perquè la sostenibilitat energètica d'un país depèn de produir tota l'energia que consumeix.

1.2 Objecte

El present projecte es redacta amb l'objectiu de descriure el disseny, la selecció dels components, les especificacions tècniques de la instal·lació d'una planta de generació fotovoltaica. Un cop realitzat el disseny es realitzarà un estudi de viabilitat econòmica per estudiar la rendibilitat de la planta.

La planta fotovoltaica disposarà d'una potència nominal de 500 kW, situada al municipi de Maçanet de la Selva (Girona). A priori la planta de producció tindrà una previsió aproximada d'uns 900.000 kWh/any equivalent al consum elèctric de 290 famílies.

1.3 Especificacions i abast

El projecte consisteix en la selecció dels panells més adequats per la instal·lació, es farà el disseny de les connexions de la planta especificant els elements de transformació i protecció. S'especificarà l'adequació de la planta fotovoltaica perquè pugui estar connectada correctament a la xarxa sense causar cap problema.

Un cop fet això, es farà un estudi de viabilitat econòmic per estudiar el temps d'amortització de la planta i si seria interessant o no realitzar el projecte. Aquest estudi de viabilitat es fa per demostrar que amb les noves restriccions imposades per part de l'estat espanyol s'impedeix la inversió sobre aquests tipus d'energies renovables.

En el procés de disseny de la planta no es tindrà en compte l'anàlisi dels suports, ja que s'instal·laren els suports estàndards per aquests tipus d'instal·lacions.

2 Reglamentació

En efectes pràctics s'haurà d'utilitzar tota aquella normativa que estigui en vigor a l'hora de la realització del projecte.

En aquests moments la instal·lació haurà de contemplar tota la normativa i reglamentació que s'exposa en el plec de condicions del projecte.

3 Energia solar

3.1 Introducció

La disponibilitat d'energia en el món s'ha convertit en un problema crucial, tant els països desenvolupats com els que es troben en vies de desenvolupament, es veuen afectats per les creixents demandes requerides per satisfer les seves metes econòmiques i socials.

Tal és la demanda que a partir dels últims anys s'ha reconegut imprescindible que l'oferta de l'energia pateixi una transició des de l'actual dependència els hidrocarburs fins a aplicacions energètiques més diversificades.

El sol és una font inesgotable de recursos per l'home. Prové d'una energia neta abundant i disponible en la major part de la superfície terrestre. Tot i això el consum i aprofitament d'aquesta energia ha sigut insignificant comparat amb el volum de consum energètic mundial.

Aquesta energia disponible a parir del sol la podem aprofitar amb dues tecnologies diferents, la conversió elèctrica i la conversió tèrmica. En aquest projecte s'utilitzarà la conversió d'energia solar en energia elèctrica mitjançant plaques solars fotovoltaïques.

Explicar l'efecte fotovoltaic i donar una visió general sobre aquesta tecnologia, el seu estat actual i les seves aplicacions, són els objectius d'aquest apartat.

3.2 Efecte fotovoltaic

Es defineix com efecte fotoelèctric a l'aparició de corrent elèctric en certs materials quan aquests es veuen il·luminats per radiació electromagnètica, sense que sigui necessari que apareguin o intervingui cap element físic o mecànic.

En la figura 1 es pot veure el diagrama de l'efecte fotoelèctric, els fotons incidents són absorbits pels electrons del mig dotant-los d'una quantitat d'energia que és suficient per escapar del mateix.

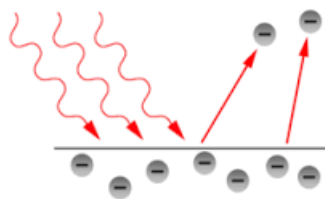


Figura 1 Diagrama efecte fotoelèctric

Per fer possible la utilització pràctica de les cèl·lules fotovoltaïques, aquestes es presenten associades elèctricament entre si i encapsulades en un bloc anomenat panell o mòdul fotovoltaic.

3.3 La radiació solar

El sol és una estrella que es troba a una temperatura mitjana d'uns 5.500 C°, en el seu interior tenen lloc una sèrie de reaccions que produeixen una pèrdua de massa que es transforma en energia. Aquesta energia alliberada pel sol es transmet a l'exterior mitjançant la denominada radiació solar. Durant l'actual any el sol entregarà sobre la terra 4.000 vegades més d'energia de la que es consumirà.

Les condicions de funcionament d'un mòdul fotovoltaic depenen de variables externes com la radiació solar i la temperatura de funcionament. Per realitzar el disseny d'una instal·lació solar fotovoltaica hem de conèixer les dades de radiació solar del lloc on estarà la nostra instal·lació.

La quantitat d'energia rebuda pel Sol (radiació solar) serà un dels elements més importants a l'hora de dissenyar els sistemes fotovoltaics. Com a norma general, aquesta energia la trobarem amb kJ/m^2 .

En la següent figura podem veure la radiació solar que arriba a la superfície terrestre en Espanya amb una alta resolució espacial. Les dades són obtingudes pel CM-SAF (Climate Satellite Application Facilities) de l'agència per l'explotació dels satèl·lits meteorològics europeus EUMETSAT.

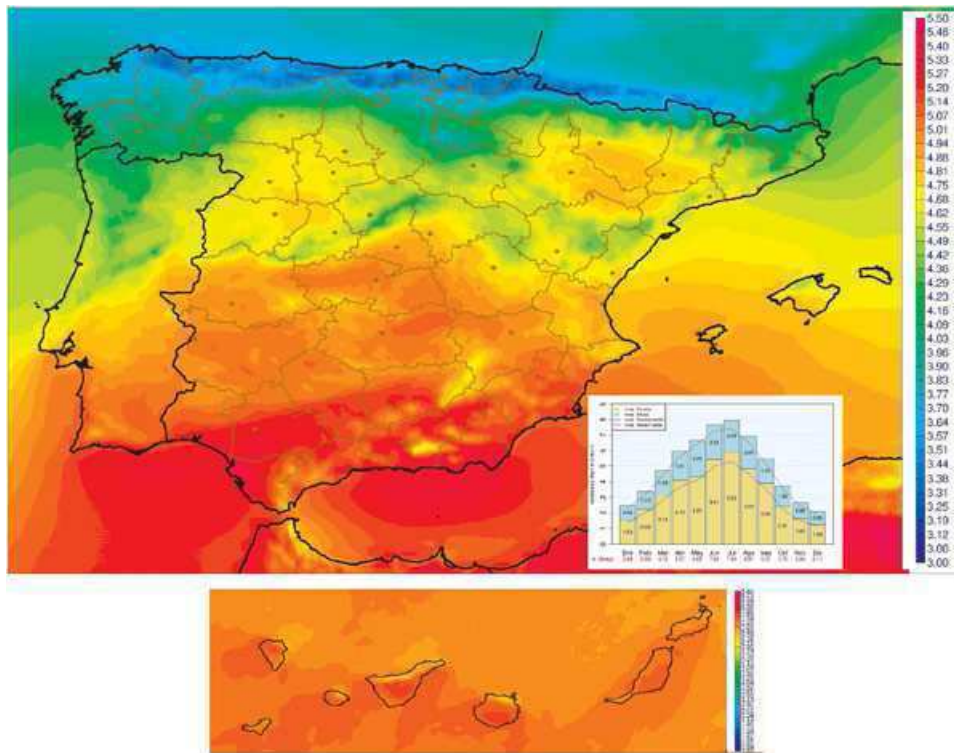


Figura 2 Radiació solar a la península Iberica

3.3.1 Classes de radiació solar

En funció de com incideixen els rajos del sol en la terra es distingeixen tres components de la radiació solar que són: Directa, difusa, i albedo.

La radiació directa és la rebuda des del sol sense que es desviï en el seu pas per l'atmosfera.

La difusa és la que pateix els canvis de direcció principalment deguts a la reflexió i difusió en l'atmosfera.

L'Albedo és la radiació directa i difusa que es rep per reflexió en el terra o altres superfícies properes.

3.4 Moviment del Sol

El sol dibuixa trajectòries diferents segons l'estació de l'any. A l'estiu està més elevat que l'hivern, això fa que les ombres siguin diferents per cada estació. Per conèixer el moviment del sol s'utilitza un sistema de coordenades amb dos angles, que permeten saber en cada moment la posició del sol.

Aquests paràmetres ens ajudaren a realitzar el disseny i la instal·lació de manera correcta. Altura solar (α) és l'angle format per la posició aparent del sol en el cel i l'horitzontal del lloc.

Azimut solar (ψ) és l'angle horitzontal format per la posició del sol i la direcció del verdader sud. En la figura 3 es poden observar els paràmetres descrits.

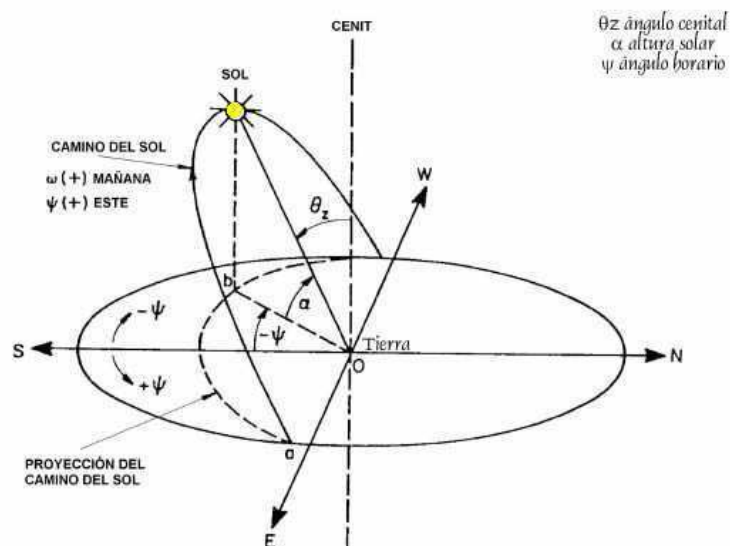


Figura 3 Moviment Solar

3.5 Avantatges e inconvenients de l'energia solar

L'energia solar és una de les fonts renovables amb majors possibilitats. Les instal·lacions d'energia solar presenten avantatges e inconvenients. A la taula 1 es pot veure una classificació dels principals avantatges e inconvenients d'aquest tipus d'energia.

Energia Solar	
Avantatges	<ul style="list-style-type: none">Escàs impacte ambientalNo produeix residusPot estar distribuïda arreu del mónNo té costos un cop instal·lat ja que el manteniment és senzillNo hi ha dependència de les companyies subministradoresTenen una vida útil llarga
Inconvenients	<ul style="list-style-type: none">Pot afectar ecosistemes en cas de grans extensionsImpacte visual negatiuBaix rendiment

Taula 1 Avantatges e inconvenients energia solar

4 Descripció del generador fotovoltaic

4.1 Introducció

La planta solar fotovoltaica que es dissenyarà, tindrà per objectiu, generar energia elèctrica d'origen renovable, mitjançant la captació de radiació solar. La planta està composta pel generador fotovoltaic (cablejat, mòduls solars i caixes de connexió) i el centre fotovoltaic integrat.

4.2 Localització

La instal·lació està ubicada en el polígon 12 parcel·la 23 Can Pujol del municipi de Maçanet de la Selva que pertany a la comarca de la Selva, Girona. La parcel·la disposa d'una superfície aproximada de 40.000 m². Les dades geogràfiques i climatològiques de la ubicació queden representades a la taula 2.

Província	Girona
Latitud de càlcul	41,98
Latitud [°/min.]:	41,59
Altitud [m]:	95,00
Humitat relativa mitja [%]:	58,00
Velocitat mitja del vent [km/h]:	5,00
Temperatura màxima estiu [°C]:	33,00
Temperatura mínima hivern [°C]:	-3,00
Variació diürna:	10,00
Graus-dia. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	873
Graus-dia. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	939

Taula 2 Característiques emplaçament

Tot hi que la parcel·la disposa d'una superfície de 40.000 m² només es faran servir uns 13.000 m². Cada camp solar tindrà una superfície de 2000 m² 62,5 metres de llargada per uns 31,3 m d'amplada. La parcel·la queda representada a la figura 4. La instal·lació s'efectuarà en la part sud de la parcel·la tocant al barri de Marata, aprofitant la línia que passa a 80 m de la part sud-est de la parcel·la per fer el punt de connexió.

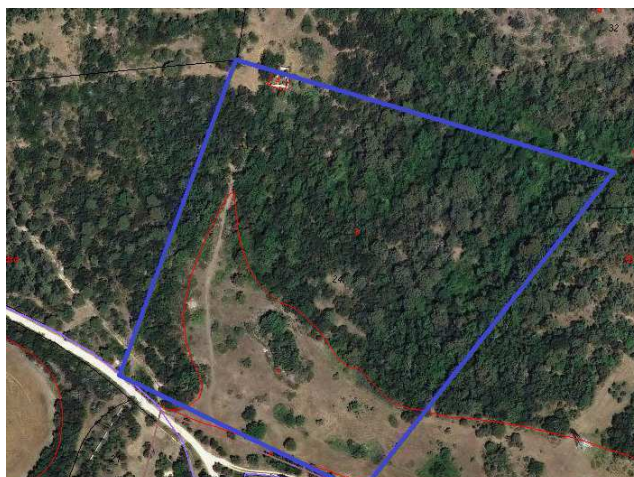


Figura 4 Delimitació parcel·la

4.3 Característiques generals instal·lació

El parc estarà compost per panells fotovoltaics de la casa EastechSolar, model ESF-300 MA de 300 Wp cadascun. Donat que la instal·lació no té cap tipus d'inconvenient arquitectònic es procedirà a instal·lar els panells amb la configuració més òptima. Per tant, un cop realitzem la instal·lació dels panells solars quedaran totalment orientats el sud, amb una inclinació de 32°.

El centre de generació solar tindrà un total de 2000 panells els quals estaran dividits en 5 subcamps 400 panells cadascun. La generació es realitzarà amb corrent continu i es transportarà des dels mòduls fotovoltaics fins a l'inversor col·locat de forma estratègica per disminuir costos.

L'inversor assolirà unes tensions i corrents òptimes pel funcionament dels mòduls fotovoltaics en sèrie i paral·lel. Aquestes tensions i corrents són aquelles que permeten realitzar el transport de l'energia fins als inversors sense obtenir nivells de risc. Per tant, tenint en compte això, l'inversor disposarà d'una configuració de 16 mòduls en sèrie i 25 ramals, és a dir, 5 camps solars amb 400 plaques cadascun que donaran una totalitat de 600 kW. La instal·lació està sobre dimensionada per aconseguir, que malgrat les pèrdues, es puguin assolir una potència nominal de 500 kW.

GENERALS	
Potència nominal	500 kW
Voltatge nominal	230 V ac
Tipus de connexió	Trifàsica
Estimació de l'energia anual produïda	900.000 kWh/any
Tipus d'integració arquitectònica	Instal·lació terra

Taula 3 Característiques generals

GENERADOR FOTOVOLTAIC	
Potència total FV instal·lada	600 kW
Marca i model del mòdul FV	Eastech solar ESF-300MA
Potència nominal unitària per mòdul	300 Wp
Inclinació horitzontal	32 °
Orientació	Sud
Nº total de mòduls FV	2000
Superfície total de mòduls FV	1,3 ha

Taula 4 Característiques generador fotovoltaic

INVERSOR	
Marca i model	PV-500
Tipus	Trifàsic
Potència nominal unitària	500 kW
Voltatge nominal	230 Vca
Nº inversors	1

Taula 5 Característiques inversor

4.4 Configuració del camp solar

El paràmetre a tenir en compte a l'hora de configurar el generador fotovoltaic és la tensió d'entrada a l'inversor. Tots els inversors de connexió a xarxa posseeixen un rang de tensions d'entrada que generalment està associat al punt de màxima potència (MPP), així com un límit màxim de tensions.

La tensió del generador fotovoltaic ve donada per la suma de les tensions individuals dels mòduls connectats en sèrie d'una branca. Per tant, l'interval d'operació de l'inversor s'ha d'ajustar en funció de la corba característica del generador, això significa que la configuració del camp solar vindrà donada pel rang de tensions de l'inversor.

Com s'ha realitzat en l'apartat A1 de l'annex del present document, el nombre màxim de mòduls en sèrie per branca ve condicionat pel rang de tensions que suporta l'inversor i la tensió de treball a la que operen els mòduls fotovoltaics.

Per garantir que el corrent que generarà el nostre camp solar no superarà el valor límit de l'inversor s'ha realitzat els càlculs adients demostrant que la totalitat de branques (125) no generaran una intensitat superior als 1250 A límits que imposa l'inversor.

Es interessant especificar que la variació de temperatura farà que tant les tensions d'operació com els corrents varin, s'ha tingut en compte com demostren els càlculs, que aquesta variació provocada per la temperatura faci que les tensions i corrents estiguin dins el rang d'operació.

Segons les restriccions anomenades anteriorment s'ha decidit realitzar la configuració amb un total de 125 branques en paral·lel compostes per 16 mòduls en sèrie cadascuna. Per tant, el camp solar tindrà una totalitat de 2000 panells de 300 W cadascun. La potència total del camp solar serà de 600 kW. S'ha dissenyat d'aquesta manera per aconseguir un sobre dimensionament que garanteixi la potència nominal de 500 kW.

Per facilitar la instal·lació dels panells i el cablejat el camp solar s'ha dividit en cinc subcamps. Cada subcamp està compost per 25 mòduls en paral·lel i 16 en sèrie formant una totalitat de 400 panells per cada subcamp.

4.5 Panells fotovoltaics

La instal·lació està formada per 2000 mòduls fotovoltaics de silici monocristal·lí de la marca Eastech Solar, model ESF-300 MA, de 300 Wp. Per l'elecció dels mòduls solars s'han tingut en compte les següents consideracions.

S'ha escollit la tecnologia de cèl·lules monocristal·lins donat que ofereixen un major rendiment, o eficiència de transformació de radiació solar en energia elèctrica.

També s'ha considerat el percentatge de tolerància de les plaques. Una tolerància de +10/-5% pot generar més energia que la que marca la potència pic però també en pot generar menys. En el cas de les plaques escollides per aquest projecte tindrà una relació de tolerància -3%/+5%, d'aquesta manera ens assegurem una regularitat, estabilitat i fiabilitat de la instal·lació.

Respecte a la configuració del generador solar, aquest, està dividit en 5 subcamps de 400 panells cadascun, formant una configuració de 16 branques o strings amb 25 mòduls cadascuna. Les característiques queden representades en la taula 6 i 7.

La instal·lació de les plaques s'ha realitzat en posició horitzontal per disminuir les distàncies totals del camp. I per reduir les pèrdues originades per l'efecte ombra.

Descripció	
Potència nominal	300W
Tensió a potència màxima	37,87 V
Intensitat a potència màxima	7,92A
Tensió de circuit obert	44,78V
Intensitat de curtcircuit	8,48 A

Taula 6 Característiques elèctriques mòduls

Descripció	
Amplada	992 cm
Altura	1.956 cm
Profunditat	50 cm
Pes	22,9 kg
Número de celes	72

Taula 7 Característiques mecàniques mòduls

Les característiques mecàniques dels mòduls queden representades a la figura 5.

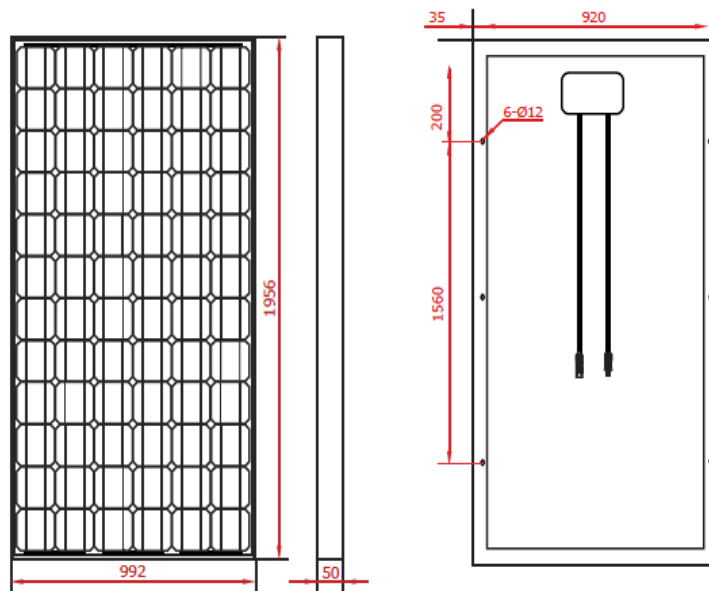


Figura 5 Dimensions Eastech solar ESF-300 MA

Les característiques elèctriques del mòdul estan especificades per condicions estàndard segons normativa a 1000 W/m^2 temperatura de la cèl·lula de 25°C y una massa d'aire de 1,5.



Figura 6 Connectors ESF-300-MA

4.6 Orientació dels panells solars

Es important dissenyar el camp solar amb l'orientació més òptima, ja que ens interessa que els panells captin la quantitat més gran de radiació solar possible.

Es disposa d'un terreny agrícola per realitzar la planta solar fotovoltaica, això fa que no es tingui cap restricció arquitectònica que ens impedeixi instal·lar les plaques amb l'orientació més adequada. Per tant, segons IDAE, l'orientació es defineix per l'angle anomenat azimuth α , que es l'angle que forma la projecció sobre el pla horitzontal de la normal a la superfície del mòdul i el meridià del lloc. Els valors típics són 0° per mòduls sud -90° mòduls est i $+90^\circ$ mòduls oest.

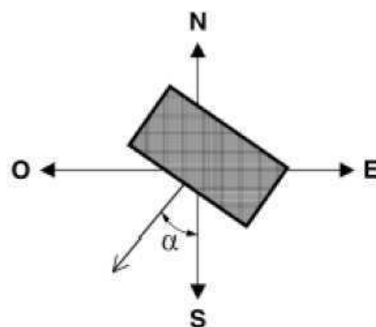


Figura 7 Representació angle orientació

En el cas de la ubicació Maçanet de la Selva, l'orientació més òptima serà de 0° , és a dir, orientada al sud geogràfic.

4.7 Inclinació dels panells

Respecte a l'inclinació dels panells, segons el plec de condicions del IDAE, la inclinació dels mòduls solars es defineix per l'angle d'inclinació β , que és l'angle que forma la superfície dels mòduls amb el pla horitzontal. El seu valor és 0° per mòduls horitzontals i 90° per mòduls verticals.

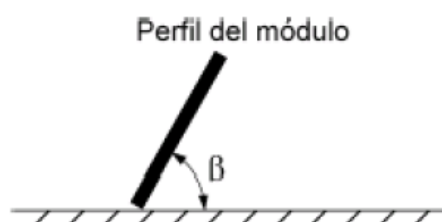


Figura 8 Representació angle d'inclinació

Segons IDAE per calcular la inclinació òptima dels panells solars en la instal·lació haurem de restar-li 10° a la latitud del lloc en es situa la planta solar fotovoltaica. Per tant, l'angle òptim és de 32° .

4.8 Distància mínima entre files de mòduls

El Plec de Condicions Tècniques del IDAE exposa que la distància d , mesurada sobre l'horitzontal, entre files de mòduls o entre una fila i un obstacle d'altura h que pugui produir ombres es recomana que sigui tal que es garanteixi com a mínim 4 hores de sol entorn del migdia del solstici d'hivern.

Seguint aquestes consideracions, s'han realitzats els càlculs exposats en l'annex del present document. Les distàncies a tenir en compte, queden representades a la figura 9.

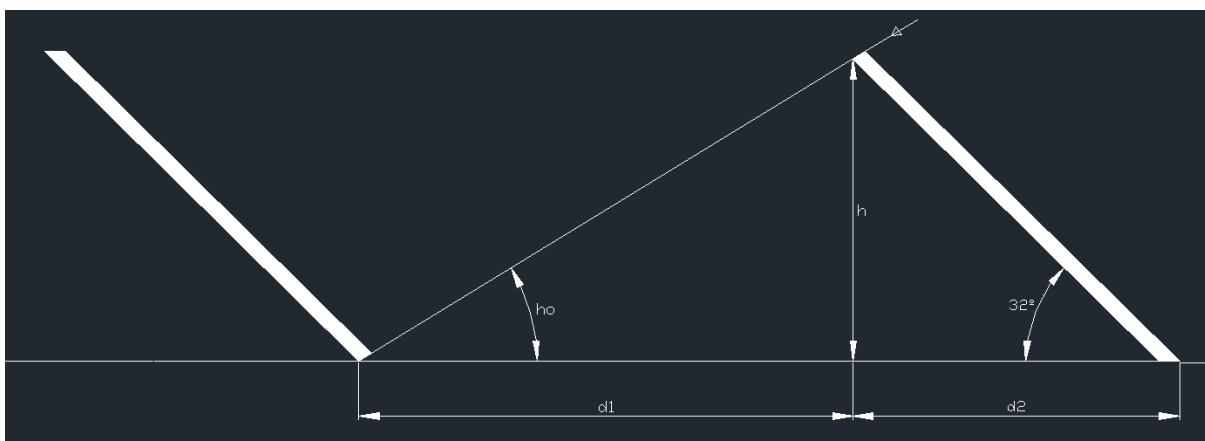


Figura 9 Distància mínima entre mòduls

d1	1111,64 mm
d2	810,74 mm
h	506,60 mm
h _o	24,5 mm

Taula 8 Distàncies mínimes

La distància total serà d1 més d2 el resultat és 1,922 m. En aquest valor li aplicarem un marge de seguretat per reduir al màxim les pèrdues per ombres. Per tant, la distància final entre mòduls és de 2,5 m.

4.9 Centre fotovoltaic integrat

El generador fotovoltaic genera, a partir dels mòduls solars, energia elèctrica en forma de corrent continua, aquest corrent continu, s'ha de convertir en corrent alterna i adaptar-la de forma correcta per injectar-la a la xarxa. Per fer-ho, s'ha optat per instal·lar el centre fotovoltaic integrat CFI-500 de la casa Ormazabal.

El centre fotovoltaic disposa d'una envoltant de formigó, d'estructura monobloc, on en el seu interior s'incorporen tots els components elèctrics, des de l'aparamenta de MT com els quadres de BT incloent el transformador i dispositius de connexió mesura i control entre els diversos elements.

El principal avantatge que presenten aquests centres es que tant la construcció com el muntatge i equipament interior poden ser realitzat directament a fàbrica, d'aquesta manera es garanteix una qualitat uniforme i redueix els treballs d'obra civil.

A continuació s'explicarà cada element per separat.

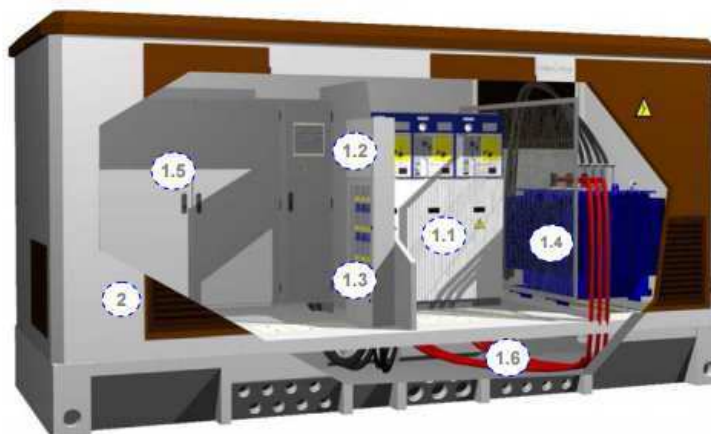


Figura 10 Parts centre fotovoltaic integrat

1	Equip elèctric interior
1.1	Aparament de MT
1.2	Quadre baixa tensió
1.3	Transformador SS. AA.
1.4	Transformador de potència 630 kVA
1.5	Inversor 500 kW
1.6	Pont cables
2	Edifici prefabricat de formigó

Taula 9 Elements centre fotovoltaic integrat

4.9.1 Edifici prefabricat

L'edifici prefabricat té unes dimensions aproximades 6,080 m de llargada, 2,380 m d'amplada i 2,585 m d'altura. L'envolupant d'aquest centre és de formigó armat vibrat.

Es compon de dues parts: una que aglutina el fons i les parets, que incorpora les portes i reixetes de ventilació natural, i una altra que constitueix el sostre.

Les peces construïdes en formigó ofereixen una resistència característica de 300 kg/cm². A més, disposen d'una armadura metàl·lica, que permet la interconnexió entre si i al col·lector de terres.

Aquesta unió es realitza mitjançant falques de coure, donant lloc a una superfície equipotencial que embolica completament al centre. Les portes i reixetes estan aïllades elèctricament, presentant una resistència de 10 kOhm respecte de la terra de l'envolupant. Les cobertes estan formades per peces de formigó amb insercions en la part superior per a la seva manipulació.

En la part inferior de les parets frontal i posterior se situen els orificis de pas per als cables de MT i BT. Aquests orificis estan semiperforats, realitzant-se en obra l'obertura dels quals siguin necessaris per a cada aplicació. D'igual forma, disposa d'uns orificis semiperforats practicables per a les sortides a les terres exteriors.

S'ha calculat el terra de servei i de protecció com a mesura addicional al terra incorporat pel centre fotovoltaic integrat.

4.9.2 Inversor

L'inversor es l'element que transformarà el corrent continu en corrent altern, l'inversor a utilitzar pel centre fotovoltaic integrat és l'inversor PV-500 que disposa de les característiques que s'exposen a continuació.

Descripció	
Rang de tensions (MPPT)	425-825 Vdc
Màxima tensió d'entrada	1000Vdc
Corrent màxima d'entrada	1250 A
Potència nominal	530 kW
Màxima potència FV recomanada	600 kWp

Taula 10 Característiques d' entrada

Descripció	
Tensió nominal	3x240 Vac(redIT)
Potència nominal	500 kW
Corrent nominal	1.203 A
Corrent màxima	1.300 A
Factor de potència	Regulable (0,95 inductiu –
Distorsió harmònica	<3%
Disponibilitat durant sots de tensió	Si

Taula 11 Característiques de sortida

Per garantir que aquest model d'inversor serà l'adequat a la instal·lació s'ha tingut en compte els següents punts.

El rang de tensions que a l'inversor treballa, oscil·la entre 425-825 V com demostren els càlculs realitzats en l'apartat A2 de l'annex la tensió generada pel generador fotovoltaic ($V_{oc} = 605,92 \text{ V}$) està dins del rang de tensions. A més, per més seguretat s'ha calculat el rang de tensions, tenint en compte una variació en la temperatura per diferents èpoques de l'any ($V_{OC(3,375^\circ\text{C})} = 817,96 \text{ V}$, $V_{OC(68,75^\circ\text{C})} = 450,48 \text{ V}$) i es demostra que també es troba dins el rang de funcionament de l'inversor.

La màxima tensió d'entrada a mòduls és de $1000 V_{DC}$, per tant, el compleix els requisits tècnics ja que ni en les pitjors condicions climàtiques la tensió subministrada per l'inversor serà superior als $1000 V_{DC}$.

El corrent màxim d'entrada de l'inversor és de 1250 A, aquest valor és superior al corrent màxim proporcionat pel generador fotovoltaic que serà de $I_{SC} = 1.056,25 \text{ A}$.

I per últim, el fabricant recomana una potència pic en la instal·lació de 600 kW per això s'han instal·lat 2000 plaques de 300 W cadascuna.

L'inversor PV-500 disposa de 12 entrades DC de les quals en farem servir 5 per la connexió del generador fotovoltaic a l'inversor. L'inversor serà instal·lat tal on indicant els plànols i seguint en tot moment la metodologia descrita en el plec de condicions del present projecte.



Figura 11 Inversor PV-500

4.9.3 Quadre de baixa tensió

El quadre de baixa tensió té unes dimensions aproximades de 1,810 m d'allargada, 0,58 d'amplada i 0,3 d'altura. En el quadre de baixa tensió s'instal·laran les proteccions a la sortida de l'inversor. Està format per una envoltant metàl·lica amb grau de protecció IP22 / IK08 a més de les proteccions especificades en el full de característiques proporcionat per la casa Ormazabal.

Ormazabal dona la possibilitat d'instal·lar un comptador en el quadre de baixa tensió. S'ha optat per instal·lar un comptador bidireccional indirecta connectat a transformador d'intensitat de 250/5 que comptabilitzarà l'energia produïda per la instal·lació de 500 kW.

4.9.4 Cel·les de mitja tensió

La configuració de les cel·les serà la configuració típica d'un centre de transformació privat d'abonat. La protecció MT està formada per 3 cel·les que són: Cel·la modular amb funció de protecció amb fusibles i dos cel·les amb funció de línia. Les característiques elèctriques són 24kV, 400 A i 16 kA.

L'esquema unifilar és el que queda representat en la figura 12.

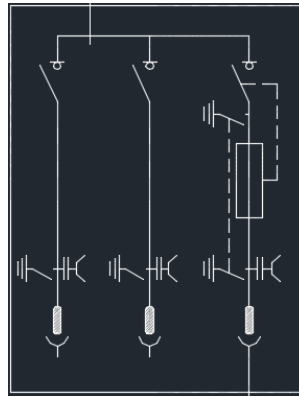


Figura 12 Esquema unifilar protecció MT

A continuació s'explicarà la cel·la de línia, model utilitzat CGMcosmos-L.

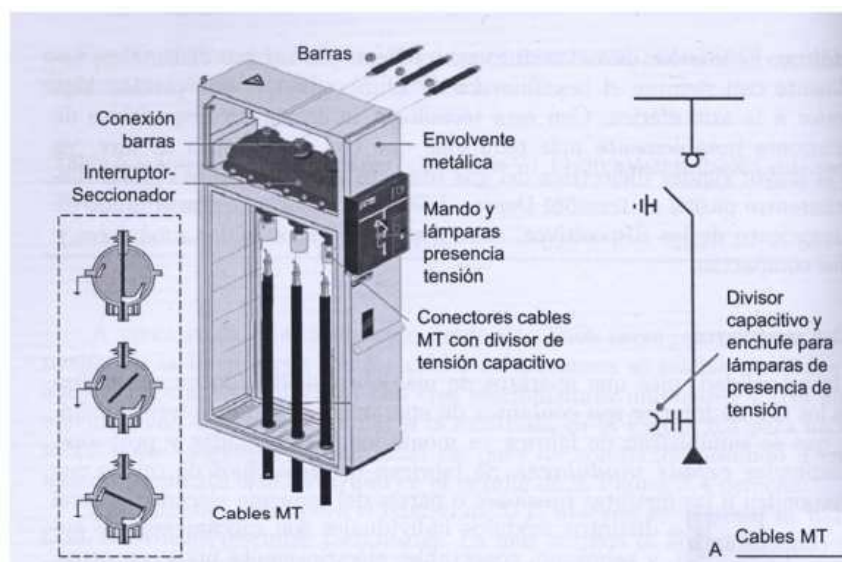


Figura 13 Cel·la de línia

La cel·la CGMcosmos-L de línia, està constituïda per un mòdul metàl·lic amb aïllament i tall en gas, que incorpora en el seu interior un embarrat superior de coure, i una derivació amb un interruptor-seccionador rotatiu, amb capacitat de tall i aïllament, i posició de posada a terra dels cables d'escomesa inferior-frontal mitjançant borns endollables. Presenta també captadors capacitius per a la detecció de tensió en els cables d'escomesa i un sistema d'alarma sonora de posada a terra, que sona quan havent-hi tensió en la línia s'introdueix la

palanca en l'eix del seccionador de posada a terra. En introduir la palanca en aquesta posició, un so indica que pot realitzar-se un curtcircuit o un zero a la xarxa si s'efectua la maniobra.

La cel·la de línia està proveïda d'interruptor-seccionador de tres posicions (connectat, seccionat i posada a terra) les seves característiques són les que queden representades en la taula 12.

Tensió assignada	kV	24
Freqüència assignada	Hz	50/60
Corrent assignat		
en barres e interconnexió de cel·les	A	400/630
escomesa	A	400/630
Tensió suportada assignada de curta duració		
fase terra i entre fases	kV	50
distància de seccionament	kV	60
Tensió assignada suportada tipus llamp		
fase terra i entre fases	kV	125
distància de seccionament	kV	145
Classificació arc intern	IAC AFL	20 kA 1s
Grau de protecció	IP	IP33 + IPX7

Taula 12 Característiques elèctriques cel·la de línia



Figura 14 Cel·la de línia

A continuació s'explicarà la cel·la de protecció, model utilitzat CGMcosmos-P.

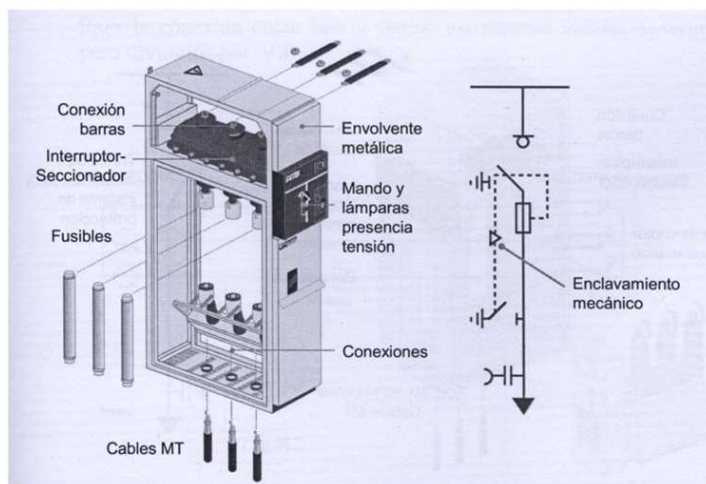


Figura 15 Cel·la de protecció

La cel·la CGMcosmos-P de protecció amb fusibles, està constituïda per un mòdul metàl·lic amb aïllament i cort en gas, que incorpora en el seu interior un embarrat superior de coure, i una derivació amb un interruptor-seccionador rotatiu, amb capacitat de tall i aïllament, i posició de posada a terra dels cables d'escomesa inferior-frontal mitjançant borns endollables, i en sèrie amb ell, un conjunt de fusibles freds, combinats o associats a aquest interruptor.

Presenta també captadors capacitius per a la detecció de tensió en els cables d'escomesa i pot portar un sistema d'alarma sonora de posada a terra, que sona quan havent-hi tensió en la línia s'introdueix la palanca en l'eix del seccionador de posada a terra. En introduir la palanca en aquesta posició, un so indica que pot realitzar-se un curtcircuit o un zero a la xarxa si s'efectua la maniobra.

La cel·la de protecció està proveïda d'interruptor-seccionador de tres posicions (connectat, seccionat i posada a terra, abans i després dels fusibles) i protecció amb fusibles limitadors. Aquesta cel·la de protecció és per potències inferiors a 800 kVA.

Tensió assignada	kV	24
Freqüència assignada	Hz	50/60
Corrent assignada		
en barres e interconnexió de cel·les	A	400/630
en baixant transformador	A	200
Tensió suportada assignada de curta duració		
fase terra i entre fases	kV	50
distància de seccionament	kV	60
Tensió assignada suportada tipus llamp		
fase terra i entre fases	kV	125
distància de seccionament	kV	145
Classificació arc intern	IAC AFL	20 kA 1s
Grau de protecció	IP	IP33 + IPX7

Taula 13 Característiques elèctriques cel·la de protecció



Figura 16 Cel·la de protecció

4.9.5 Transformador BT/MT

El centre de transformació integrat compte amb un transformador trifàsic hermètic d'ompliment integrat amb bany d'oli, d'enrotllaments concèntrics en coure, refrigeració natural i compleix la normativa UNE 21.428-1. Les seves característiques són les que queden representades a la taula 14.

Potència nominal	630kVA
Tensió primària nominal	20.000V
Tensió secundària nominal	B1 (240V)
Regulació sense tensió	+5%, 10%
Connexió	Dy11
Freqüència	50Hz
Pèrdues en carrega	4.600W
Pèrdues en buit	720W

Taula 14 Característiques elèctriques transformador



Figura 17 Transformador trifàsic hermètic

4.9.6 Serveis auxiliars

El centre fotovoltaic integrat disposa d'un quadre de control general de serveis auxiliars amb interruptor diferencial de 25 A i 30 mA de sensibilitat, preparat amb quatre sortides que són: enllumenat, força, alimentació i magnetotèrmic 4 P 25 A 10 kA corba de C.

4.9.7 Ponts de connexió

El centre fotovoltaic integrat disposa dels ponts de connexió necessaris pel que fa a la secció i resistència d'aïllament imposats per la norma GE DND001(MT) i GE CNL001 (BT).

Els cables que constitueixen el pont que uneix les cel·les de MT i el transformador serà unipolars d'aïllament sec per una tensió d'aïllament de 18/30 kV i d'una secció de 120mm² sent 50 mm² la mínima requerida per la norma.

Respecte a la unió entre els borns del transformador i el quadre de protecció de baixa tensió s'efectuarà per cables del tipus RV 0,6/1 kV. Aquesta instal·lació es realitzarà en agrupacions tetrapolars (R,S,T,N) formant feixos. El cablejat de fase estarà compost per 9x1x240 mm² mentre que el neutre 3x1x240 mm².

4.10 Estructura de suport

L'estructura de suport serà fabricada per la casa Soportes Solares S.L. el model serà estructura SS-HU-AL. Aquest model realitzar per la casa Soportes Solares S.L. s'adapta a qualsevol inclinació i dimensió segons els criteris del projecte.

Aquestes estructures estan fabricades integralment en alumini d'alta resistència 60660T6. Les estructures seran instal·lades sobre blocs de formigó prefabricat instal·lats prèviament a terra.

La casa Soportes Solares S.L. assegura que aquest sistema ha sigut calculat per complir amb les normatives europees en quan a la resistència de les càrregues de vent i neu, i en particular amb les condicions imposades pel Codi tècnic de l'edificació. El disseny i la

construcció de l'estructura i el sistema de fixació dels mòduls permetrà les necessàries dilatacions tèrmiques, sense transmetre càrregues que puguin afectar a la integritat dels mòduls. Com s'ha explicat en l'apartat 4.7, les estructures s'instal·laren amb una inclinació de 32° respecte a l'horitzontal. Els mòduls s'instal·laren en horitzontal.

Segons El plec de condicions tècniques del IDAE, l'estructura suport dels panells solars, haurà de resistir sobrecàrregues d'aire i vent. L'estructura exemple, queda representada en la figura 18.



Figura 18 Estructura SS-HU-AL

Per la fixació dels panells a l'estructura s'utilitzaren les grapes fabricades per la mateixa casa, denominades grapa G6 i grapa G7 representes a la figura 19.



Figura 19 Grapes subjecció

4.11 Cablejat

Com s'ha explicat anteriorment la planta solar fotovoltaica s'ha dividit en diferents subcamps en els quals es realitzarà la instal·lació de cablejat per separat per facilitar-la. A més, a l'hora de definir el projecte d'una manera més entenedora es dividirà la instal·lació en diferents trams de connexió pels diferents equips i caixes de connexió que la componen.

Cadascun d'aquests trams disposarà d'una secció acord amb la càrrega que suporti. En aquests trams els anomenarem nivells. El primer nivell serà la connexió entre els mòduls i la primera caixa de connexió, el segon, entra la primera caixa i la segona i així successivament. Cada subcamp disposa de dues caixes de connexió que seran anomenades segons el seu subcamp i segons si la caixa té 12 o 13 strings, 12 serà 1 i 13, 2. Per exemple, caixa de grup 2.1 serà la caixa que pertany al subcamp 2 i agrupa 12 strings.

Per tant, les caixes de grup per cada subcamp tindran 12 o 13 strings compostos de 16 mòduls en sèrie. Els conductors provinents de les diferents caixes de grup aniran a la caixa de connexió FV. En la figura 20 es pot veure la nomenclatura definida per cada subcamp. S'estableixen tres nivells diferents fins l'entrada a l'inversor. Nivell 1 Mòduls - Caixa primer nivell, Nivell 2 Caixa primer nivell - Caixa segon nivell i Nivell 3 Caixa segon nivell - Inv.

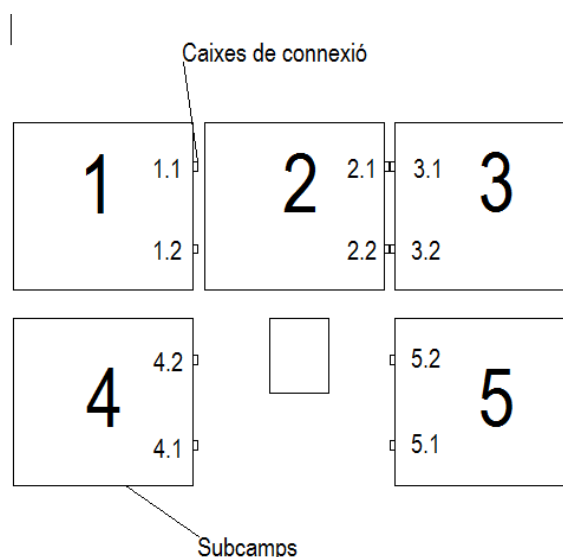


Figura 20 Esquema numeració subcamps i caixes de grup

El tipus d'instal·lació serà de conductors aïllats en canals de muntatge superficial segons la definició de la norma ICT-BT-19. Com es pot veure en la figura 21 el cablejat provinent dels mòduls solars serà conduit fins a un lateral a través de safata superficial de la casa Pemsas.

Aquestes safates presentant resistència a la corrosió segons la norma UNE-EN 61537. Per assegurar la instal·lació de tensions de contacte baixes, les masses i elements conductors es connectaran mitjançant conductors de protecció, o de equipotencialitat, a la instal·lació de posada a terra per assegurar que la tensió de contacte no superi als 24 V.

Ja que les safates de suport no efectuen cap funció de protecció, s'instaran cables RV-K amb tensió assignada 0,6/1kV, amb conductor de coure classe 5 (-K), aïllament de polietilè reticulat i coberta de policlorur de vinil. Els empalmes o derivacions es realitzaran sempre a l'interior de les caixes de connexió.



Figura 21 Safates Pemsas

Per tant, la totalitat dels cables provinents dels mòduls i connectats en sèrie quedaran recollits en la safata descrita fins arribar al lateral (veure plànol), des d'aquest punt fins a la caixa de connexió de grup s'optarà per canaletes, marca UNEX, model 66U23X aïllants amb tapa de PVC M1.



Figura 22 Canaletes UNEX

Un cop realitzades les connexions fins a la caixa de connexió de primer nivell es realitzarà de la mateixa manera la connexió amb la caixa de connexió segon nivell. És important senyalitzar que la caixa de connexió primer nivell es situarà a la paret de la caseta del centre integrat.

Pel càlcul de la secció dels trams de corrent continu, s'utilitzarà el criteri de caiguda de tensió. En l'apartat A3 de l'annex, es poden veure els càlculs justificatius de la secció de cada tram. El primer tram correspon des dels mòduls a la caixa de connexió de primer nivell on s'utilitzarà cable de $2,5 \text{ mm}^2$ amb aïllament polietilè reticulat i coberta policlorur de vinil, ja que està a la intempèrie.

El segon tram correspon a la connexió entre la caixa de connexió de primer nivell i la caixa generador segon nivell on s'instal·larà cable de 95 o 120 depenent del tram sota la canaleta UNEX. Per últim, des de la sortida de la caixa connexió segon nivell fins a l'entrada a l'inversor s'utilitzarà cable de secció de 120 mm^2 . I el tram que queda soterrat es protegirà amb tub corrugat de protecció amb diàmetre 200 mm.

Per tot el tram de contínua, la caiguda de tensió màxima permesa és de 1,5 % la tensió de servei.. Les taules següents mostren el resum de les seccions de la planta solar.



Tram	Strings	Potència (W)	Tensió (V)	Longitud (m)	Caiguda de tensió max (V)	Intensitat (A)	Secció (mm ²)
Subcamp							
	1	4.798,89	605,92	44,50	9,09	8,48	1,48
	2	4.798,89	605,92	42,00	9,09	8,48	1,40
	3	4.798,89	605,92	39,50	9,09	8,48	1,32
	4	4.798,89	605,92	37,00	9,09	8,48	1,23
	5	4.798,89	605,92	34,50	9,09	8,48	1,15
Caixa de connexió 1	6	4.798,89	605,92	32,00	9,09	8,48	1,07
	7	4.798,89	605,92	32,00	9,09	8,48	1,07
	8	4.798,89	605,92	34,50	9,09	8,48	1,15
	9	4.798,89	605,92	37,00	9,09	8,48	1,23
	10	4.798,89	605,92	39,50	9,09	8,48	1,32
	11	4.798,89	605,92	42,00	9,09	8,48	1,40
	12	4.798,89	605,92	44,50	9,09	8,48	1,48
	13	4.798,89	605,92	46,30	9,09	8,48	1,54
	14	4.798,89	605,92	43,80	9,09	8,48	1,46
	15	4.798,89	605,92	41,30	9,09	8,48	1,38
	16	4.798,89	605,92	38,80	9,09	8,48	1,29
	17	4.798,89	605,92	36,30	9,09	8,48	1,21
	18	4.798,89	605,92	33,80	9,09	8,48	1,13
Caixa de connexió 2	19	4.798,89	605,92	31,30	9,09	8,48	1,04
	20	4.798,89	605,92	33,80	9,09	8,48	1,13
	21	4.798,89	605,92	36,30	9,09	8,48	1,21
	22	4.798,89	605,92	38,80	9,09	8,48	1,29
	23	4.798,89	605,92	41,30	9,09	8,48	1,38
	24	4.798,89	605,92	43,80	9,09	8,48	1,46
	25	4.798,89	605,92	46,30	9,09	8,48	1,54

Taula 15 Característiques cablejat subcamps 1

	Caixa de connexió de primer nivell 1
	Caixa de connexió de primer nivell 2

Tram	Strings	Secció adoptada (mm ²)	Intensitat admissible (A)	Caiguda de tensió (V)	Potència max (W)	Fusible (A)
Subcamp						
	1	2,50	29,00	5,39	17.571,68	10,00
	2	2,50	29,00	5,09	17.571,68	10,00
	3	2,50	29,00	4,79	17.571,68	10,00
	4	2,50	29,00	4,48	17.571,68	10,00
	5	2,50	29,00	4,18	17.571,68	10,00
Caixa de connexió 1	6	2,50	29,00	3,88	17.571,68	10,00
	7	2,50	29,00	3,88	17.571,68	10,00
	8	2,50	29,00	4,18	17.571,68	10,00
	9	2,50	29,00	4,48	17.571,68	10,00
	10	2,50	29,00	4,79	17.571,68	10,00
	11	2,50	29,00	5,09	17.571,68	10,00
	12	2,50	29,00	5,39	17.571,68	10,00
	13	2,50	29,00	5,61	17.571,68	10,00
	14	2,50	29,00	5,31	17.571,68	10,00
	15	2,50	29,00	5,00	17.571,68	10,00
	16	2,50	29,00	4,70	17.571,68	10,00
	17	2,50	29,00	4,40	17.571,68	10,00
	18	2,50	29,00	4,09	17.571,68	10,00
Caixa de connexió 2	19	2,50	29,00	3,79	17.571,68	10,00
	20	2,50	29,00	4,09	17.571,68	10,00
	21	2,50	29,00	4,40	17.571,68	10,00
	22	2,50	29,00	4,70	17.571,68	10,00
	23	2,50	29,00	5,00	17.571,68	10,00
	24	2,50	29,00	5,31	17.571,68	10,00
	25	2,50	29,00	5,61	17.571,68	10,00

Taula 16 Característiques cablejat subcamps 2

-  Caixa de connexió de primer nivell 1
-  Caixa de connexió de primer nivell 2

Cada subcamp queda definit amb les seccions anteriors dependent de cada string, ja que les distàncies per cadascun seran iguals. En el tram corresponent al segon nivell s'ha tingut en compte la caiguda de tensió del primer nivell perquè el total de la instal·lació sigui de 1,5 %. En les taules següents es poden veure les característiques dels trams de segon i tercer nivell.

Tram		Potència (W)	Tensió (V)	Longitud (m)	Caiguda max (V)	Intensitat (A)	Secció (mm ²)
Caixa Grup - Caixa FV							
Subcamp 1							
Caixa Grup 1	1.1	5138,20	605,92	72,40	9,09	101,40	28,85
Caixa Grup 2	1.2	5138,20	605,92	38,58	9,09	109,85	16,65
Subcamp 2							
Caixa Grup 1	2.1	5138,20	605,92	70,67	9,09	101,40	28,16
Caixa Grup 2	2.2	5138,20	605,92	36,85	9,09	109,85	15,91
Subcamp 3							
Caixa Grup 1	3.1	5138,20	605,92	70,67	9,09	101,40	28,16
Caixa Grup 2	3.2	5138,20	605,92	36,85	9,09	109,85	15,91
Subcamp 4							
Caixa Grup 1	4.1	5138,20	605,92	70,40	9,09	101,40	28,05
Caixa Grup 2	4.2	5138,20	605,92	38,90	9,09	109,85	16,79
Subcamp 5							
Caixa Grup 1	5.1	5138,20	605,92	68,67	9,09	101,40	27,36
Caixa Grup 2	5.2	5138,20	605,92	37,17	9,09	109,85	16,05
Caixa FV - Inv							
Sort Caixa FV - Inv		5138,20	605,92	10,00	9,09	212	8,33

Taula 17 Característiques elèctriques cablejat segon i tercer nivell (1)

Tram		Secció adoptada (mm ²)	Intensitat admissible (A)	Caiguda de tensió (V)	Potencia max (W)	Secció protecció (mm ²)	Fusible (A)
Caixa 1N - Caixa 2N							
Subcamp 1							
Caixa Grup 1	1.1	120,00	314,00	7,58	190.258,88	95	200,00
Caixa Grup 2	1.2	95,00	271,00	7,20	164.204,32	70	200,00
Subcamp 2							
Caixa Grup 1	2.1	120,00	314,00	6,62	190.258,88	95	200,00
Caixa Grup 2	2.2	95,00	271,00	5,70	164.204,32	70	200,00
Subcamp 3							
Caixa Grup 1	3.1	120,00	314,00	6,91	190.258,88	95	200,00
Caixa Grup 2	3.2	95,00	271,00	5,70	164.204,32	70	200,00
Subcamp 4							
Caixa Grup 1	4.1	120,00	314,00	6,91	190.258,88	95	200,00
Caixa Grup 2	4.2	95,00	271,00	6,69	164.204,32	70	200,00
Subcamp 5							
Caixa Grup 1	5.1	120,00	314,00	7,68	190.258,88	95	200,00
Caixa Grup 2	5.2	95,00	271,00	6,84	164.204,32	70	200,00
Caixa 2N - Inv							
Sort Caixa 2N - Inv		120,00	314,00	8,31	190.258,88	70	250A

Taula 18 Característiques elèctriques cablejat segon i tercer nivell (2)

El tram de corrent altern que abasta des de la sortida de l'inversor PV-500 fins a l'entrada de l'inversor queda compres dins del centre fotovoltaic integrat. De totes maneres per assegurar que les característiques tècniques tant de les proteccions com dels ponts instal·lats en el centre integrat són correctes es calcularan de forma teòrica. A l'annex del present document es pot veure al càlcul de la secció d'aquest tram i la secció necessària per complir amb normativa.

4.12 Caixes de connexió

4.12.1 Caixa primer nivell

El primer nivell del cablejat de continua, serà el que recull la connexió dels mòduls en sèrie i va fins a la caixa de connexió de grup. En la caixa de connexió de grup és on estaran els elements encarregats de la protecció de cadascuna de les branques per separat i de les proteccions del cablejat d'interconnexió. A les caixes de connexió de subgrup arribaran 24 o 26 conductors (segons caixa), la meitat corresponents a pols positius de cada branca i l'altra meitat corresponents als negatius. D'aquesta caixa sortiran dos conductors, un per la polaritat negativa i un altre per la positiva. En la figura 23 tenim un exemple de com podria quedar la caixa de connexió en aquest tram.



Figura 23 Caixa de connexió de grup

4.12.2 Caixa primer nivell - Caixa segon nivell

Aquest tram estarà compres entre la caixa de connexió de grup on s'unifiquen les branques i la caixa de connexió de generador fotovoltaic. A la caixa FV arriben dos conductors de cada caixa de connexió de grup un positiu i un negatiu. Cada cable provinent de les caixes de connexió de grup és de 120 mm² o 95 mm² (veure taules 17 - 18). Unificar les diferents entrades en una sortida única suposaria un cost elevat per l'amperatge que hauria de suportar el cable (secció molt gran) per tant, com l'inversor pot assolir fins a un total de 12 entrades DC es faran entrar directament els 10 conductors a l'inversor. Aquesta caixa de connexió ens servirà per instal·lar els elements necessaris per la protecció del generador fotovoltaic.

4.12.3 Caixa segon nivell - Centre Integrat Ormazabal

En aquest tram els cables tindran una secció de 120 mm². En sortiran 10 conductors que aniran cap a l'inversor. La caixa generador segon nivell tindrà un vigilant d'aïllament per cada subcamp i un interruptor de corrent continua. Aquests elements queden descrits a l'apartat 4.13.3 del present document.

4.12.4 Cablejat de protecció

Segons el reglament electrotècnic de baixa tensió s'han de connectar correctament totes les masses metàl·liques d'una instal·lació amb terra, amb l'objectiu d'aconseguir que el conjunt d'instal·lacions, edificis i superfície pròxima al terreny no apareguin diferències de potencial perilloses. També aquestes connexions assegurin el pas a terra del corrent per defecte o les descàrregues d'origen atmosfèric.

Segons la ICT-BT-18, la posada a terra haurà d'incloure tomes de terra, conductors de terra, borns de posada a terra i conductors de protecció. Per realitzar una correcta adequació se seguirà el següent:

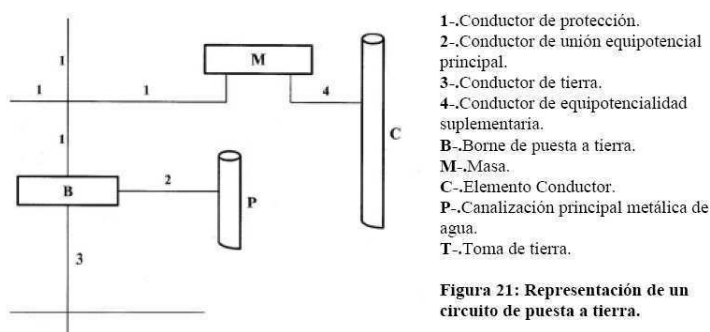


Figura 24 Posada a terra

Segons la ITC-BT-18 del REBT, els conductors de protecció hauran de ser del mateix material que els conductor actius utilitzats en la instal·lació, en aquest cas seran de coure i aniran en el primer tram (Mòduls solars- caixa connexió de grup) sobre la bandeja metàl·lica de la casa Pensa i en el segon tram (Caixa connexió de grup - caixa generador FV) sota canalització utilitzant canaletes UNEX model 66U23X. La secció dels conductors de protecció haurà de seguir les relacions representades en la figura 25.

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Figura 25 Seccions conductors de protecció

Per tant els conductors de protecció pels diferents trams dependrà de la secció calculada pel conductor de fase.

Conductor de fase (mm ²)	Conductor de protecció (mm ²)
2,5	2,5
95	50
120	70

Taula 19 Resum cable de protecció

4.13 Aparells elèctrics de protecció

Per proporcionar seguretat tant els equips que formen la instal·lació solar fotovoltaica com al personal encarregat del manteniment s'instal·laran una sèrie d'elements que assegurin el bon funcionament de la instal·lació.

Com consta en el projecte el generador fotovoltaic està dividit en 5 subcamps, cadascun d'ells disposa de dues caixes de connexió (Nivell 1). En aquestes caixes de connexió arribaran conductors de 2,5 mm² de secció. Cada conductor té connectat un fusible de 10 A. Després dels fusibles, ve la interconnexió dels conductors del nivell 1 passant a forma un únic conductor de 120 o 95 mm² segons la caixa de connexió de grup. A la sortida de les caixes de connexió de grup s'instal·la un descarregador Toscano model Vigivolt, l'interruptor seccionador ABB model PV OTDC250E11 i un fusible de 125 A.

En l'apartat A.4 de l'annex del present document s'han realitzat els càlculs justificatius de l'elecció de cada element. Els fusibles e interruptors per corrent continua són diferents als de corrent alterna, tot i això el càlcul és semblant segons la ITC-BT-22, es seguirà el mateix procés de càlcul. A continuació es detalla la selecció de cadascun dels elements anomenats.

4.13.1 Mòduls - Caixa primer nivell

El primer tram és des dels mòduls fins a la caixa de connexió de grup, aquest tram es protegirà contra sobreintensitats mitjançant fusibles a cada una de les branques del generador fotovoltaic que provoquin obertura del circuit en cas de produir-se una intensitat superior a l'admissible pels equips i conductors de la instal·lació. Cada branca posseeix dos fusibles de la mateixa característica, un pel conductor positiu i un altre conductor negatiu.

Els fusibles escollits seran de la casa de Electric model gPV 1000 V DC intensitat nominal 10 A i poder de tall 30 kA. Els fusibles seran iguals que els que queden representats en la figura 26 però amb la intensitat mencionada anteriorment.



Figura 26 Fusible gPV

S'utilitzaran bases modulars per portafusibles de la mateixa casa recomanats pel fabricant model PMF 1000 V amb indicador de fusió.

4.13.2 Caixa primer nivell - Caixa segon nivell

El segon tram estarà protegit per tres elements.

El descarregador que ajudarà a evitar les sobretensions i garantir l'optimització de la instal·lació. Els protectors contra sobretensió descarreguen a terra els pics de tensió transitoris que transmeten a través dels cables de la instal·lació elèctrica.

Per l'elecció d'aquest element s'ha tingut en compte la tensió calculada més alta durant l'any. La tensió més alta calculada es produirà a l'hivern i serà de 817,96 V per tant, s'ha escollit un descarregador amb una tensió de règim permanent superior a aquest valor.

El descarregador és de la casa Toscano model Vigivolt FV1000/3 classe II la seva tensió de règim permanent és de 1000 VDC. Es col·locaran 10 elements per cada una de les caixes de grup.



Figura 27 Vigivolt FV1000/3

L'Interruptor seccionador és l'element que tindrà la funció d'aïllar les zones del generador per tasques de manteniment dels mòduls solars com neteja i reparació. Per l'elecció d'aquest element s'ha tingut en compte la màxima intensitat de cada caixa de primer nivell on seran instal·lats l'interruptor-seccionadors i la màxima tensió. Aquests valors estan calculats en l'annex 4.2 del present document. S'ha de tindre en compte que la intensitat màxima que suportaran aquests interruptors-seccionadors no serà la intensitat total del generador, ja que cadascun, estarà instal·lat de manera que sigui capaç de tallar les branques que agrupa. Tant per la caixa 1 (12 strings) com per la caixa 2 (13 strings) la intensitat màxima és molt semblant, per tant, l'interruptor seccionador serà el mateix.

L'interruptor-seccionar escollit és de la casa ABB model PV OTDC160E11 bipolar amb tensió 1000 VDC capaç d'interrompre intensitats de 160 A.



Figura 8 Interruptor seccionador PV OTDC160E11

I per últim, s'instal·laran fusibles un per cada línia del 2 nivell. De la mateixa manera que en el tram anterior, es col·locaran dos fusibles per tram, un pel conductor positiu i un altre pel conductor negatiu.

En aquest tram necessitarem, segons els càlculs exposats en l'annex del present document, fusibles de 125 A. Els fusibles instal·lats seran de la casa de l'elèctric model gPV NH1 amb tensió 1000 VDC i intensitat nominal 125A. Per la seva instal·lació s'utilitzarà la base modular recomanada pel fabricant model PMF 1000 V amb funció de fusió.

Resumint, el generador fotovoltaic està dividit en 5 subgrups de 25 branques cadascun, cada grup té dues caixes de connexió de primer nivell on s'instal·laran els fusibles de 10 A encarregats de la protecció dels mòduls, el descarregador, l'interruptor-seccionador i el fusible de 125 A.



Figura 29 Caixa de connexió primer nivell

S'utilitzaran caixes de la casa Seymeval model Max polièster porta opaca amb grau de protecció IP55 i s'instal·laran adherides a l'estructura suport de les plaques. Les seves dimensions són 1000x750x300mm.

4.13.3 Caixa segon nivell - Inversor

El nivell 3 correspon a l'últim tram de la instal·lació de corrent continua, connecta totes les caixes de connexió de grup del generador fotovoltaic amb el centre integrat Ormazabal. Entraren 20 conductors provinents de les diferents caixes de grup i en sortiran 10 conductors de 120 mm² que són els que seran instal·lats a l'inversor.

En la caixa de generador fotovoltaic s'instal·laran els elements de protecció que s'expliquen a continuació.

El controlador permanent d'aïllament, aquest element, detecta possibles falles d'aïllament entre els dos conductors respecte a terra. El controlador permanent d'aïllament està format pel vigilant d'aïllament i l'interruptor de corrent continua.

Com a vigilant d'aïllament s'ha escollit el FAC3 de la casa Proat que treballa a una tensió entre 120 - 1000 VDC.

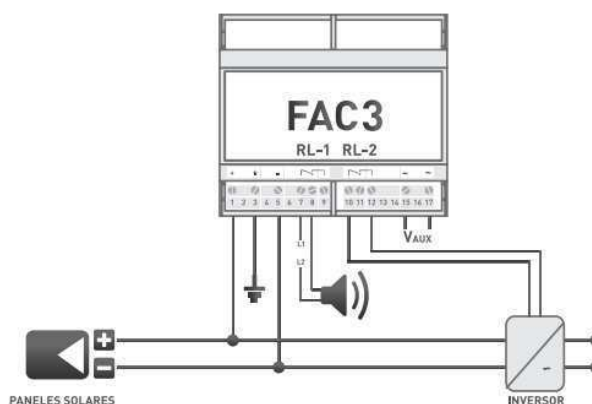


Figura 30 Controlador permanent d'aïllament FAC3

Com a interruptor CC s'ha decidit instal·lar el NIPS-300 capaç d'interrompre corrents entre 200 i 300 A. La configuració final de la instal·lació una vegada tenim instal·lat el vigilant d'aïllament i l'interruptor de corrent continua serà la següent:

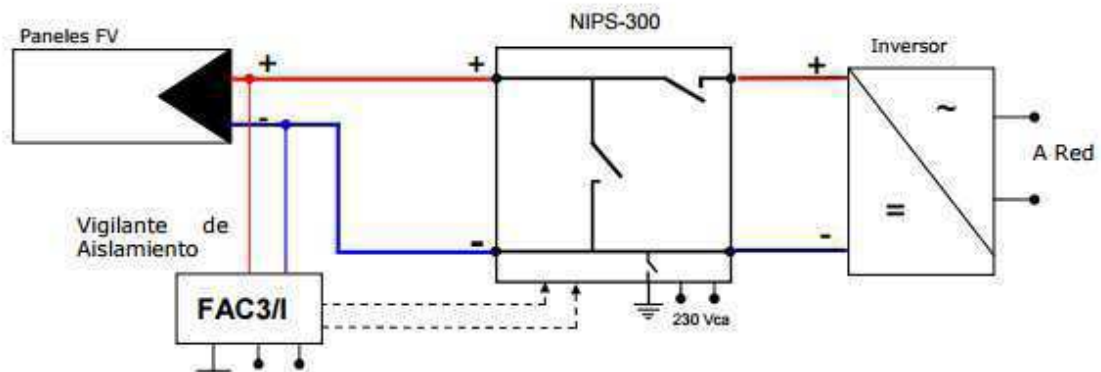


Figura 31 Configuració protecció entrada inversor CC

També serà instal·lat un magnetotèrmic, aquest dispositiu tenen incorporats un dissipador tèrmic i un altre magnètic, actuant sobre un dispositiu de tall de làmina bimetàl·lica i l'electroimant. La maniobra es realitza amb tall a l'aire. Per sobreintensitats petites i prolongades actua la protecció tèrmica i per sobreintensitats elevades actua la protecció magnètica. Aquest element s'ha calculat segon la ICT-BT-22.

Perquè es compleixi la condició s'ha d'instal·lar un magnetotèrmic per cada línia de sortida es a dir 5 magnetotèrmics. S'instal·larà l'interruptor de caixa modelada de la casa chint model NM8S amb intensitat nominal 250A. La tensió més alta que haurà de suportar aquest interruptor serà per una tensió de circuit obert de 716,49 V_{OC} , per tant, es connectaran tres pols, ja que, cada pol suporta una tensió de servei de 250 V_{CC} . D'aquesta manera connectant tres pols s'aconseguirà una tensió màxima de 750 V_{CC} , tensió suficient per suportar la tensió generada pels mòduls.



Figura 32 Magnetotèrmic Chint NM8S

Per la caixa segon nivell s'utilitzarà un armari de la casa Seymeval model Max Poliester IP55 tancat amb porta opaca amb dimensions 1250x1000x300mm.

4.13.4 Protecció corrent altern

Com s'ha explicat anteriorment el quadre de baixa tensió que és l'element que alberga les proteccions de la part de corrent altern a la sortida de l'inversor ve integrat dins e centre fotovoltaic integrat.

En l'apartat A.5 de l'annex del present document s'han realitzat els càlculs adients per assegurar que les proteccions utilitzades en el quadre de baixa tensió són les necessàries per la instal·lació.

Les proteccions que s'instal·laran en el quadre de baixa tensió seran un interruptor general manual i un fusible, ja que la seva interconnexió és més ràpida que la dels magnetotèrmics.

4.13.5 Tubs de protecció

En les canalitzacions per la safata Pensa el cable de secció 2,5 mm² anirà protegit, com ja s'ha explicat amb un aïllament de polietilè reticulat i coberta de policlorur de vinil. Aquest aïllament compleix amb la norma UNE-EN 50 086-2-3 i els criteris de la ICT-BT-21 per canalització aèria o tub a l'aire.

En el cas del tram entre la caixa connexió de primer nivell i la caixa segon nivell on el cablejat anirà sota la canaleta UNEX, es considerarà com a tub en canalitzacions encastades les característiques del tub compliran amb les normes UNE-EN 50 086-2-1 i UNE-EN 50 086-2-2 per aquest tipus de canalitzacions. En aquest cas seguint els requeriments imposats per la ICT-21-BT el diàmetre del tub serà 63 mm en el cas del conductor de 120 mm² i de 50 mm en el cas del cable de 95 mm².

Per últim, a l'entrada de l'inversor hi haurà un petit tram soterrat segons la ICT-BT-21, des de la sortida de la caixa general FV fins a la connexió de l'inversor aquests tram soterrat com seran 10 conductors de 120 mm² s'instal·larà un tub corrugat de diàmetre 200 mm.

Tant el pont de MT com el pont de BT ja disposa de les mesures de protecció adients normalitzades per la casa Ormazabal. Respecte a la sortida des del centre fotovoltaic fins al punt de connexió s'instal·larà un tub corrugat de protecció de diàmetre 225 mm.

4.14 Instal·lació posada a terra

La xarxa de terres de la planta consta de la posada a terra de dues connexions independents una de l'altre. Una serà la posada a terra del centre integrat fotovoltaic i l'altre de la xarxa de posada a terra general de la planta, que es farà amb cable nu repartit per la planta amb la secció especificada en el capítol 4.12.4 del present document.

En aquesta xarxa de terra última es connectaran les barres de terra dels quadres, les estructures metàl·liques, els suports, armadures, safates, etc. Aquesta xarxa de terres la denominarem "terra de protecció" mentre que la posada a terra del centre integrat la denominarem "terra de servei".

4.14.1 Terra de protecció

S'entén per terra de protecció la posada a terra de tota aquella peça conductora que no formi part del circuit actiu, però que en condicions de falla pot quedar energitzada. La seva finalitat és protegir a les persones de contacte perillosos. La configuració calculada és 70-25/5/42 (Veure annex).

4.14.2 Terra de servei

S'entén per terra de servei la posada a terra d'un punt d'alimentació, en el cas de la planta de generació fotovoltaica aquest punt serà el neutre del transformador. Amb configuració 5/32.

4.15 Punt de connexió

Com queda senyalitzat a la figura 33 a uns 150 m de la sortida del centre integrat es troba una línia de 20 kV que s'utilitzarà com a punt de connexió a la xarxa.

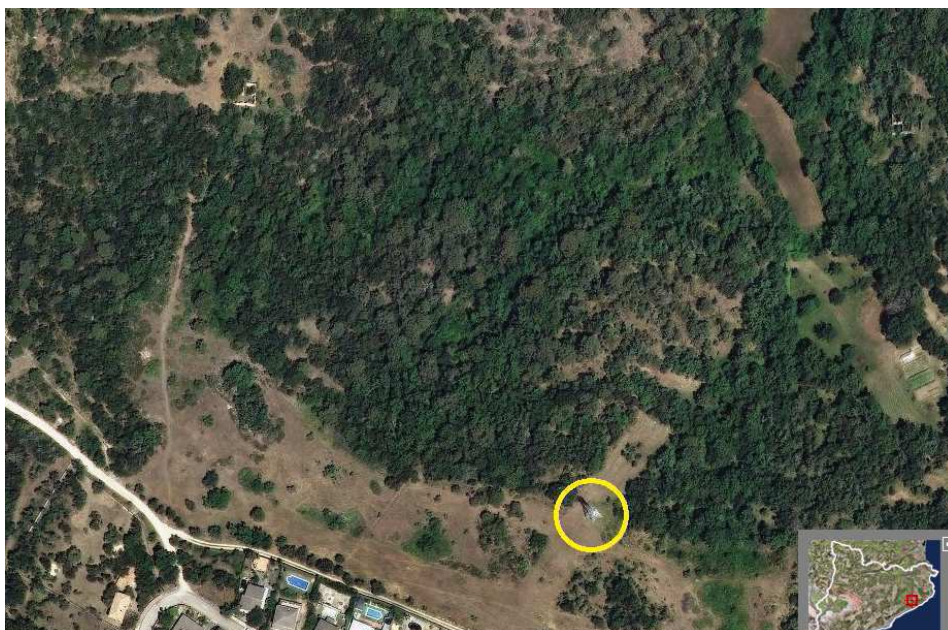


Figura 33 Localització torre 20 kV

La línia que transportarà la potència des del centre fins a la torre serà subterrània i tenint en compte que la xarxa en el punt de connexió té un subministra superior al doble de la potència de la planta fotovoltaica, per tant, no caldrà fer cap modificació en els elements d'aquesta.

Es seguirà la normativa imposada per Fecsa Endesa ja que la línia on s'injectarà la potència generada és propietat de Endesa Distribución.

El cablejat que surt del centre fotovoltaic integrat serà unipolar d'aïllament sec per una tensió d'aïllament de 18/30 kV i tindrà una secció de $3 \times 1 \times 240 \text{ mm}^2$ perquè és terreny agrícola.

Per realitzar el punt de connexió seran necessaris els elements que es poden observar a la figura 34. Els paràmetres elèctrics d'aquests elements venen imposats per la companyia elèctrica.

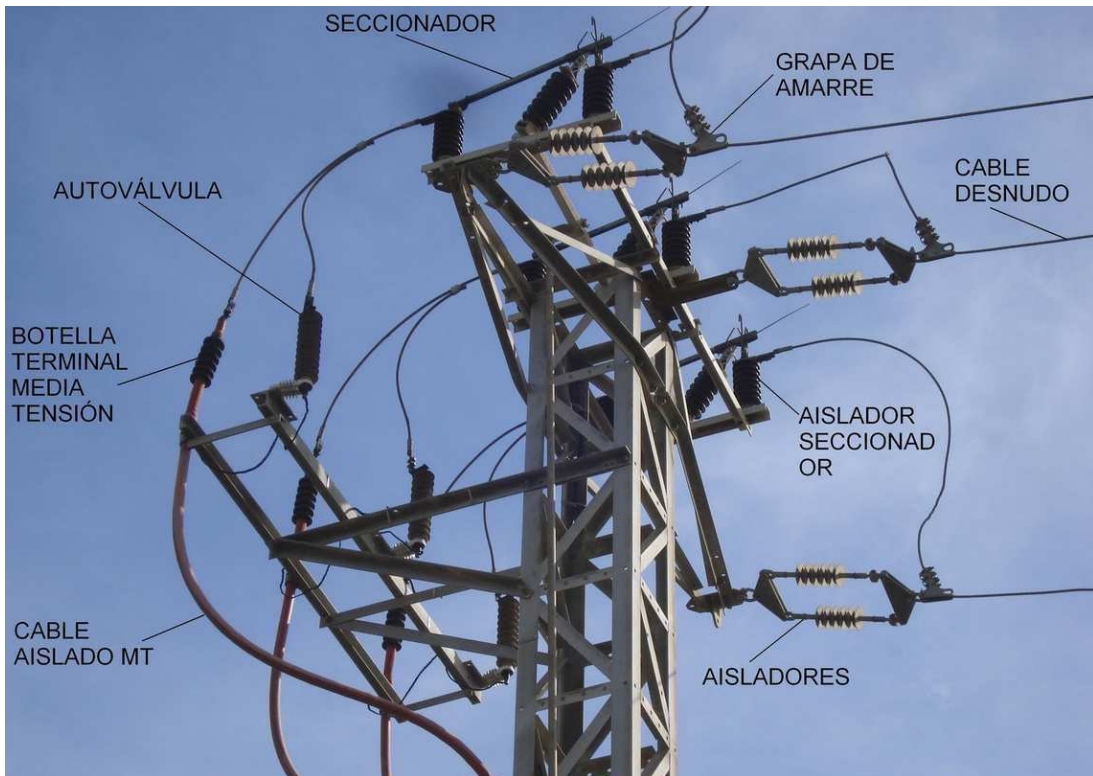


Figura 34 Elements de protecció punt de connexió

5 Obra civil

L'obra civil contempla diferents aspectes com el condicionament del terreny pel muntatge de les estructures i la realització de les rases per les canalitzacions a l'entrada i sortida del centre integrat.

També es tindrà en compte el moviment de terres necessari per a la col·locació del centre integrat fotovoltaic.

5.1 Tancament de la parcel·la

La superfície utilitzada per la instal·lació dels mòduls fotovoltaics i casetes d'inversors i transformadors quedarà vallada en tot el perímetre, deixant lliure el pas d'un vial, a més, la tanca quedarà separada dels elements de la planta per una distància mínima de quatre metres per permetre l'entrada d'un vehicle en cas que fos necessari.

La tanca serà de la casa Givasa amb descripció del model "valla de cerramiento". S'instal·larà sobre mur de formigó de 0,5 m i la tanca tindrà una altura de 1,730 m.

La col·locació de la tanca quedarà a càrrec de l'empresa subministradora.

5.2 Condicionament del terreny

A causa de l'ortografia del terreny, serà necessari realitzar treballs d'anivellar per preparar el terreny on s'instal·laran els panells fotovoltaics.

Es realitzaran els treballs de desbrossament i moviment de terres necessaris per a la correcta instal·lació dels mòduls fotovoltaics. Per l'anivellació del terreny s'utilitzaran les terres extretes de la mateixa parcel·la i es compactaran eliminant d'aquesta manera els espais buits i augmentant la densitat del terreny per evitar moviments de les terres no desitjats. Aquest procés es farà amb una retroexcavadora y una màquina amb corró de rodes pneumàtiques.

En la figura 35 es pot observar el desnivell existent a la parcel·la.

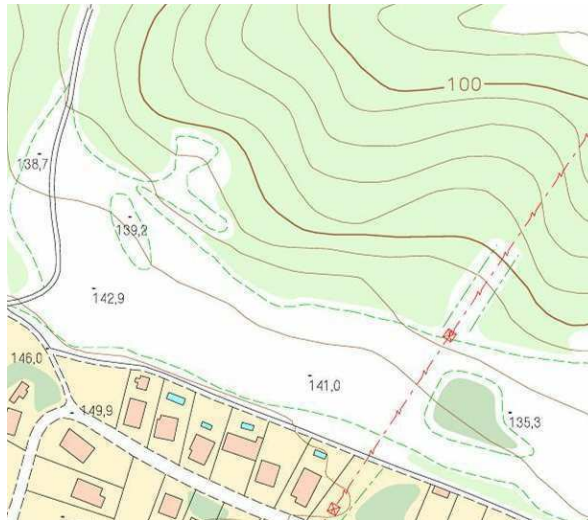


Figura 35 Desnivell parcel·la

Un cop realitzar l'anivellació del terreny i la compactació es col·locaren els suports de formigó on s'instal·laran les estructures dels mòduls solars fotovoltaics.

5.3 Canalitzacions

Les canalitzacions que s'hauran de fer en la instal·lació seran a l'entrada del centre integrat provinent de la caixa connexió FV i a la sortida del centre integrat de camí a la torre de 20 kV. Aquestes canalitzacions s'efectuaran mitjançant rases adequades al número i tipus de tub.

La profunditat de les rases serà de 0,7 m, presa des de la rasant del terreny fins a la part inferior del tub, a la sortida del centre integrat, es realitzarà la rasa de mitja tensió, aquesta serà formigonada per garantir la separació de la línia, a més es senyalarà amb cinta de color groc per avisar del perill.

5.4 Col·locació del Centre integrat fotovoltaic

5.4.1 Excavació

Es realitzarà l'excavació tal com indica l'empresa subministradora, els seus valors seran els següents.

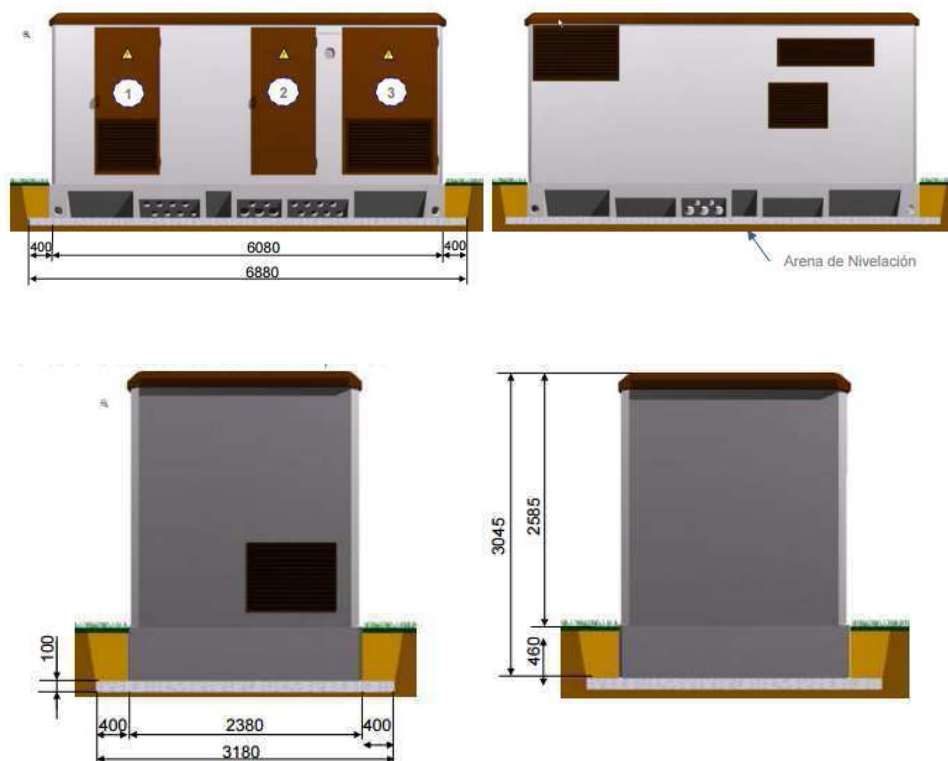


Figura 36 Distancies excavació

5.4.2 Tipus de terreny

El tipus de terreny de la parcel·la és considerat terreny dur, és un terreny ja assentat i degudament compactat per la mateixa naturalesa.

Seguidament a l'excavació es procedirà a estendre la zona d'assentament una capa de 100 mm aproximadament de sorra i es compactarà de forma que una persona pugui caminar sobre ella sense deixa petjada. Una vegada finalitzada la col·locació s'omplen els buits amb

sorra. El procediment a seguir en la realització de l'obra civil queda descrit en el document Plec de Condicions.

6 Previsió anual de producció elèctrica

Pel càlcul de la previsió anual de producció d'energia elèctrica s'han utilitzat les dades geogràfiques i climàtiques de la localització on instal·larem la planta de generació fotovoltaica. Aquestes dades s'han extret del llibre "Radiación Solar Sobre Superficies Inclinadas" que prové del Centre d'Estudis de l'Energia (Ministeri de Industria i Energia). En la taula 20 i taula 21 podem veure representats els següents valors.

Província:	Girona
Latitud del càlcul:	41,98
Latitud [°/min.]:	41,59
Altitud [m]:	95,00
Humitat relativa mitja [%]:	58,00
Velocitat mitja del vent [km/h]:	5,00
Temperatura màxima estiu [°C]:	33,00
Temperatura mínima hivern [°C]:	-3,00
Variació diürna:	10,00
Graus- dia. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	873
Graus- dia. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	939

Taula 20 Dades Geogràfiques

Meses	T ^a . mitja ambient [°C]:	Rad. horiz. [kJ/m ² /día]:	Rad. horiz. [kWh/m ² /día]:	K
Gener	7,10	7.238	2,01	1,35
Febrer	8,40	10.204	2,83	1,27
Març	11,10	13.624	3,78	1,18
Abril	13,40	15.958	4,43	1,08
Maig	16,80	17.958	4,99	1,01
Juny	20,70	17.070	4,74	0,99
Juliol	23,50	22.052	6,13	1,02
Agost	23,30	18.058	5,02	1,09
Sept.	20,90	13.652	3,79	1,21
Oct.	16,00	10.632	2,95	1,35
Nov.	11,30	7.400	2,06	1,44
Des.	8,00	5.600	1,56	1,42
Anual	15,0	13.287	3,69	

Taula 21 Dades Climàtiques

Pel càlcul de la radiació s'han utilitzat els valors representats en la taula 22

Paràmetre	Símbol	Unitat	Valor
Inclinació òptima en funció del període de disseny	β_{opt}	Graus	31,98
Angle d' Azimut	α_r	Graus	0
Angle d'inclinació respecte a l' horitzontal del mòdul solar (0 a 90°)	β_r	Graus	32
Factor d'Irradiació	FI	-	1,000
Percentatge de radiació incident en el pla, ja orientat e inclinat	-	%	100,00
Percentatge de pèrdues de radiació per orientació e inclinació	POI	%	0,00
Percentatge d'ombres segons metodologia de càlcul	PS	%	10,00
Factor d'ombres	FS	-	0,900
Total pèrdues orientació e inclinació + pèrdues per ombres	POI+PS	%	10,00

Taula 22 Paràmetres Generals

La instal·lació està feta sobre terra i no tenim cap tipus de restricció a escala arquitectònica, per tant, la inclinació dels panells serà de 32 graus apropant-la al màxim del valor òptim d'inclinació per aquesta zona. Respecte a la seva orientació, els panells seran instal·lats amb una orientació Sud. Aquesta orientació equival a un angle d'azimut de valor 0°.

Els altres valors considerats en pèrdues han sigut establerts seguint les consideracions del plec de condicions per instal·lacions fotovoltaïques connectades a xarxa de IDAE.

Per explicar d'una forma més senzilla la utilització dels diferents valors a l'hora de calcular la producció energètica de la instal·lació s'adjuntaran les taules amb els paràmetres fets servir pel càlcul final.

Marca y modelo	ESF-130MA		
Potència nominal	P_{MAX}	Wp	300
Tolerància	Tol	%	5
Tensió nominal en el punt màxima potència	V_{MPP}	V	37,87
Tensió màxima en circuit obert	V_{OC}	V	44,78
Corrent nominal en el punt de màxima potencia	I_{MPP}	A	7,92
Corrent de curtcircuit	I_{SC}	A	8,48
Tonc	TONC	°C	45

Taula 23 Dades del mòdul solar

Marca i model	SCHENEIDER GT-100		
Potència nominal	P_{NOM}	W	520.000
Potència màxima CC en camp solar	$P_{CC MAX}$	W	500.000
Potència mínima CC en camp solar	$P_{CC MIN}$	W	600.000
Tensió màxima CC en operació en el camp solar	$V_{CC MAX}$	V	825
Tensió mínima CC en operació en el camp solar	$V_{CC MIN}$	V	425
Tensió màxima en circuit obert CC en el camp solar	$V_{OC MAX}$	V	1.000
Intensitat màxima CC en operació en el camp solar	$I_{CC MAX}$	A	1.250
Rendiment màxim	η_{MAX}	%	97

Taula 24 Dades del Inversor

Paràmetre	Símbol	Unitat	Valor
Nombre de mòduls en sèrie	-	Uds	16
Tensió por rama en punto de màxima potència	$V_{MPP\ MAX\ R}$	V	606
Tensió en circuit obert de la branca	$V_{OC\ MAX\ R}$	V	716
Corrent por rama en el punto de màxima potència	$I_{MPP\ MAX\ R}$	A	7,92
Corrent de curtcircuit per branca	$I_{CC\ MAX}$	A	8,48
Potència per branca	P solar rama	kWp	4,8
Nombre de branques en paral·lel	-	Uds	125
Potència del camp solar per cada inversor	$P_{SOLAR\ /INV}$	kWp	600
Corrent màxima d'entrada al inversor	$I_{MAX\ INV}$	A	1.060
Nombre de grups. (Conjunt inversor i branques com els projectats)	-	Uds	1
Potència total instal·lada en camp solar (Suma de la instal·lada per grup)	$P_{SOLAR\ ICR}$	kWP	600
Potència nominal de instal·lació	$P_{NOM\ ICR}$	kW	500

Taula 25 Configuració de la instal·lació

Paràmetre	Símbol	Unitat	Valor
Pèrdua per dispersió en mòduls	A1	%	5
Pèrdua per presència de pols i brutícia sobre mòduls solars	A2	%	2,00
Pèrdua per reflectància angular y espectral en els mòduls solars	A3	%	2,00
Total pèrdues en el generador	A	%	9
Pèrdues en el cablejat DC	B	1,5 %	0,98
Pèrdues en el cablejat AC	C	2 %	0,98
Pèrdues per disponibilitat	D	5 %	0,95
Pèrdues per rendiment del inversor	E	-	0,966
Pèrdues en seguiment del PMP	F	5 %	0,95

Taula 26 Càlcul de pèrdues

Resultats

Mes	$G_{dm}(0)$	K	$G_{dm}(\alpha_r, \beta_r)$	PR	Ep 1 kWp	Ep' 1 kWp	Ep ICR	Ep' ICR	Guany
Uds	kWh/(m ² dia)	-	kWh/(m ² dia)	%	kWh/dia	kWh/mes	kWh /dia	kWh /mes	Euros/mes
Gener	2,01	1,36	2,73	75,09	2,05	63,648	1.231,89	38.188,55	2.100,37 €
Febrer	2,83	1,28	3,63	74,28	2,69	75,460	1.616,99	45.275,80	2.490,17 €
Març	3,78	1,19	4,50	72,23	3,25	100,842	1.951,79	60.505,50	3.327,80 €
Abril	4,43	1,09	4,83	72,26	3,49	104,749	2.094,98	62.849,35	3.456,71 €
Maig	4,99	1,02	5,09	69,97	3,56	110,371	2.136,21	66.222,58	3.642,24 €
Juny	4,74	1,00	4,74	68,64	3,25	97,647	1.952,95	58.588,44	3.222,36 €
Juliol	6,13	1,02	6,25	68,00	4,25	131,711	2.549,24	79.026,32	4.346,45 €
Agost	5,02	1,10	5,52	68,72	3,79	117,538	2.274,93	70.522,79	3.878,75 €
Setembre	3,79	1,23	4,66	70,31	3,28	98,383	1.967,66	59.029,67	3.246,63 €
Octubre	2,95	1,37	4,05	72,52	2,93	90,954	1.760,40	54.572,50	3.001,49 €
Novembre	2,06	1,46	3,00	74,31	2,23	66,907	1.338,14	40.144,16	2.207,93 €
Desembre	1,56	1,44	2,24	75,20	1,68	52,217	1.010,66	31.330,48	1.723,18 €

Total	666.256,13	36.644,09
-------	------------	-----------

Taula 27 Resultats Producció energètica

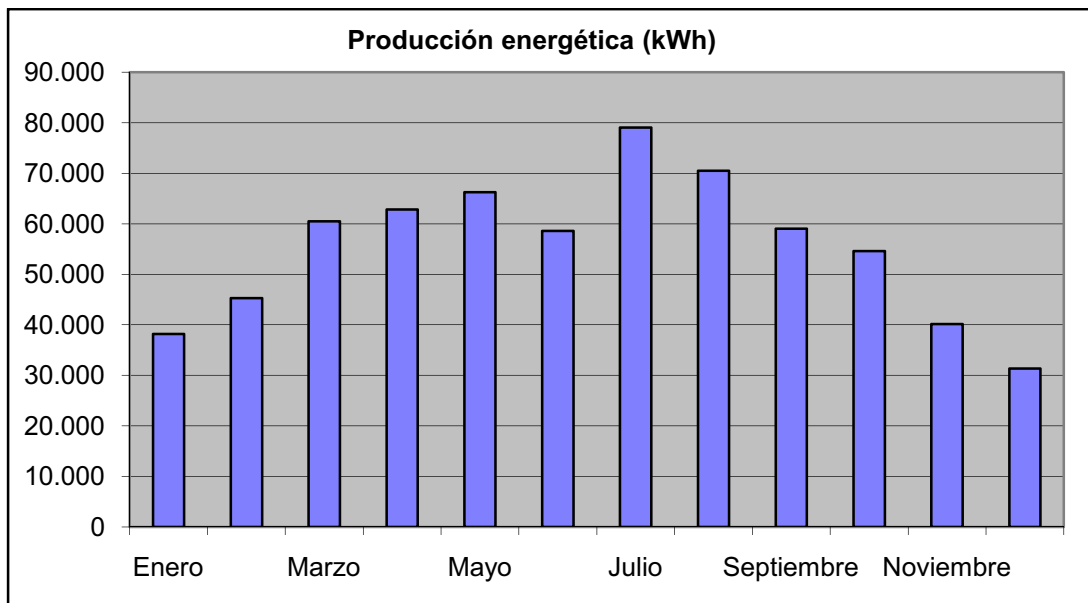


Figura 37 Producció energètica

7 Estat actual d'energia elèctrica fotovoltaica

7.1 Introducció

Actualment la situació econòmica de la fotovoltaica és la següent. Aquestes instal·lacions han passat de representar quasi el 100% de les instal·lacions realitzades en Espanya a significar un terç del total instal·lat en el país per any quant estava en vigor el RD 1578/2008. El RDL 1/2012 va imposar una moratòria per les noves instal·lacions de fotovoltaica que es realitzessin connectades a xarxa, aquestes no obtindrien cap prima per la seva producció, només obtindrien retribució aquelles instal·lacions FV ja aprovades prèviament en el preenregistrament i que estaven en termini de ser instal·lades. Instal·lacions fotovoltaïques a terra només es poden realitzar connectades a xarxa obtenint el preu de l'energia de mercat, el pool més unes retribucions específiques que més tard explicarem. De totes maneres, d'ençà que es va establir la moratòria no s'han instal·lats nous sistemes fotovoltaïcs a terra. Aquest segment està pràcticament aturat a Espanya. Es creu però, que en un futur pròxim, la venda d'energia fotovoltaica a preu de mercat elèctric serà competitiva a Espanya.

Un cop explicat això en centrarem a explicar el mercat de l'energia és a dir el pool i d'aquesta manera entendre quin és el preu que rebrà la nostra generació elèctrica. A més, s'explicarà el nou sistema de finançament i es realitzarà l'estudi de viabilitat econòmica tenint en compte el règim de retribució específica contemplat en el nou RD 413/2014.

7.2 Dèficit tarifari elèctric

Per analitzar els diferents canvis que han patit les lleis que regulen les instal·lacions de plaques fotovoltaïques primer de tot s'explicarà que és el dèficit tarifari elèctric.

El més lògic seria pensar que la definició de dèficit tarifari del sector elèctric és la diferència entre els costos a les empreses elèctriques i els ingressos obtinguts a través de les tarifes regulades que paguen els consumidors però aquesta definició no és del tot correcta. La definició correcta seria, el dèficit tarifari és la diferència entre els costos de l'electricitat reconeguts per les normes regulatòries i les tarifes regulades que paguen els consumidors. La diferència entre les dos definicions és la referència a costos reconeguts. És precisament

en el concepte costos reconeguts on es troba el problema perquè com no es troben auditats enlloc, no es pot conèixer fins a quin punt els costos reconeguts són raonables o no.

El dèficit tarifari elèctric comença a crear-se a partir del 2005 i s'ha de dividir en dos parts ben diferents. La primera part està entre 2005 i 2009 on el govern fixa una sola tarifa per tots els costos reconeguts per les elèctriques. Per tant, això significa que quan aquesta tarifa no pot assumir els costos es genera un dèficit. A més, a partir del 2005 el mercat elèctric passa de cotitzar el MW/h a uns 30€ a 50€ com no hi ha cap canvi en la tarifa regulada que hem anomenat anteriorment el dèficit s'incrementa a mesura que passen els anys.

La segona fase és a partir del 2009, quan el govern decideix eliminar la tarifa regulada i dividir el mercat en mercat liberalitzat i mercat regulat. Arbitràriament, l'estat imposa que el mercat liberalitzat, es a dir, els generadors o comercialitzadors hauran de cobrar primer que els actors del mercat regulat això crearà un dèficit de manera totalment arbitrària sobre aquest mercat que assumirà l'estat.

A més, actualment no existeix cap tipus d'auditoria de costos que representi si els costos presentats per les elèctriques són reals o no.

El tribunal suprem ha vinculat el dèficit de tarifa a les multimilionàries compensacions que van rebre les grans companyies elèctriques en els primers anys de liberalització pels denominats costos de transició a la competència.

7.3 Desenvolupament sistemes de retribució per centrals fotovoltaïques connectades a xarxa

Per entendre el punt on estan les retribucions a la fotovoltaica actualment s'explicarà els diferents canvis que ha obtingut aquesta tecnologia des de principis de segle fins a l'actualitat. Cal especificar, que no s'han explicat tots i cadascun dels canvis regulatoris que hi ha hagut, si no els que han tingut una rellevància més important. Un dels factors que caracteritza aquest sector són els continus canvis a nivell regulatori. Farem un repàs a les lleis que han regulat aquest sector en els últims 20 anys.

El 27 de novembre de 1997 s'aprova la Llei 54/1997, aquesta llei regula les activitats i el règim jurídic del sector elèctric (generació, transport, distribució, comercialització i intercanvis intracomunitaris i internacionals i la gestió econòmica i tècnica del sistema elèctric). Aquesta llei defineix per primera vegada les instal·lacions en règim especial i estableix els seus drets i obligacions.

El 29 de setembre del 2000 s'aprova el Reial Decret 1663/2000 en el qual es recull el procediment d'inclusió d'una instal·lació fotovoltaica d'energia elèctrica en el règim especial o les condicions dintre de l'energia elèctrica produïda en baixa tensió. Aquest decret determina que la connexió en baixa tensió serà aquella que no superi 1 kV i per tant, alta tensió, serà superior a 1kV.

El 31 de maig del 2001 mitjançant aquesta resolució s'estableix el model de contracte tipus, la factura i l'esquema unifilar per instal·lacions fotovoltaïques connectades a xarxa en baixa tensió.

El 12 de març s'aprova el Reial Decret 436/2004 que estableix la metodologia per l'actuació i sistematització del règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.

El 17 de març s'aprova el Reial Decret 314/2006 aquest decret inclou el "Código Técnico de la Edificación" el qual estableix un marc normatiu d'exigències bàsiques de qualitat, seguretat i habilitat i sostenibilitat econòmica i energètica pels edificis de nova construcció i rehabilitació dels existents. L'estructura del codi alberga una sèrie de documents bàsics que recullen exigències que hauran de complir els edificis. Aquest recull de documents bàsics s'anomena "Documento Básico de Ahorro de Energía" i exigeix una contribució mínima d'energia elèctrica a través de les renovables.

El 25 de maig del 2006 entra en vigor el Real Decret 661/2007 aquest decret canviarà considerablement el creixement de les fotovoltaïques en l'estat espanyol. Un cop aprovat aquest decret deroga l'anterior normativa que regulava el règim econòmic de l'activitat en règim especial (436/2004), i estableix els seus propis. Els aspectes més importants introduïts per aquest Reial Decret són els referits als procediments administratius i algunes novetats en el règim econòmic. S'estableixen les tarifes recollides a la taula 28

Potència	Termini	Tarifa regulada (c€/kWh)
P ≤ 100 kW	Primers 25 anys	44,0381
	Mes de 25 anys	35,2305
100 kW < P < 10 MW	Primers 25 anys	41,7500
	Mes de 25 anys	33,4000
10 < P ≤ 50 MW	Primers 25 anys	22,9764
	Mes de 25 anys	18,3811

Taula 28 Retribucions fotovoltaica RD 661/2007

També el reial decret contemplava una classificació de les instal·lacions fotovoltaïques que es classificaven dins la categoria b, dividida en 8 subgrups. En el nostre cas l'energia que només utilitza la radiació solar com energia primària mitjançant la tecnologia fotovoltaica pertany el grup b.1.1.

En l'any 2010 l'estat es dona compte que les instal·lacions fotovoltaïques estan creixent a nivell molt alt i el 19 de novembre d'aquest any presenta el Reial Decret 1565/2010 en el que es regulen i modifiquen alguns aspectes determinats del 661/2007 respecte a la producció d'energia elèctrica en regim especial. De totes maneres, les retribucions a les fotovoltaïques seguiran sent importants fins a l'any 2012.

El 27 de gener del 2012 entrava en vigor el Reial Decret 1/2012, el qual es procedia a la suspensió dels procediments de preassignació de retribució i a la supressió dels incentius econòmics per noves instal·lacions de producció d'energia elèctrica en regim especial. El Reial decret justifica la suspensió temporal dels incentius des del punt de vista tècnic, diu que les energies renovables van superar en 2010 els objectius potencials instal·lats en el pla d'energies renovables 2005-2010 per energies règim especial. També ho justifica parlant del dèficit tarifari i la necessitat de reduir el desequilibri entre els costos de producció i el valor de les primes disminuint el cost públic i el dèficit tarifari.

Textualment el reial decret indica "la capacitat de generació instal·lada en aquests moments és suficient per assegurar la cobertura de la demanda prevista pels pròxims anys".

I per tant, el reial decret suprimeix el següent:

Suspensió dels incentius econòmics per les noves instal·lacions.

Es suprimeix els valors de les tarifes regulades, primes i límit previstos en el RD 661/2007.

Es suprimeix els complements per eficiència i per energia reactiva.

Suspensió del procediment de preassignació de retribució, queda suspès el procediment d'inscripció en el Registre de preassignació de retribució.

El 13 de juliol de 2013 s'aprova el Reial Decret 9/2013 el qual estableix mesures urgents per garantir l'estabilitat financera del sistema elèctric. Des de 2012 el govern aprova una gran quantitat de reformes regulatòries en el sector elèctric amb el caràcter objectiu d'eliminar el dèficit tarifari en 2013, s'adopten una sèrie de mesures de caràcter urgent.

Aquestes mesures són les següents:

Es crea el registre de règim retributiu específic, aquest règim estableix unes obligacions i dret d'instal·lació del règim especial. També, deroga definitivament el RD 661/2007, però queda vigent temporalment fins que s'aprovi un nou reial decret que regularà les condicions del nou regim jurídic i econòmic de l'activitat de producció a partir de generació en regim especial.

S'elimina la bonificació per energia reactiva.

El nou sistema retributiu estarà basat en el preu de mercat que es complementarà amb una retribució específica composta per un terme per unitat de potència que cobreixi quan toqui els costos d'inversió de manera que permeti una rendibilitat raonable, i una retribució variable que compensarà, en el seu cas, la diferència entre els costos d'explotació i els ingressos per la participació en el mercat.

Neix el terme “Rentabilidad Razonable” que estableix com a valor mitjà (últims 10 anys a l’entrada en vigor del present RD 9/2013) de les obligacions del Tresorer a 10 anys més un diferencial de 300 punts (el resultat seria una rendibilitat abans d’impostos del 7,5 %). Aquesta mesura afecta molt negativament a projectes antics que poguessin haver superat aquest nou criteri de “rendibilitat raonable”.

Pel càlcul de la retribució específica que permeti una rendibilitat raonable es considerarà per una instal·lació tipus, al llarg de la seva vida útil regulatòria i en referència a l’activitat realitzada per una empresa eficient i ben gestionada el següent:

El preu de mercat (pool).

Cost d’inversió.

Cost estàndard d’explotació.

I per últim. S’estableix el registre administratiu d’autoconsum d’electricitat on s’hauran d’inscriure les instal·lacions destinades a l’autoconsum.

Finalment el 10 de juny de 2014 es publica en el bolletí oficial de l’estat el reial decret 413/2014 el qual regula l’activitat de producció d’energia elèctrica a partir de fonts d’energia renovable, cogeneració i residus.

Segons es descriu en l’exposició de motius del Reial Decret, la ràpida superació dels objectius d’implantació de tecnologies de producció d’electricitat a partir de fonts d’energia de règim especial fa que sigui indispensable una estricta aplicació del principi rendibilitat raonable i sostenibilitat financera del sistema elèctric.

Amb aquesta mateixa finalitat es va aprovar el Reial Decret explicat anteriorment 9/2013. Tot allò esmentat anteriorment en aquestes normes s’estableix definitivament el nou règim jurídic i econòmic per les instal·lacions de producció d’electricitat en el Reial Decret 413/2014.

De forma resumida s’intentarà destacar les següents qüestions del nou marc econòmic:

Les instal·lacions es classificaren en instal·lacions tipus (en funció de la seva tecnologia, potència, antiguitat, etc.) Les instal·lacions tipus rebran una retribució per la venda de l'energia valorada a preu de mercat i en el seu cas una retribució addicional pels costos d'inversió (Rinv) i d'operació (Ro) no cobert pel preu de mercat.

La rendibilitat raonable només s'estableix per instal·lacions existents, i aproximadament té un valor d'uns 7,398%.

Hi haurà les següents revisions del marc econòmic: (i) anualment es revisaran els valors de retribució a l'operació per a tecnologies els costos d'explotació depenguin essencialment del preu del combustible; (ii) cada tres anys, es podran revisar les estimacions d'ingressos estàndard de les instal·lacions tipus per la venda d'energia al preu de mercat, així com els paràmetres retributius directament relacionats; i (iii) cada sis anys, i llevat la vida útil reguladora i el valor estàndard de la inversió inicial, podran modificar tots els valors dels paràmetres retributius i les seves definicions, així com el valor sobre el qual girarà la rendibilitat raonable.

El primer semiperíode regulatori (tres anys) comprèn des del 14 de juliol de 2013 al 31 de desembre de 2016 i el primer període regulatori (sis anys) del 14 de juliol de 2013 al 31 de desembre 2019.

Si és el cas, per atorgar el règim retributiu específic de noves instal·lacions s'utilitzaran procediments de concurrència competitiva (a regular mitjançant Reial Decret), i els paràmetres retributius de les instal·lacions tipus de referència objecte d'aquests procediments es fixaran per Ordre Ministerial.

Respecte de les instal·lacions existents, els seus nous paràmetres retributius (per a cada instal·lació tipus, i en funció de la tecnologia, potència, antiguitat, sistema elèctric i qualsevol altra segmentació que es consideri necessària) i la seva nova remuneració corresponent (aplicable des del 14 de juliol del 2013) es determinaran en una Ordre pendent d'una propera aprovació pel Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme, previ acord de la Comissió Delegada del Govern per a Assumptes Econòmics.

A continuació s'explicarà com realitzar el càlcul de la retribució específica i assignació de la instal·lació tipus d'acord amb al que s'ha exposat anteriorment seguint el decret 413/2014.

Resumin el que s'ha exposat anteriorment el reial decret 413/2014 deroga tots els decrets anteriors en els que s'indicava els procediments per la concessió del dret a retribució (RD661/2007, RD 1578/2008) i el límit d'hores que estava imposat per el RDL 14/2010. També s'elimina complements retributius, com energia reactiva. No es modificaren els decrets on s'inclou el peatge d'accés (RD 1544/2010 ni el d'impost que dedueix un 7% de la producció anual (Llei 15/2012).

Per tant, per calcular la retribució anual es sumen tres conceptes:

Ingressos per la venda de l'energia generada valorada al preu de mercat (pool).

Costos d'explotació estàndard necessaris per realitzar l'activitat (R_o).

Valor de la inversió inicial de la instal·lació (Retribució a la inversió (R_{inv})).

En funció d'uns valors d'inversió inicial i costos d'explotació calculats pel govern segons les característiques de cada instal·lació (tipus, ubicació, any de posada en marxa, etc.) s'assignen uns valors a aquests conceptes de forma que, segons el govern, les instal·lacions obtinguin un rendibilitat d'uns 7,39%.

El canvi retributiu inclou unes clàusules que el generador haurà de complir que són les següents:

S'estableix màxim de producció, per sobre d'aquest valor la producció es cobrarà a preu de mercat.

S'estableix un mínim de producció. Si la instal·lació produeix entre el mínim i el màxim cobrarà tant el pool com la retribució a l'operació i la retribució a la inversió.

S'estableix un Umbral de producció si la instal·lació produeix entre el llindar i el mínim es multiplicarà R_o i R_{inv} per un coeficient segons l'equació.

Per sota d'aquest Umbral de producció no es rebrà cap retribució específica i només es cobrarà el preu de mercat.

Per últim, comentar que també s'estableix vida útil de les instal·lacions fotovoltaïques i que aquestes només rebran retribució durant els 30 anys de vida útil.

Aquesta nova mesura afecta a totes aquelles instal·lacions de règim especial, aquestes retribucions econòmiques només s'aplicaren a instal·lacions ja existents com s'especifica en el BOE 413/2014. Per noves instal·lacions es convocaren subhastes que establiren nous projectes tipus amb les seves característiques pròpies que faran que aquelles futures instal·lacions que no són rendibles es puguin acollir en aquestes retribucions.

El problema d'aquesta última mesura és que els inversors no podran fer un estudi de viabilitat econòmica utilitzant els números que s'estableixen en aquest decret. Això, farà que els inversors no inverteixin en un mercat incert, ja que només hauran d'utilitzar els valors del pool, i aquest mercat no garanteix un preu fixa i per tant és impossible calcular de forma precisa els anys d'amortització d'una planta de generació fotovoltaica. En definitiva, aquest decret ha sigut realitzat per tallar definitivament les inversions a les energies en regim especial, perquè segons el govern la potència instal·lada en aquestes tecnologies són superiors a les previsions realitzades fa uns anys.

7.4 Mercat elèctric (Pool)

7.4.1 Introducció

Com s'ha explicat en l'apartat anterior a causa de l'última reforma aplicada pel govern per fer l'estudi de viabilitat econòmica de la planta de generació fotovoltaica haurem d'utilitzar només els valors de l'energia que marca el mercat elèctric (Pool).

En aquest apartat es farà una explicació de com funciona aquest mercat elèctric, qui s'encarrega de gestionar-ho i quins són els problemes que segons el meu criteri ocasiona aquesta organització de mercat.

7.4.2 OMIE i cassació

OMIE és l'encarregat de gestionar el mercat al por major d'electricitat en la Península Ibérica. Com qualsevol altre mercat, el mercat de l'electricitat, permet la compra i la venda d'electricitat entre productors, consumidors, comercialitzadores, etc. Aquest mercat es pot dividir en dos submercats, el mercat diari i el mercat interdiari.

En el mercat diari els preus de l'electricitat es fixen diàriament per cada dia de l'any a les 12.00 hores per les 24 hores de l'endemà. El preu i el volum d'energia en una hora determinat s'estableix per l'encreuament entre l'oferta i la demanda seguint el model marginalista adoptat per la UE. El mercat diària té com a objectiu fer les transaccions d'energia elèctrica pel dia següent mitjançant la prestació d'ofertes de venda i adquisició d'energia elèctrica per part dels agents de mercat.

Aquest model marginalista és el següent, horàriament i per cada una de les sessions, OMIE ordena les ofertes rebudes de menor a major preu per la venda i de major a menor preu per la compra, sent el preu inferior 0 i el preu superior o màxim 180,3 €/MWh. El resultat gràfic seria dues corbes on l'eix de les X és l'energia i l'eix de les Y és el preu. La cassació es realitza de manera marginalista, ja que on es creuen les corbes s'estableix el preu de cassació per aquella hora i sessió, el qual tindrà la compra i les unitat que hagin quedat per sota i per sobre respectivament del valor per tota l'electricitat contractada. A continuació tenim una gràfica exemple extreta de la pagina oficial de OMIE (figura 38).

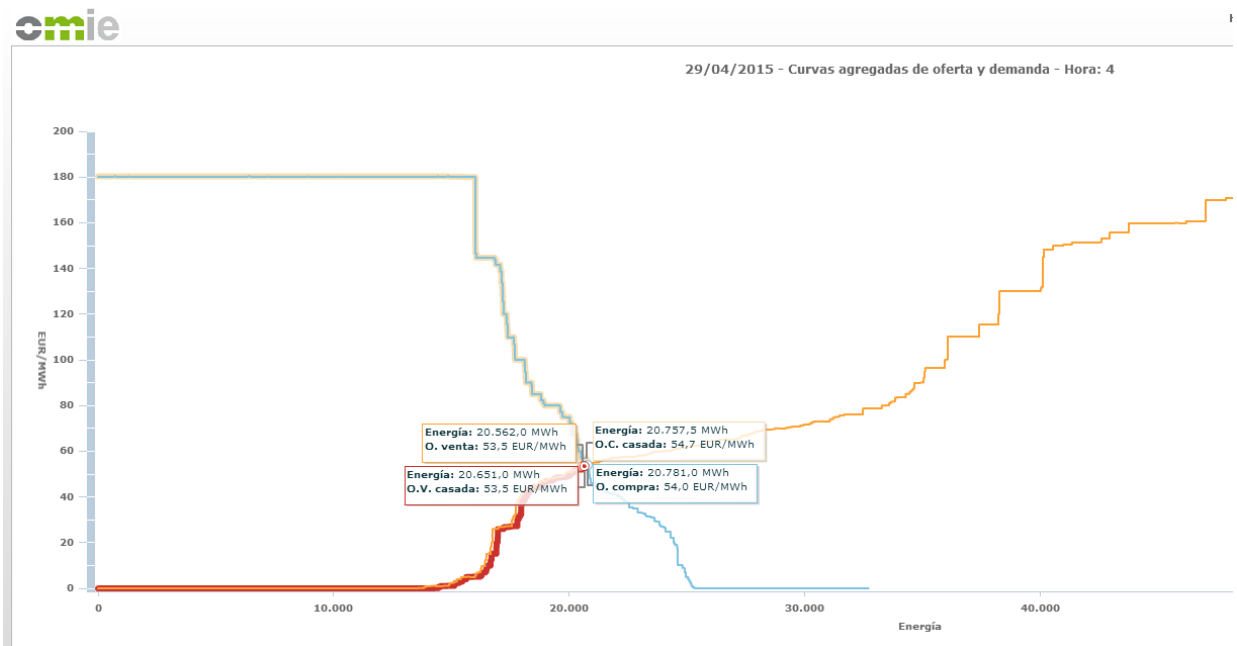


Figura 38 Exemple de cassació

El problema d'aquest sistema de cassació segons el meu criteri, és que la valoració de l'energia elèctrica no s'ajustarà realment el cost que té. En el cas de les renovables i nuclear venen a preu 0, per les seves característiques tècniques, les nuclears per la seva baixa capacitat de parada i les renovables per la seva incapacitat d'emmagatzematge d'energia.

Per tant, les que establiran el preu d'energia elèctrica seran els altres productors d'energia. Aquests, consideraran els costos de generació i d'oportunitat i per tant podran donar lloc a situacions d'especulació financera.

A més, el preu que definitivament s'estableix no té el mateix marge de benefici per les diferents instal·lacions.

8 Estudi de viabilitat econòmica

8.1 Venta d'energia elèctrica

A continuació es realitzaren els càlculs oportuns per realitzar l'estudi de viabilitat econòmic de la instal·lació solar fotovoltaica.

En aquest apartat s'analitzaran els costos que tindria una instal·lació com la que s'ha dissenyat al portar-la a la pràctica. S'han valorat els costos depenent d'unes característiques determinades que s'explicaren a continuació.

Es presentarà el pressupost d'inversió per la instal·lació, els ingressos de l'electricitat generada, els costos que implica el seu manteniment, període de recuperació de la inversió (payback), així com el VAN i el TIR, a més del balanç de la situació i el compte de pèrdues i guanys totals.

Descripció	Import (€)
Material elèctric	608.891,84
Material mecànic	145.563,37
Treball	10.513,63
TOTAL instal·lació sense IVA	765.718,85

Taula 29 Resum pressupost

Sabent el preu total de la instal·lació podem establir que el preu que ens costa instal·lar un W. Aquest valor és important per valorar si som competitiu o no. El resultat és de 1,27 €/W, podem considerar que estem dintre d'uns marges raonables, ja que es considera que una bona instal·lació actualment a d'estar al voltant del € el watt instal·lat. Tot seguit s'ha realitzat un gràfic per visualitzar la distribució dels preus en percentatge per les diferents parts que formen el pressupost.

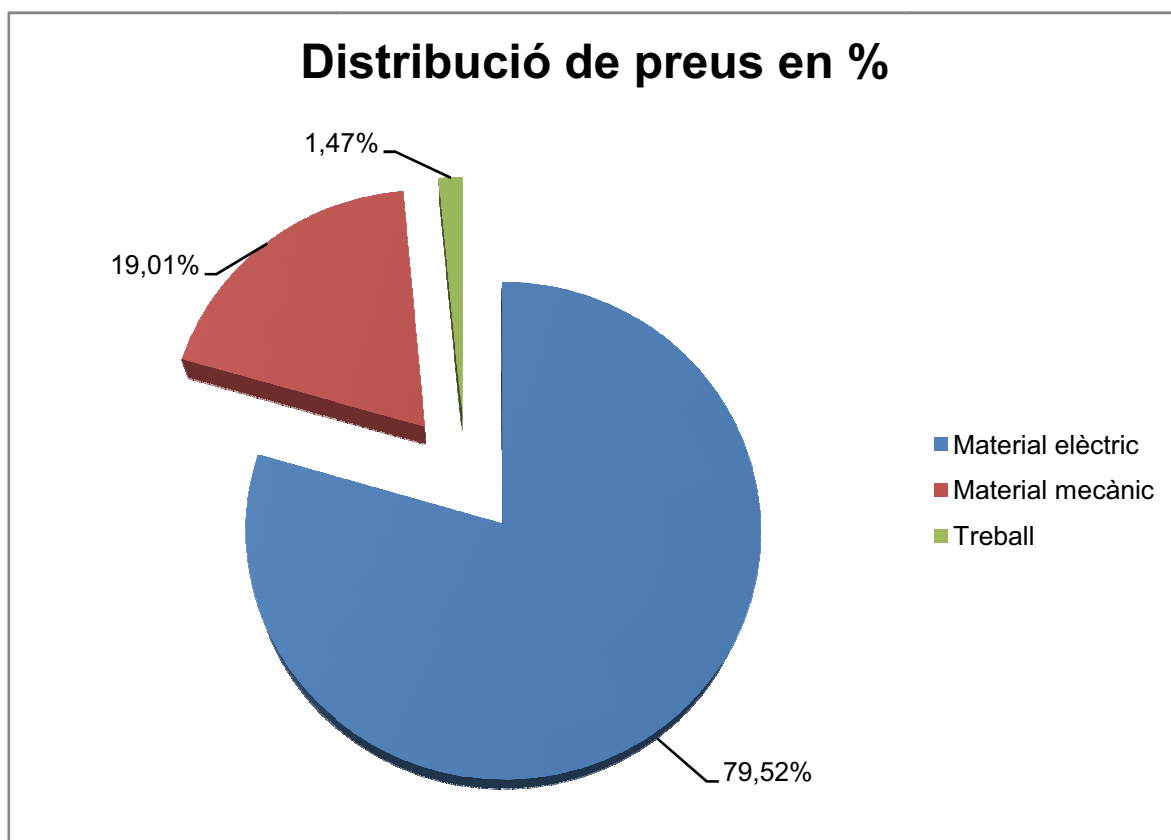


Figura 39 Distribució dels preus

Com es pot observar, de forma destacable, el més important de la instal·lació fotovoltaica són els dispositius elèctrics que suposen el 79,52 % del preu de la instal·lació. Com queda representat tant en el document d'estat d'amidament com en el pressupost, per material elèctric s'entén tots aquells elements que formen el generador fotovoltaic.

A continuació s'explicarà detalladament com s'ha realitzat l'estudi de viabilitat econòmica,

Per realitzar l'estudi de viabilitat analitzarem la vida útil dels mòduls fotovoltaics (30 anys). Per calcular els ingressos per venda d'energia s'han tingut els següents aspectes bàsics, energia produïda a l'any, preu de venda de l'energia, evolució del IPC i per últim la degradació dels mòduls fotovoltaics. D'aquesta manera tindrem una aproximació molt més real que si només féssim servir el preu inicial de la inversió.

Tot seguit s'explicaran cadascun d'aquests aspectes.

L'energia produïda en un any kWh/anuals tenint en compte les diferents pèrdues que pugui tindre la instal·lació. L'energia produïda per la planta ha sigut explicada en l'apartat 6 de l'actual document, s'utilitzarà aquest valor. Aquests queda representat en la taula 27 i ascendeix a 666.256,13 kWh/anuals el primer any.

El preu de venda de l'energia que com s'ha explicat en l'apartat 7 l'estat de les fotovoltaïques actualment, utilitzarem només el preu de l'energia elèctrica segons marqui el pool. Per fer-ho considerem un augment del preu de l'energia al llarg dels anys proporcional a l'evolució del IPC. Aquests valor és orientatiu, ja que no podem assegurar un increment o disminució del preu de l'energia.

L'evolució del IPC pel càlcul de l'increment de la tarifa. Calcular l'increment en la tarifa elèctrica és molt difícil depèn de molts factors. A l'any 2014 el IPC definitiu va ser de -1% això precedia una disminució del preu de l'energia però per contra va pujar per això és difícil establir un preu.

En realitat, la distribuïdora elèctrica ens realitzaria el càlcul del IPC de forma mensual per el pagament de l'energia generada per la instal·lació. En el estudi per facilitar els càlculs, es farà de forma anual i es mantindrà un IPC lògic de un 2% per tota la vida útil. No significa que aquest valor sigui constant però si es una bona forma de tindre una referència per poder calcular l'amortització del projecte.

La degradació dels mòduls fotovoltaics queda determinada pel fabricant. Segons el fabricant els nostres panells fotovoltaics, la pèrdua d'eficiència serà del 0,05% fins l'any 9, 2% del 10 al 24 i del 5% a partir del 25.

És important tindre en compte aquest valor, ja que ens indicarà la pèrdua de producció al llarg dels anys dels mòduls solars fotovoltaics de la instal·lació.

Per tant, podem observar en la taula 30 un resum dels ingressos per venda d'electricitat.

Any	Producció estimada(kWh)	Pèrdua d'eficiència	Preu de l'energia	Increment IPC	TOTAL	Impost Generació elèctrica	Ingressos nets (€)
2015	666.256,13		0,055	1,00%	36.644,09	2.565,09	34.079,00
2016	665.923,00	0,05%	0,0561	2,00%	37.358,28	2.615,08	34.743,20
2017	665.590,04	0,05%	0,0572	2,00%	38.086,39	2.666,05	35.420,35
2018	665.257,25	0,05%	0,0584	2,00%	38.828,70	2.718,01	36.110,69
2019	664.924,62	0,05%	0,0595	2,00%	39.585,47	2.770,98	36.814,49
2020	664.592,15	0,05%	0,0607	2,00%	40.356,99	2.824,99	37.532,00
2021	664.259,86	0,05%	0,0619	2,00%	41.143,55	2.880,05	38.263,50
2022	663.927,73	0,05%	0,0632	2,00%	41.945,43	2.936,18	39.009,25
2023	663.595,76	0,05%	0,0644	2,00%	42.762,95	2.993,41	39.769,54
2024	663.263,97	0,05%	0,0657	2,00%	43.596,40	3.051,75	40.544,65
2025	649.998,69	2,00%	0,0670	2,00%	43.578,96	3.050,53	40.528,44
2026	636.998,71	2,00%	0,0684	2,00%	43.561,53	3.049,31	40.512,22
2027	624.258,74	2,00%	0,0698	2,00%	43.544,11	3.048,09	40.496,02
2028	611.773,56	2,00%	0,0711	2,00%	43.526,69	3.046,87	40.479,82
2029	599.538,09	2,00%	0,0726	2,00%	43.509,28	3.045,65	40.463,63
2030	587.547,33	2,00%	0,0740	2,00%	43.491,87	3.044,43	40.447,44
2031	575.796,38	2,00%	0,0755	2,00%	43.474,48	3.043,21	40.431,26
2032	564.280,46	2,00%	0,0770	2,00%	43.457,09	3.042,00	40.415,09
2033	552.994,85	2,00%	0,0786	2,00%	43.439,70	3.040,78	40.398,93
2034	541.934,95	2,00%	0,0801	2,00%	43.422,33	3.039,56	40.382,77
2035	531.096,25	2,00%	0,0817	2,00%	43.404,96	3.038,35	40.366,61
2036	520.474,33	2,00%	0,0834	2,00%	43.387,60	3.037,13	40.350,47
2037	510.064,84	2,00%	0,0850	2,00%	43.370,24	3.035,92	40.334,33
2038	499.863,54	2,00%	0,0867	2,00%	43.352,89	3.034,70	40.318,19
2039	489.866,27	2,00%	0,0885	2,00%	43.335,55	3.033,49	40.302,07
2040	465.372,96	5,00%	0,0902	2,00%	41.992,15	2.939,45	39.052,70
2041	442.104,31	5,00%	0,0920	2,00%	40.690,39	2.848,33	37.842,07
2042	419.999,10	5,00%	0,0939	2,00%	39.428,99	2.760,03	36.668,96
2043	398.999,14	5,00%	0,0958	2,00%	38.206,69	2.674,47	35.532,23
2044	379.049,18	5,00%	0,0977	2,00%	37.022,29	2.591,56	34.430,73
2045	360.096,72	5,00%	0,0996	2,00%	35.874,60	2.511,22	33.363,37

Taula 30 Resum ingressos per venda d'electricitat

El resultat estimat d'ingressos totals generats per la instal·lació puja fins a 1.195.404,01€ sent el novè any quan s'obtindrà un ingrés més important.

En la figura 40 podem observar l'evolució històrica per venda d'electricitat.

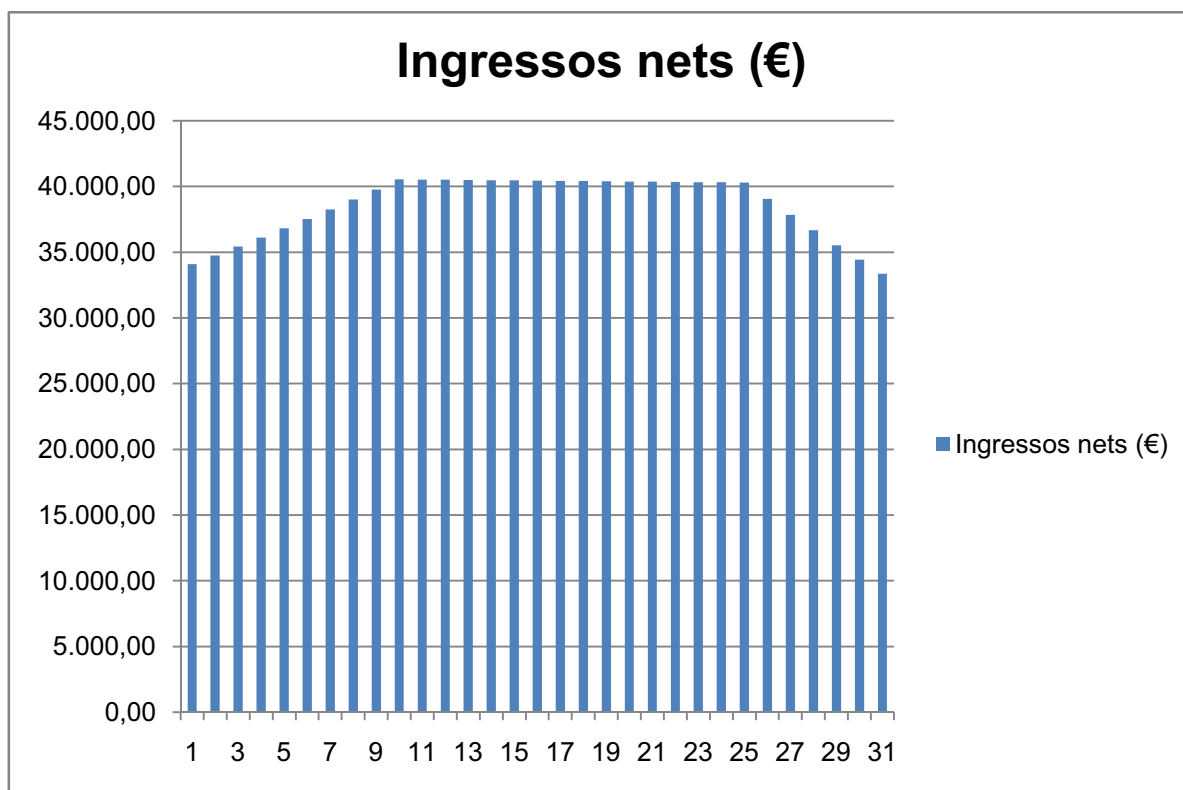


Figura 40 Evolució dels ingressos nets

8.2 Costos addicionals de manteniment i assegurança

En el següent apartat s'estudien els costos relacionats amb la instal·lació en si, com és el manteniment, canvi de peces, IBI, etc.

Els costos que es tindran en compte per estudiar el rendiment de la planta seran els següents.

Assegurança: la planta fotovoltaica disposarà d'una assegurança a tot risc que pugui cobrir la planta d'incendis, robatoris, vandalismes, riscos meteorològics, etc. El pagament de l'assegurança serà anual i tindrà un cost de 5.200€.

Manteniment i neteja: Com s'ha pogut observar el manteniment dels mòduls nets i en òptimes condicions manté el seu rendiment el seu valor nominal per això tindrem un servei de neteja que el quantificarem en 600 € anuals. I també, un servei de manteniment que tindrà un valor de 300 €.

Costos de reposició : També es tindran en compte la reposició de peces que es puguin fer malbé al llarg del pas del temps. Segons el fabricant es considera que fins al cinquè any no serà necessària la reposició de peces i que a partir d'aquí anirà augmentant. Quantificarem aquests costos en 600€ a partir del cinquè any i 1.500 a partir del desè any.

Terreny: En aquest cas plantejarem els costos del terreny com si aquest terreny fos propietat de la persona que vol realitzar el projecte, per tant, en aquest cas no tindrem costos per lloguer, ja que el terreny és del propietari, haurem de tenir en compte altres costos relacionats amb el terreny com IBI.

Llum també tindrem en compte uns costos per si la instal·lació necessita llum. No s'ha tingut en compte a l'hora de realitzar la instal·lació però per aproximar més els valors a la realitat es tindrà en compte un valor mínim que podria ser degut a la utilització d'enllumenat o aparells com ordinadors.

A tots aquests costos, exceptuant els costos de reposició, se'ls hi aplicarà una taxa d'inflació d'un 2%.

En la taula 31 s'han representat els costos explicats relacionats amb els anys de vida útil de la instal·lació.

Any	C. Assegurança	C. Reposició	Neteja	Llum	TOTAL
2015	5200,00	0,00	900,00	105,00	6.205,00 €
2016	5304,00	0,00	918,00	107,10	6.329,10 €
2017	5410,08	0,00	936,36	109,24	6.455,68 €
2018	5518,28	0,00	955,09	111,43	6.584,80 €
2019	5628,65	0,00	974,19	113,66	6.716,49 €
2020	5741,22	600,00	993,67	115,93	7.450,82 €
2021	5856,04	600,00	1013,55	118,25	7.587,84 €
2022	5973,17	600,00	1033,82	120,61	7.727,59 €
2023	6092,63	600,00	1054,49	123,02	7.870,15 €
2024	6214,48	600,00	1075,58	125,48	8.015,55 €
2025	6338,77	1500,00	1097,09	127,99	9.063,86 €
2026	6465,55	1500,00	1119,04	130,55	9.215,14 €
2027	6594,86	1500,00	1141,42	133,17	9.369,44 €
2028	6726,75	1500,00	1164,25	135,83	9.526,83 €
2029	6861,29	1500,00	1187,53	138,55	9.687,37 €
2030	6998,52	1500,00	1211,28	141,32	9.851,11 €
2031	7138,49	1500,00	1235,51	144,14	10.018,14 €
2032	7281,26	1500,00	1260,22	147,03	10.188,50 €
2033	7426,88	1500,00	1285,42	149,97	10.362,27 €
2034	7575,42	1500,00	1311,13	152,97	10.539,51 €
2035	7726,93	1500,00	1337,35	156,02	10.720,30 €
2036	7881,46	1500,00	1364,10	159,14	10.904,71 €
2037	8039,09	1500,00	1391,38	162,33	11.092,80 €
2038	8199,88	1500,00	1419,21	165,57	11.284,66 €
2039	8363,87	1500,00	1447,59	168,89	11.480,35 €
2040	8531,15	1500,00	1476,55	172,26	11.679,96 €
2041	8701,77	1500,00	1506,08	175,71	11.883,56 €
2042	8875,81	1500,00	1536,20	179,22	12.091,23 €
2043	9053,33	1500,00	1566,92	182,81	12.303,06 €
2044	9234,39	1500,00	1598,26	186,46	12.519,12 €

Taula 31 Costos manteniment i assegurança

El cost total és de 284.724,93 €

8.3 Altres costos

Altres costos que haurem de tindre en compte seran els que afecten el titular de la instal·lació fotovoltaica:

El pagament del rebut d'autònom de la seguretat social, ja que s'haurà de donar d'alta com a productor d'electricitat serà d'uns 253,00 € mensuals amb la seva taxa d'inflació corresponent.

També es tindrà en compte un ordinador on es registrin totes les dades relacionades amb la instal·lació, així mateix s'ha de tindre en compte el software que es farà servir per recopilar aquestes dades. L'ordinador tindrà un import de 900€ i li donarem vida útil de 10 anys mentre que el software haurem d'estimar 200€ més i 50 € cada 5 anys que corresponen a les actualitzacions.

El cost de l'Impost sobre "Vienes Inmuebles" (IBI) que afecta la propietat on esta instal·lada la instal·lació té un valor de 750€ anuals ja que, el terreny es considera rústic i per tant té un valor molt baix. S'aplicarà la quota d'inflació corresponent. A la taula 32 podem veure el resum de costos explicat.

Any	Autònom	Ordinador	Software	IBI	Total
2015	3036,00	900,00	200,00	750,00	4.886,00 €
2016	3096,72	0,00	0,00	765,00	3.861,72 €
2017	3158,65	0,00	0,00	780,30	3.938,95 €
2018	3221,83	0,00	0,00	795,91	4.017,73 €
2019	3286,26	0,00	50,00	811,82	4.148,09 €
2020	3351,99	0,00	0,00	828,06	4.180,05 €
2021	3419,03	0,00	0,00	844,62	4.263,65 €
2022	3487,41	0,00	0,00	861,51	4.348,92 €
2023	3557,16	0,00	0,00	878,74	4.435,90 €
2024	3628,30	700,00	50,00	896,32	5.274,62 €
2025	3700,87	0,00	0,00	914,25	4.615,11 €
2026	3774,88	0,00	0,00	932,53	4.707,42 €
2027	3850,38	0,00	0,00	951,18	4.801,56 €
2028	3927,39	0,00	0,00	970,20	4.897,59 €
2029	4005,94	0,00	50,00	989,61	5.045,55 €
2030	4086,06	0,00	0,00	1009,40	5.095,46 €
2031	4167,78	0,00	0,00	1029,59	5.197,37 €
2032	4251,13	0,00	0,00	1050,18	5.301,31 €
2033	4336,16	700,00	50,00	1071,18	6.157,34 €
2034	4422,88	0,00	0,00	1092,61	5.515,49 €
2035	4511,34	0,00	0,00	1114,46	5.625,80 €
2036	4601,56	0,00	0,00	1136,75	5.738,31 €
2037	4693,59	0,00	0,00	1159,48	5.853,08 €
2038	4787,47	0,00	50,00	1182,67	6.020,14 €
2039	4883,22	0,00	0,00	1206,33	6.089,54 €
2040	4980,88	0,00	0,00	1230,45	6.211,33 €
2041	5080,50	0,00	0,00	1255,06	6.335,56 €
2042	5182,11	0,00	0,00	1280,16	6.462,27 €
2043	5285,75	0,00	0,00	1305,77	6.591,52 €
2044	5391,46	0,00	0,00	1331,88	6.723,35 €

Taula 32 Resum de costos extres

El cost anual total és de 156.340,75 €

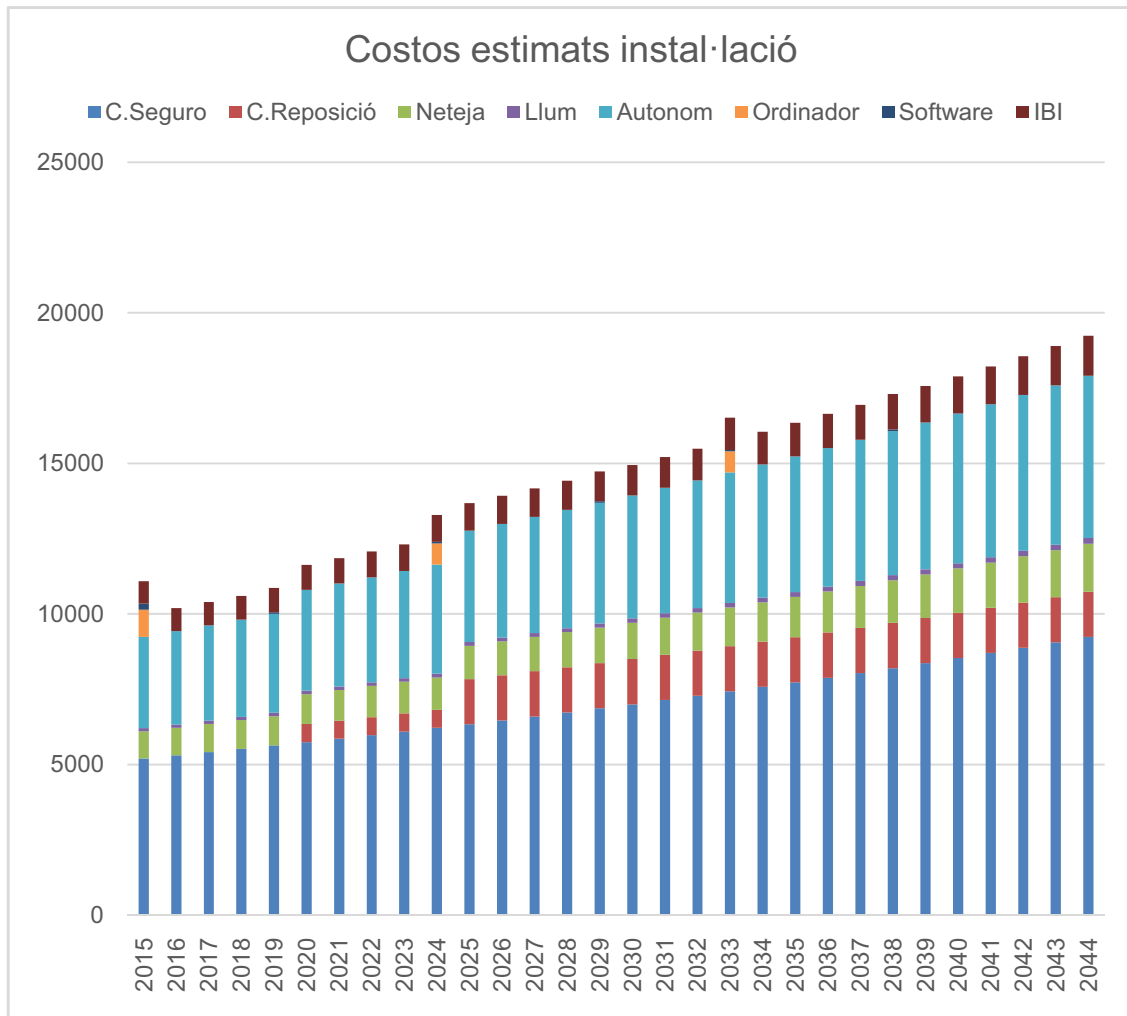


Figura 41 Costos estimats instal·lació

En la figura 42 podem observar el pes que tenen els ingressos sobre els costos en els primers 30 anys de vida de la instal·lació.

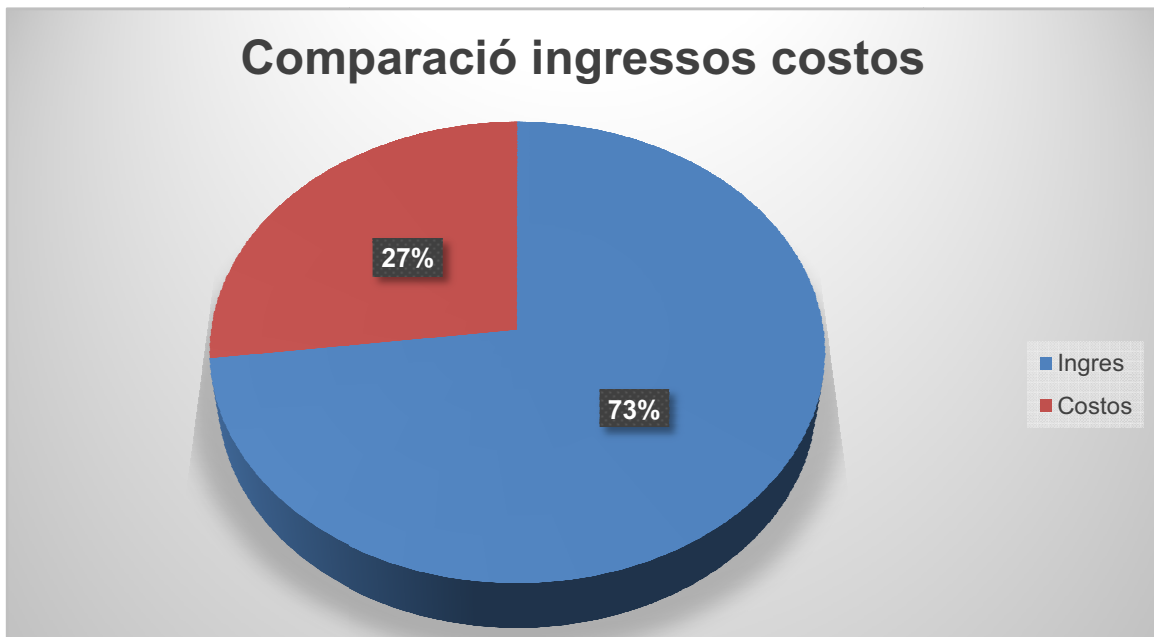


Figura 42 Comparativa ingressos costos

Podem concloure que més d'una quarta part del pes total esta destinada els costos de manteniment en general.

8.4 Payback

A continuació es realitzarà l' anàlisis del Payback per tenir una idea aproximada del temps que es trigarà en recuperar la inversió inicial. El Payback és una eina útil per decidir si acceptar el projecte o inversió en funció del termini de recuperació de la inversió inicial.

Per calcular el Payback de la instal·lació, es calcula els ingressos anuals generats per la instal·lació, els costos anuals, en els que hem de tindre en compte el primer any el valor de la inversió i un cop tenim els dos valors per cadascun dels anys realitzem la resta i ens dona el benefici o pèrdues que té la instal·lació.

A la taula 33 es pot observar el Payback del projecte realitzat.

PAYBACK			
Anys	Ingressos	Cost	TOTAL
2015	36.629,76	765.026,00	-726.901,00
2016	37.343,68	10.190,82	-702.348,62
2017	38.071,51	10.394,63	-677.322,90
2018	38.813,52	10.602,53	-651.814,74
2019	39.569,99	10.864,58	-625.864,83
2020	40.341,21	11.630,87	-599.963,70
2021	41.127,46	11.851,49	-573.551,69
2022	41.929,04	12.076,51	-546.618,95
2023	42.746,24	12.306,05	-519.155,46
2024	43.579,36	13.290,17	-491.900,98
2025	43.561,93	13.678,97	-465.051,51
2026	43.544,50	13.922,56	-438.461,85
2027	43.527,09	14.171,00	-412.136,83
2028	43.509,67	14.424,42	-386.081,43
2029	43.492,27	14.732,92	-360.350,72
2030	43.474,87	14.946,57	-334.849,85
2031	43.457,48	15.215,51	-309.634,10
2032	43.440,10	15.489,81	-284.708,82
2033	43.422,72	16.519,61	-260.829,50
2034	43.405,36	16.055,00	-236.501,73
2035	43.387,99	16.346,10	-212.481,22
2036	43.370,64	16.643,02	-188.773,77
2037	43.353,29	16.945,88	-165.385,32
2038	43.335,95	17.304,80	-142.371,93
2039	43.318,61	17.569,89	-119.639,75
2040	41.975,74	17.891,29	-98.478,34
2041	40.674,49	18.219,12	-78.855,39
2042	39.413,58	18.553,50	-60.739,93
2043	38.191,76	18.894,58	-44.102,28
2044	37.007,81	19.242,47	-28.914,02

Taula 33 PAYBACK

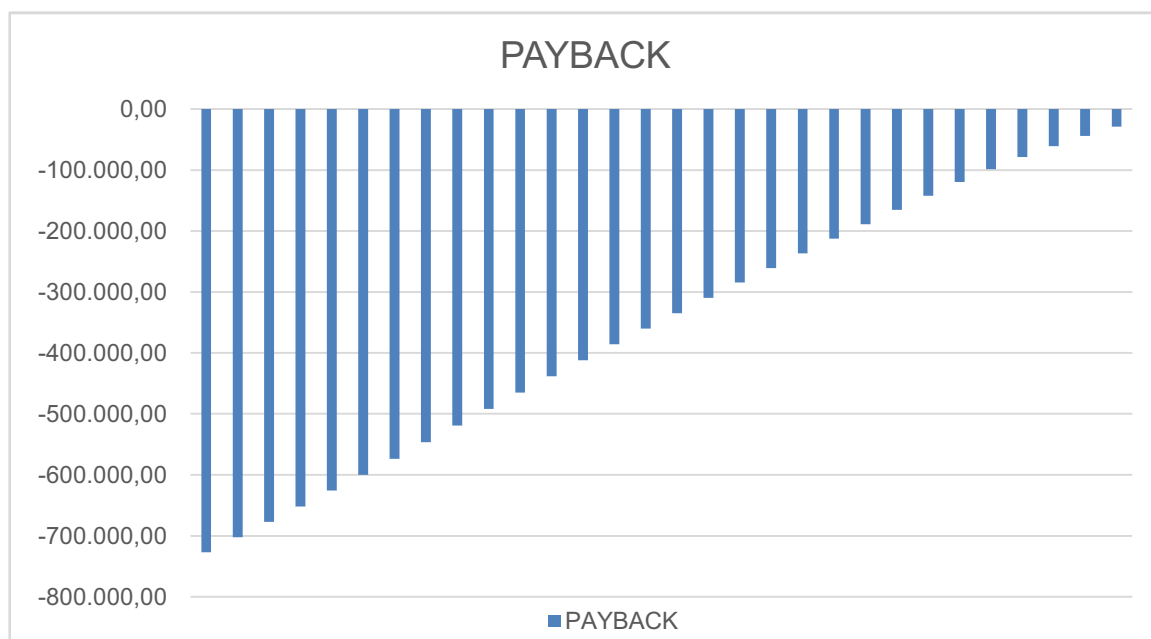


Figura 43 PAYBACK

Primer de tot s'ha de tindre en compte que aquest resultat es només orientatiu perquè s'ha utilitzat un valor d'inflació mig. A més de la inflació, el preu de l'energia, és un terme variable que no tenim la certesa que pujarà amb els valors que hem considerat. Analitzant els resultats obtinguts traiem la conclusió que la inversió és totalment inviable. Tot i que els valors com s'explica no siguin del tot objectius sí que podem tindre una molt bona referència de quina posició estaria una inversió en una planta de generació fotovoltaica. El payback ens indica que la planta no quedaria amortitzada en els 30 anys de vida útil.

8.5 VAN i TIR

A l'hora d'analitzar la rendibilitat del projecte no s'ha d'ometre el càlcul del VAN (Valor Actual Net) i de la TIR (Taxa Interna de Tornada), ja que són eines útils per analitzar d'un cop d'ull si el projecte és viable o no. Ja que aquest projecte exigeix un desemborsament inicial d'una quantitat important de diners, s'ha de calcular prèviament la rendibilitat al llarg dels anys.

El VAN és un procediment que permet calcular el valor present d'un determinat nombre de fluxos de caixa de futurs, originats per una inversió. La metodologia consisteix a descomptar al moment actual tots els fluxos de caixa futurs del projecte. A aquest valor se li resta la inversió inicial, de tal manera que el valor obtingut és el valor actual net del projecte. Aquest mètode és un dels criteris econòmics més àmpliament utilitzats en l'avaluació de projectes d'inversió. Per acceptar el projecte el VAN ha de ser positiu.

El TIR és el tipus d'interès per a la qual el VAN és igual a zero. S'usa també per a l'anàlisi de la rendibilitat. De forma general, una inversió és rendible si el seu TIR és major que el cost de capital. Les empreses dedicades a la realització de projectes i instal·lacions fotovoltaïques exigeixen que, perquè el projecte sigui viable, la TIR tingui una valor superior al 8%.

El VAN serà de -5.063.431,08 € mentre que el TIR és del -0.2%. Queda patent que el projecte és totalment inviable.

9 Resum del pressupost

El cost econòmic del disseny de la planta fotovoltaica de 500 kW situada al municipi de Maçanet de la Selva ascendeix a set-cents seixanta-cinc mil set-cents divuit amb vuitanta-cinc, sense IVA.

10 Conclusions

Aquest document té com a finalitat fer un estudi de la problemàtica situació en la qual es troba actualment l'energia solar fotovoltaica.

Primer de tot s'ha realitzat el projecte seguint totes la normativa vigent, tant el REBT com la normativa aplicable per IDAE. Un cop realitzat el projecte s'ha estudiat la producció d'energia elèctrica per part dels mòduls fotovoltaics i d'aquesta manera poder fer una valoració econòmica per saber si una inversió d'aquesta magnitud seria interessant o no.

Com s'explica en l'apartat sis, per fer l'estudi de viabilitat econòmica només podem utilitzar el valor de l'energia que marca l'OMIE diàriament segons el preu que s'estableix en la cassació. Això fa que el preu sigui variable perquè no es pot assegurar el preu de l'energia al llarg dels anys, per tant crearà una sensació d'inseguretat pels inversors que poguessin valorar invertir, aquesta sensació d'inseguretat no només la tindran en energia fotovoltaica sinó en totes les energies de règim especial. A més, valorant com s'ha fet en aquest projecte valors estimats, els resultats demostren que actualment no és rendible invertir en energia solar fotovoltaica.

El govern amb les mesures adoptades a partir del RD 1/2012, on acaba amb totes les retribucions a energies en règim especial, declara un dèficit important i culpa a les ajudes en aquest sector com el causant d'aquest dèficit. Però si analitzem el procés de cassació observem que la corba entre la demanda i l'oferta talla en un punt en concret i d'aquesta manera estableix el preu. S'ha de recordar que tant el vent com l'energia solar ofereixen el seu preu a zero, donat que no poden emmagatzemar l'energia elèctrica, per tant, això farà que la corba d'oferta variï i faci que el preu de l'energia sigui més econòmic. Hi ha estudis (Primas para las energías renovables a coste cero para los consumidores Observatorio Critico de la Energia) que demostren que l'estalvi produït per les energies renovables compensa el cost de les retribucions que es pagaven amb el RD 667/2007, inclús en alguns casos produïa un estalvi econòmic.

En la figura 44 es pot veure aquesta diferència entre el punt de tall de la demanda i l'oferta si tenim en compte les energies renovables o no.



Figura 44 Diferencia de punt de tall

S'ha de tenir en compte que el mercat actual nacional és totalment opac i no existeix cap auditoria pública que demostrï quins són els costos i beneficis reals de les grans elèctriques del país. Això ja fa sospitar que les mesures adoptades pel govern no siguin del tot legítimes.

Per tant amb aquestes inexplicables mesures adoptades pel govern, aquest a aconseguit tallar radicalment la inversió en energies renovables i un projecte com el que s'ha realitzat en aquest document seria totalment inviable.

Es pot concloure, que la liberalització del mercat elèctric no a disminuït els costos perquè tots els actors que participen no tenen les mateixes condicions. El govern ens ha tret la capacitat de fer política energètica utilitzant el dèficit tarifari que com va declarar el tribunal suprem, l'havia causat les compensacions multimilionàries que havien rebut les grans companyies elèctriques pels denominats costos de transició a la competència. Tot això, ha fet que s'aturi de forma radical el canvi de model energètic i es centri tota d'importància en un model únicament financer que beneficia a les grans empreses en decrement del consumidor.

S'hauria de fomentar el canvi de model energètic i donar més importància a altres objectius com la reducció de residus i CO₂ i augmentar la sobirania energètica del país. El balanç zero és fonamental no només per la contaminació, sinó, també, pel progrés del país.

Utilitzar els recursos dels quals disposes sempre és més òptim que dependre de l'exterior en matèria energètica.

Carlos Martínez
Graduat en Enginyeria Elèctrica

Girona 10 de juny de 2015

11 Relació de documents

Aquest projecte està format per memòria, plànols, plec de condicions, estat d'amidaments i pressupost. L'ordre de preferència en cas de contradicció serà l'indicat.

12 Bibliografia

ARTESA, Catàleg de suports (<http://www.atersa.com/categoriaproductos.asp?param=8>, 12 de maig de 2015)

BOLETIN OFICIAL DEL ESTADO, LL 54/1997, 1663/2000, 436/2004, 341/2006, RD 661/2007, 1578/2008, RD 1565/2010, RD14/2010, RD 1544/2010, RDL 1/2012, RD 9/2013, RDL 413/2014, 31 de maig de 2015)

CORRETGER CANÓS, JOSEP M^a, Document administratiu Energia Solar Fotovoltaica, Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial. Universitat de Girona, Octubre 2001

EASTECH SOLAR, Catàleg mòduls solars.
(<http://www.eastechsolar.com/productos/verproducto/esf-130ma-esf-130pa>, 12 de maig de 2015)

ENDESA, Guía técnica sobre suministros en media tensión, Diciembre 2003

ESTAFALUZ (<http://www.estafaluz.com/> 2 de juny de 2015)

FERNÁNDEZ SALGADO, Compendio de Energía Solar, Editorial AMV ediciones, Madrid 2010

INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A RED
(<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7170/1/MEMORIA%20TECNICA.pdf> 2 de juny de 2015)

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICAD Y AHORRO DE LA ENERGIA. Pliego de condiciones técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. Madrid 2011.

JORGE MORALES DE LABRA, El agujero del déficit (<http://www.energiaoscura.es/deficit/>, 1 de juny de 2015)

JORGE MORALES DE LABRA, Por otro modelo energético, (<http://jorpow.com/>, 1 de juny de 2015)

LLORACH BATLLE, EMILI, Instal·lació fotovoltaica de 15,36 kW de producció elèctrica de règim especial, Universitat de Girona, Setembre de 2003

LÓPEZ AYALA, ÍÑIGO, instalación fotovoltaica conectada a red sobre cubierta de nave industrial existente en castilla y león, Universidad Pontifica Comillas

LÓPEZ DUMRAUF, GUILLERMO, Técnicas de evaluación de proyectos de inversión Ucema Buenos Aires, 2008

MÉNDEZ MUÑIZ, JAVIER MARIA, Energía solar fotovoltaica Editorial FC. Madrid 2008

OBSERVATORIO CRITICO DE LA ENERGIA,
(<http://observatoriocriticodelaenergia.org/?p=1304> 5 de juny de 2015)

OMIE, (<http://www.omie.es/inicio>, 15 de maig de 2015)

PRYSMIAN, Catàleg cablejat
(http://www.prysmianclub.es/files/content/images/Catalogo_BT_Prysmian_2013_2.pdf 15 de maig 2015)

PVGRID (<http://www.pvgrid.eu/database/pvgrid/spain/national-profile-3/residential-systems/2305/systems-less-than-or-equal-to-10-kw-1.html> 29 de maig de 2015)

ROLDÁN VILORIA, JOSÉ, Instalaciones solares fotovoltaicas, Editorial Paraninfo, Madrid 2012

REGLAMENNTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN,
(http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt_itcs.aspx 15 de maig de 2015)

SCHNEIDER, Catàleg Inversor, (http://www.schneider-electric.com/download/es/es/details/1584111-Diptico-Inversor-trifasico-Xantrex-GT100-E-de-conexion-a-red/?reference=ESMKT03006G10_GT100E 15 de maig de 2015)

VAN I TIR, Calcular el VAN i el TIR, (<http://www.vantir.com/> 29 de maig de 2015)

13 Glossari

BT: Baixa Tensió

CM-SAF: The Satellite Application Facility on Climate Monitoring

CT: Centre de Transformació

CTE: Codi Tècnic de l'Edificació

EUMETSAT: European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites

FI: Factor d'Irradiació

FS: Facto d'ombres

IBI: Impuesto sobre Vienes Inmuebles

IDAE: Instituto para la Diversificación i Ahorro de la Energia

IPC: Índice de Preus Consumidor

ITC: Instruccions Tècniques Complementaries

RD: Reial Decret

RDL: Reial Decret Llei

REBT: Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió

OMIE: Operador del Mercado Iberico de Energia

PR: Performance Ratio

TIR: Tassa Interna de Retorn

UNE: Una Norma Espanyola

VAN: Valor Actual Net

A Disseny generador fotovoltaic

A.1 Configuració del generador fotovoltaic

A partir de les característiques elèctriques dels panells i inversor seleccionats calculem el número de panells necessaris per cobrir la potència que volem de 500 kW. Les característiques són les següents:

Descripció	
Potència nominal	300 W
Tensió a potència màxima	37,87 V
Intensitat a potència màxima	8,25 A
Tensió de circuit obert	20,1 V
Intensitat de curtcircuit	9,61 A

Taula 34 Característiques elèctriques ESF- 300 MA

Descripció	
Potència max	600 W
Rang de seguiment de potencia	425-825 V
Intensitat max	1250 A
Màxima tensió d'entrada	1000 V

Taula 35 Característiques elèctriques PV-500

Necessitem calcular el número de panells per cobrir 500 kW per tant,

$$N^{\circ} \text{ panells} = P_m \text{ inversor} / P_p \text{ panell} = 600000/300 = 2000 \text{ Panells} \quad (\text{Eq.1})$$

Un cop obtingut el nombre de panells que necessitem per aconseguir la potència desitjada busquem la configuració d'aquests. Per fer-ho, busquem les especificacions de l'inversor que ens limita el nombre de panells que podem posar en sèrie. D'aquesta manera la tensió de cada branca estarà dins el rang de seguiment de l'inversor.

$$N_{\min} = 425 / 37,87 = 11,22 \quad (\text{Eq.2})$$

$$N_{\max} = 850 / 37,87 = 22,44 \quad (\text{Eq.3})$$

El nombre de panells ha d'estar dins els valors anteriorment calculats i que sigui múltiple de la totalitat de panells que tindrà el nostre camp solar (2000). Escollim 16 panells. Comprovem que les condicions imposades per l'inversor estan garantides escollim 16 panells per sèrie.

$$V_{MPP} = 37,87 \text{ V} \times 16 \text{ mòduls sèrie} = 605,92 \text{ V} \quad (\text{Eq.4})$$

$$I_{mpp} = 7,92 \text{ A} \times 125 \text{ A} = 990 \text{ A} \quad (\text{Eq.5})$$

Per tant, podem concloure que la configuració de 16 panells en sèrie per 125 branques en paral·lel respectaren les condicions de funcionament imposades per l'inversor.

A.2 Elecció de l'Inversor

Per la elecció del inversor s'han seguit les normes especificades per el Plec de condicions tècniques del IDAE, i els requeriments tècnics que imposen els panells solars. S'han calculat les tensions i corrents màximes i mínimes que podrà tenir el generador a la sortida.

Per qüestions de seguretat es tindran en compte el funcionament dels panells quan estan sotmesos a condicions de temperatura diferents de les normals.

La tensió normal de funcionament o tensió màxima potència del generador fotovoltaic la calcularem a partir de l'equació 6

$$V_{mppTOTAL} = V_{mpp} \cdot N_s = 37,87 \times 16 = 605,92 \text{ V} \quad (\text{Eq.6})$$

Mentre que el corrent que subministra el generador fotovoltaic quan proporciona la màxima potència vindrà donada de multiplicar el corrent de punt de màxima potència (I_{mpp}) de cada panell pel nombre de panells en paral·lel o branques.

$$I_{mppTOTAL} = I_{mpp} \cdot N_p = 7,92 \cdot 125 = 990 \text{ A} \quad (\text{Eq.7})$$

En Maçanet de la Selva es considera un rang de temperatura ambient entre 0°C a l'hivern i 35°C a l'estiu. tenint en compte que el valor considerat com condició estàndard de mesura de la cèl·lula es de 25 °C s'ha de comprovar que els valors de funcionament estaran dintre dels rangs admesos.

Per calcular la temperatura de treball que assoliran les cèl·lules dels panells fotovoltaics utilitzarem l'equació 8

$$T_p = T_a + \frac{T_{onc} - 20}{800} \cdot I \quad (\text{Eq.8})$$

T_p es la temperatura que assoleix la cèl·lula a temperatura ambient determinada

T_a es la temperatura ambient del lloc on estan instal·lats els panells

T_{onc} es la temperatura nominal de la cèl·lula, definida com la temperatura que assoleixen les cèl·lules solars quant es sotmeten al modula una irradiància de 800 W/m² amb distribució espectral AM 1,5 G, la temperatura ambient es de 20 °C i la velocitat del vent. 1m/s. (T_{onc})

I es la irradiància mitja depenent del període que es trobi (Estiu $I = 1000 \text{ W/m}^2$ i al hivern $I = 100 \text{ W/m}^2$)

Per conèixer la tensió de circuit obert que es mesurarà a la sortida de cada panell quan la temperatura sigui diferent a 25°C s'aplicarà el coeficient de temperatura per la tensió de circuit obert (V_{oc})

$$V_{OC(X^\circ C)} = V_{OC(25^\circ C)} + \Delta T \cdot \Delta V_{OC} (T) \quad (\text{Eq.9})$$

$V_{oc(x^{\circ}C)}$ es la tensió a circuit obert del panell a una temperatura de la cèl·lula X

$V_{OC(25^{\circ}C)}$ es la tensió a circuit obert del panell en condicions estàndard de mesura ($V_{OC(25^{\circ}C)} = 44,78 \text{ V}$)

ΔT es la variació de la temperatura de treball del panell en condicions estàndard de mesura

$\Delta V_{oc}(T)$ es el coeficient de temperatura de la tensió de circuit obert del panell ($\Delta V_{oc}(T) = -0,38\%/^{\circ}C$)

Finalment, per conèixer el corrent de curtcircuit que es produirà a la sortida de cada panell quant aquests treballant sota condicions diferents a la temperatura estàndard de la cèl·lula ($25^{\circ}C$), s'aplicarà el coeficient de temperatura pel corrent de curtcircuit (I_{sc}).

$$I_{sc(x^{\circ}C)} = I_{sc(25^{\circ}C)} + \Delta T \cdot \Delta I_{sc}(T) \quad (\text{Eq.10})$$

$I_{sc(x^{\circ}C)}$ es el corrent de curtcircuit del panell a una temperatura de cèl·lula X

$I_{sc(25^{\circ}C)}$ es el corrent de curtcircuit del panell en condicions estàndard de mesura ($I_{sc(25^{\circ}C)} = 8,48 \text{ A}$)

$\Delta I_{sc}(T)$ es el coeficient de temperatura de la corrent de curtcircuit del panell ($\Delta I_{sc}(T) = +0,04\%/^{\circ}C$)

Realitzant els càlculs adients, els valors de tensió de circuit obert i de corrent de curtcircuit a les temperatures indicades són les queden representades a la taula 36.

	Tensió de circuit obert	Corrent de curtcircuit
Hivern $0^{\circ}C$	$V_{OC(3,375^{\circ}C)} = 817,96 \text{ V}$	$I_{sc(68,75^{\circ}C)} = 951,87 \text{ A}$
Estiu $35^{\circ}C$	$V_{OC(3,375^{\circ}C)} = 450,48 \text{ V}$	$I_{sc(68,75^{\circ}C)} = 1238,75 \text{ A}$

Taula 36 Tensions i intensitats condicionades per temperatura

A.3 Cablejat

La instal·lació solar fotovoltaica s'ha dividit en diferents trams de connexió entre els diferents equips i caixes de connexió que la componen. Com s'ha explicat anteriorment, el generador fotovoltaic estarà format per 125 branques compostes de 16 mòduls per sèrie, connectats en paral·lel. Per realitzar la connexió en les respectives caixes de connexió s'ha dividit el camp solar en 5 subcamps cadascun de 25 branques. Cada subcamp tindrà dues caixes de connexió que albergaran 12 i 13 branques cadascuna. Totes les connexions provinents de les caixes de connexió primer nivell aniran a la caixa de connexió segon nivell.

Es realitzaran 3 trams diferenciats en la instal·lació, tres d'ells per corrent continu. El tram de corrent altern que va des de l'inversor fins al transformador queda dins del centre integrat fotovoltaic de la casa Ormazabal. Aquesta empresa garanteix que tots els elements que el componen estan calculats segons normativa.

A.3.1 Tram cablejat corrent continu

Per el càlcul de la secció en cada tram s'utilitzarà l'equació 11

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{cc}}{u \cdot C} \quad (\text{Eq.11})$$

S Secció del conductor

L Longitud del conductor

I_{cc} Corrent màxim que circularà pels conductors i es la de curtcircuit dels panells

U Caiguda de tensió (1,5%)

C Conductivitat de l'element, en aquest cas coure (56 m/Ω · mm²)

S'utilitzarà l'equació 11 per conèixer la secció. D'aquesta manera es calcularà tot el cablejat des de els mòduls solars fins a l'entrada de l'inversor. A més, la intensitat calculada haurà de ser inferior a la intensitat màxima admesa pel cable.

A.3.2 Tram corrent altern

El tram de corrent altern compren entre la sortida de l'inversor i el transformador del centre fotovoltaic integrat. Aquest capítol només pretén demostrar teòricament que el cablejat del centre de transformació compleix normativa.

Longitud del conductor	5 m
Pmax	500.000 W
Caiguda de tensió	4,2 V
Resistivitat Coure	56 m/Ω · mm ²
Tensió	230 V

Taula 37 Característiques tram CA

Aplicant els valors corresponents,

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos\phi}{u \cdot C} = \frac{L \cdot P}{C \cdot u \cdot UI} = \frac{2 \cdot 500000}{56 \cdot 4,2 \cdot 230} = 18,48 \text{ mm}^2 \quad (\text{Eq.12})$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot UI \cdot \cos\phi} = \frac{500000}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot \cos\phi} = 1245,10 \text{ A} \quad (\text{Eq.13})$$

El pont del centre integrat Ormazabal disposa de 3 cables de coure per fase amb una secció de 240 mm² amb una intensitat màxima admissible de 455 A.

A.3.3 Cablejat de protecció

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Figura 45 Secció conductors protecció

Tram	Secció conductor fase	Secció conductor protecció
Mòduls - Caixa primer nivell	2,5 mm ²	2,5 mm ²
Caixa primer nivell - Caixa segon nivell	120 mm ²	70 mm ²
	95 mm ²	50 mm ²
Caixa segon nivell - Inversor	120 mm ²	70 mm ²
Inversor - Transformador	240 mm ²	240 mm ² (Norma Fecsa Endesa)

Taula 38 Seccions conductors de protecció

A.4 Proteccions corrent continu CC

A.4.1 Mòduls - Caixa connexió primer nivell

Aquest tram està protegit contra sobreintensitats mitjançant fusibles a cada una de les branques. La secció d'aquest tram es de 2,5 mm²

$$I_B = I_{mpp_mòdul} = 7,92A \quad (\text{Eq.14})$$

$$I_Z = I_{\max \text{ admissible}} = 29 A \quad (\text{Eq.15})$$

Per tant s'ha de complir l'equació 16

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (\text{Eq.16})$$

$$7,92 \text{ A} \leq I_N \leq 29 \text{ A} \quad (\text{Eq.17})$$

$$I_N = 10\text{A} \quad (\text{Eq.18})$$

A continuació es calcularà la corrent convencional de fusió d'aquest fusible comprovant si la dimensió es la correcta o pel contrari s'ha de buscar un valor superior que compleixi.

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad (\text{Eq.19})$$

$$I_2 = 1,6 \cdot I_N = 1,6 \cdot 10 = 16\text{A} \quad (\text{Eq.20})$$

$$16 \leq 1,45 \cdot 50 = 16 \leq 42,05 \text{ Compleix} \quad (\text{Eq.21})$$

Per tant s'utilitzaran fusibles de 10 A en cada branca per protegir els panells solars.

A.4.2 Caixa connexió primer nivell - Caixa connexió segon nivell

La caixa de connexió de grup assolirà a més dels fusibles, descarregadors, interruptors-seccionadors i fusibles per les línies de sortida.

A continuació podem veure a la taula 39 on s'especifiquen els diferents descarregadors per caixa de connexió

Descripció	Tensió Màxima	Element instal·lat
Caixa connexió de grup 1.1	817,96 V	Toscano model Vigivolt FV1000/3
Caixa connexió de grup 1.2	817,96 V	Toscano model Vigivolt FV1000/3
Caixa connexió de grup 2.1	817,96 V	Toscano model Vigivolt FV1000/3
Caixa connexió de grup 2.2	817,96 V	Toscano model Vigivolt FV1000/3
Caixa connexió de grup 3.1	817,96 V	Toscano model Vigivolt FV1000/3
Caixa connexió de grup 3.2	817,96 V	Toscano model Vigivolt FV1000/3
Caixa connexió de grup 4.1	817,96 V	Toscano model Vigivolt FV1000/3
Caixa connexió de grup 4.2	817,96 V	Toscano model Vigivolt FV1000/3
Caixa connexió de grup 5.1	817,96 V	Toscano model Vigivolt FV1000/3
Caixa connexió de grup 5.2	817,96 V	Toscano model Vigivolt FV1000/3

Taula 39 Descarregador instal·lat per caixa

Pel càlcul del interruptor seccionador que ens protegirà aquest tram l'element escollit haurà de complir les restriccions imposades per l'equació 22 i 23.

$$I_{SC} = 13 \text{ branques} \cdot 8,48 = 110,24 \quad (\text{Eq.22})$$

$$V_{OC} = 817,96 \text{ V} \quad (\text{Eq.23})$$

Descripció	Tensió max	Intensitat max	Element instal·lat
Caixa connexió de grup 1.1	817,96 V	110,24 A	gPV NH1 1000VDC 125 A
Caixa connexió de grup 1.2	817,96 V	110,24 A	gPV NH1 1000VDC 125 A
Caixa connexió de grup 2.1	817,96 V	110,24 A	gPV NH1 1000VDC 125 A
Caixa connexió de grup 2.2	817,96 V	110,24 A	gPV NH1 1000VDC 125 A
Caixa connexió de grup 3.1	817,96 V	110,24 A	gPV NH1 1000VDC 125 A
Caixa connexió de grup 3.2	817,96 V	110,24 A	gPV NH1 1000VDC 125 A
Caixa connexió de grup 4.1	817,96 V	110,24 A	gPV NH1 1000VDC 125 A
Caixa connexió de grup 4.2	817,96 V	110,24 A	gPV NH1 1000VDC 125 A
Caixa connexió de grup 5.1	817,96 V	110,24 A	gPV NH1 1000VDC 125 A
Caixa connexió de grup 5.2	817,96 V	110,24 A	gPV NH1 1000VDC 125 A

Taula 40 Interruptor - seccionador instal·lat per caixa

I per últim, de la mateixa manera que en el cas de l'interruptor seccionador el l'elecció dels fusibles també ve determinada en aquest cas per les equacions 24 i 25.

Caixa grup 1

$$I_B = 12 \cdot I_{mpp_mòdul} = 12 \cdot 7,92A = 95,04 \text{ A} \quad (\text{Eq.24})$$

$$I_Z = I_{\text{max admissible}} = 314 \text{ A} \quad (\text{Eq.25})$$

Per tant s'ha de complir l'equació 16

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (\text{Eq.16})$$

$$95,04 \text{ A} \leq I_N \leq 314 \text{ A} \quad (\text{Eq.26})$$

$$I_N = 125 \text{ A} \quad (\text{Eq.27})$$

A continuació es calcularà la corrent convencional de fusió d'aquest fusible comprovant si la dimensió es la correcta o pel contrari s'ha de buscar un valor superior que compleixi.

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad (\text{Eq.19})$$

$$I_2 = 1,6 \cdot I_N = 1,6 \cdot 125 = 200 \text{ A} \quad (\text{Eq.28})$$

$$200 \leq 1,45 \cdot 297 = 200 \leq 455,3 \text{ Compleix} \quad (\text{Eq.29})$$

Per tant s'utilitzaran fusibles de 125 A en cada branca per protegir els panells solars.

Caixa grup 2

$$I_B = 13 \cdot I_{\text{mpp_mòdul}} = 13 \cdot 7,92 \text{ A} = 102,96 \text{ A} \quad (\text{Eq.30})$$

$$I_z = I_{\text{max admissible}} = 271 \text{ A} \quad (\text{Eq.31})$$

Per tant s'ha de complir

$$I_B \leq I_N \leq I_z \quad (\text{Eq.16})$$

$$102,96 \text{ A} \leq I_N \leq 271 \quad (\text{Eq.32})$$

$$I_N = 125 \text{ A} \quad (\text{Eq.33})$$

A continuació es calcularà la corrent convencional de fusió d'aquest fusible comprovant si la dimensió es la correcta o pel contrari s'ha de buscar un valor superior que compleixi.

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad (\text{Eq.19})$$

$$I_2 = 1,6 \cdot I_N = 1,6 \cdot 125 = 200 \text{ A} \quad (\text{Eq.34})$$

$$200 \leq 1,45 \cdot 225 = 326,25 \leq 392,95 \text{ Amperes} \quad (\text{Eq.35})$$

Per tant s'utilitzaran fusibles de 125 A en cada branca per protegir els panells solars.

A.4.3 Caixa connexió segon nivell - Inversor

A l'entrada de l'inversor tenim 10 conductors que corresponent als pols positiu i negatiu dels 5 subcamps solars. Per protegir la instal·lació s'haurà d'instal·lar per cada subcamp un controlador permanent de aïllament.

El controlador permanent d'aïllament com s'ha explicat en l'apartat 4 esta compost pel vigilant d'aïllament i l'interruptor de corrent continua, aquests, han sigut escollits per les següents característiques.

En el cas del vigilant d' aïllament s'ha escollit el FAC 3 perquè treballa a unes tensions entre 120 - 1000 VDC la tensió de servei de la planta és de 605,92 V.

En el cas de l'Interruptor de corrent continua s'ha escollit el NIPS - 300 capaç d'interrompre corrents de 200 - 300 A. La corrent de cada subcamp és de 212 A.

A.5 Proteccions corrent altern

Com queda explicat en l'apartat corresponent a proteccions corrent altern del present document, el següent capítol només tracta de garantir que les proteccions utilitzades pel centre integrat fotovoltaic son les adequades.

De la mateixa manera que pel càlcul dels fusibles en corrent continu, l'interruptor general manual haurà de complir d'equacions 16 i 19.

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (\text{Eq.16})$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad (\text{Eq.19})$$

$$I_B = 125 \cdot I_{\text{mpp_mòdul}} = 125 \cdot 7,92\text{A} = 990 \text{ A} \quad (\text{Eq.36})$$

$$I_Z = I_{\text{max admissible}} = 1335 \text{ A} \quad (\text{Eq.37})$$

Per tant s'ha de complir

$$990 \text{ A} \leq I_N \leq 1335 \quad (\text{Eq.38})$$

$$I_N = 1250 \text{ A} \quad (\text{Eq.39})$$

$$I_2 = 1,6 \cdot I_N = 1,6 \cdot 1250 = 2000 \text{ A} \quad (\text{Eq.40})$$

$$2000 \leq 1,45 \cdot 1335 = 2000 \leq 2002,5 \text{ Compleix} \quad (\text{Eq.41})$$

Per tant l'interruptor manual de tall en càrrega que està instal·lat a la sortida de l'inversor compleix normativa.

Fusibles

En aquests cas el càlcul dels fusibles té els mateixos valors que interruptor general manual.

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (\text{Eq.16})$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad (\text{Eq.19})$$

$$I_B = 125 \cdot I_{\text{mpp_mòdul}} = 125 \cdot 7,92\text{A} = 990 \text{ A} \quad (\text{Eq.36})$$

$$I_Z = I_{\max \text{ admissible}} = 1335 \text{ A} \quad (\text{Eq.37})$$

Per tant s'ha de complir

$$990 \text{ A} \leq I_N \leq 1335 \quad (\text{Eq.38})$$

$$I_N = 1250 \text{ A} \quad (\text{Eq.39})$$

$$I_2 = 1,6 \cdot I_N = 1,6 \cdot 1250 = 2000 \text{ A} \quad (\text{Eq.40})$$

$$2000 \leq 1,45 \cdot 1335 = 2000 \leq 2002,5 \text{ Compleix} \quad (\text{Eq.41})$$

Es torna a garantir teòricament que els elements de protecció en la part d'alterna del centre integrat fotovoltaic compleixen amb els requeriments imposats per normativa.

La instal·lació a la sortida del inversor serà d'un interruptor manual de tall en càrrega de 1.250 A i de 3 fusibles NH-4 de 1250 A.

B Producció d'energia elèctrica

El mètode que s'ha seguit es el següent:

Determinar la quantitat d'energia incident disponible en la ubicació de la instal·lació.

Determinar les pèrdues per efecte orientació e inclinació del camp de captació, així com de les ombres si n'hi ha.

Determinar el valor que defineix el rendiment de la instal·lació (PR) i que contempla l'eficiència dels elements integrants i la seva resposta envers factors com temperatura, comportament de la xarxa etc.

Estimar la producció energètica mensual i anual de la instal·lació.

B.1 Determinació de la quantitat d'energia incident

Per calcular la quantitat d'energia incident disponible en la ubicació de la nostra instal·lació ,abans de res, necessitem saber el nivell de radiació i el factor de correcció.

El nivell de radiació incident per unitat de superfície horitzontal (valor mitjà d'un dia del mes) del lloc escollit.

En la taula 14 es poden observar els valors climàtics utilitzats en l'apartat 5 per realitzar la producció anual d'energia elèctrica.

Mesos	Temp mitja	Rad.Horizontal	Rad. Horitzontal	k
Gener	7.10	7.23	2.01	1.35
Febrer	8.40	10.20	2.83	1.27
Marc	11.10	13.62	3.78	1.18
Abril	13.40	15.95	4.43	1.08
Maig	16.80	17.95	4.99	1.01
Juny	20.70	17.07	4.74	0.99
Juliol	23.50	22.05	6.13	1.02
Agost	23.30	18.05	5.02	1.09
Setembre	20.90	13.65	3.79	1.21
Octubre	16.00	10.63	2.95	1.35
Novembre	11.30	7.40	2.06	1.44
Desembre	8.00	5.60	1.56	1.42
Anual	15,00	13,28	3,69	

Taula 14 Dades climàtiques

B.1.1 Disposició dels mòduls

Les dimensions del panell solar queden representades a la figura 46.

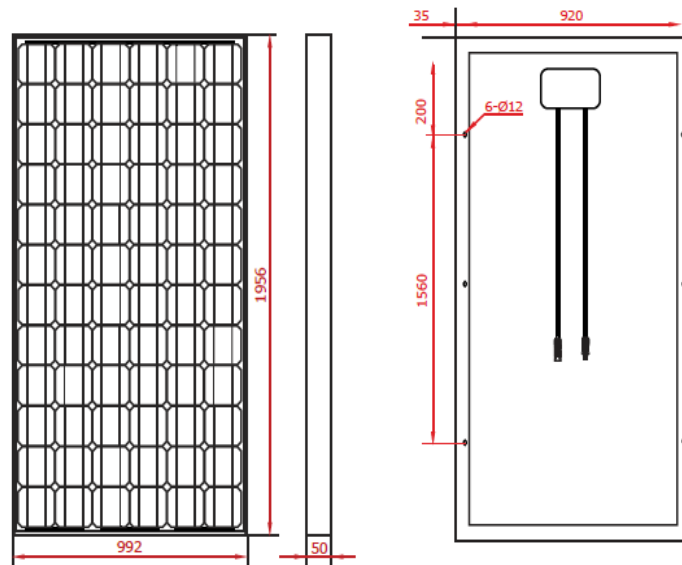


Figura 46 Dimensions Eastech Solar ESF 300 MA

Per calcular la distància mínima que haurem de respectar entre els panells solars s'han utilitzat les distàncies geomètriques especificades per IDAE.

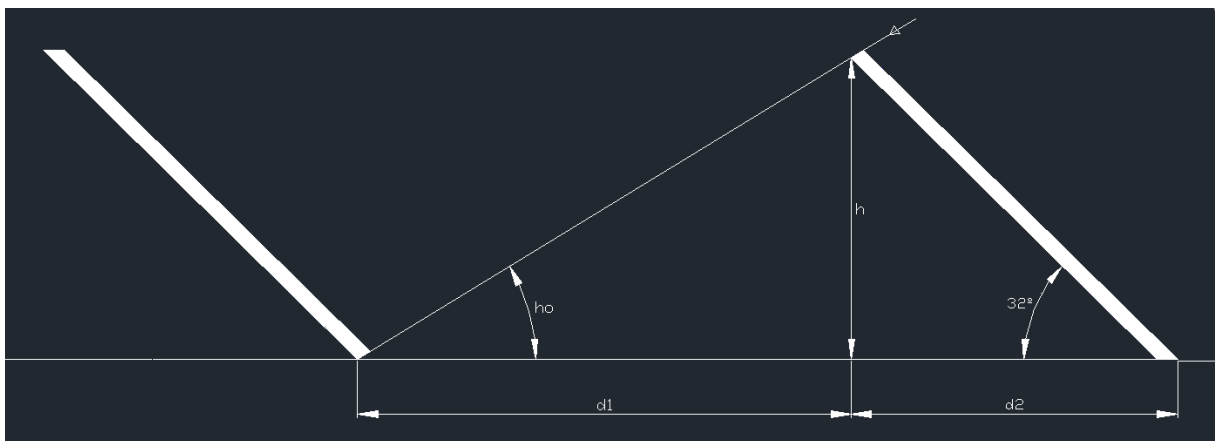


Figura 9 Distància entre mòduls solars

$$H_o = (90^\circ - \text{latitud}) - 23,5^\circ \quad (\text{Eq.42})$$

$$\sin 32 = \frac{h}{l} \quad (\text{Eq.43})$$

$$\tan 25,04 = \frac{h}{d1} \quad (\text{Eq.44})$$

$$d = d_1 + d_2 \quad (\text{Eq.45})$$

Aplicant trigonometria i l'equació 42 trobem la distancia mínima. Aquesta distancia li aplicarem un coeficient de seguretat de 0,25.

B.1.2 Determinació de pèrdues per orientació e inclinació

En aquest apartat es determinaran els valors per els factors FI i FS. per aquest cas existeixen valors límits per les pèrdues d'inclinació i orientació i ombres fixats per el CTE en la HE 5. Les pèrdues límits són les indicades en la següent taula segons IDAE.

Cas	Orientació e	Ombres	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposició	20 %	15 %	30 %
Integració	40 %	20 %	50 %

Taula 41 Determinació pèrdues indicades per IDAE

B.1.3 Rendiment energètic de la instal·lació

Es defineix PR com l'eficiència de la instal·lació en condicions reals de treball pel període de disseny.

Aquest factor considera les pèrdues en la eficiència energètica degudes a l'efecte de la temperatura en les cèl·lules fotovoltaïques, a la dispersió dels mòduls solars, a la brutícia en els mòduls solars, a les pèrdues cablejats i els errors en el seguiment del punt màxim de potència.

Els elements integrants del camp solar defineix la majoria dels paràmetres. El PR defineix els factors amb la finalitat d'establir un valor d'eficiència el mes aproximat possible a les condicions reals.

Per calcular el PR s'utilitza l'equació 3.

$$PR(\%) = (100 - A - P_{temp}) \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \quad (\text{Eq.46})$$

Cadascun dels termes de l'expressió PR s'explicaren per separat

A és la suma d'altres tres paràmetres, A1 A2 i A3

A1	<p>Representa la dispersió dels paràmetres entre els mòduls, degut a que no operen normalment en les mateixes condicions que les reconegudes com a estàndard de mesura.</p> <p>Un rang de valors del 10 % es de una dispersió elevada, entre 5 i 3 es un calor adequat i valors inferiors a 3 es un nivell òptim</p>
A2	<p>Representa el efecte de la pols i la brutícia</p> <p>Es un valor molt variable, depèn de la situació de la instal·lació</p> <p>El rang de valors variaria entre el 2 % i el 8%</p>
A3	<p>Contempla les pèrdues per reflectància angular i espectral</p> <p>El rang de valors pot ser 2 per pèrdues baixes, 4 per pèrdues moderades i 6 per pèrdues altes.</p>

Taula 42 Paràmetres de "A"

Ptemp representa les pèrdues mitges anuals degudes el efecte de la temperatura sobre les cèl·lules fotovoltaiques.

$$P_{Temp}(\%) = 100 \cdot [1 - 0,0035 \cdot (T_c - 25)] \quad (\text{Eq.47})$$

Sent T_c la temperatura de treball de les cèl·lules solars.

$$T_c = T_{amb} + (TONC - 20) \cdot \frac{E}{800} \quad (\text{Eq.48})$$

T_{amb}	Temperatura ambient en °C
TONC	Temperatura d'operació nominal del mòdul
E	Irradiància solar en W/m ²

Taula 43 Paràmetres de T_c

La temperatura de les cèl·lules s'eleva per sobre de la temperatura ambient de forma proporcional a la irradiància incident, per tant produirà una reducció del rendiment d'aquestes.

En el silici cristal·lí es pot estimar que per cada grau que augmenti la temperatura la cèl·lula solar per sobre de 25 °C el rendiment decreix un 0,4%.

Per calcular el rendiment a una certa temperatura utilitzem l'equació 7.

$$\text{Rend } T1(\%) = \text{Rend } 25^\circ\text{C}(\%) \cdot [1 - (T1 - 25) \cdot \frac{0,4}{100}] \quad (\text{Eq.49})$$

B = coeficient relacionat amb les pèrdues per el cablejat en la part de corrent continua, es a dir, entre els mòduls fotovoltaics i el inversor.

$$B = (1 - L_{cab_{cc}}) \quad (Eq.50)$$

El valor màxim admissible per $L_{cab_{cc}}$ es 1,5 % per tant el valor mínim de B serà 0,985.

C = coeficient que, igual que en el cas anterior esta relacionat amb les pèrdues el cablejat però en aquest cas en la part d'alterna.

$$C = (1 - L_{cab_{ca}}) \quad (Eq.51)$$

D = Aquest paràmetre esta relacionat amb les pèrdues per disponibilitat de la instal·lació. Amb aquest coeficient es te en compte l'aturament de la instal·lació de forma parcial o total degut a falles en la xarxa, manteniments, etc.

$$D = (1 - L_{disp}) \quad (Eq.52)$$

E = Representa els valors d'eficiència de l'inversor. En el nostre cas el valor de E serà de 0,92.

F = Aquest coeficient esta relacionat per el no seguiment del PMP i els llimdars d'arrencada de l'inversor. Com a valor de referència per pèrdues d'aquest tipus es pot utilitzar entre un 5 i un 10%. En el nostre cas utilitzarem el 5%.

$$F = (1 - L_{pmp}) \quad (Eq.53)$$

A.1.5.1 Estimació de la producció energètica mensual i anual de la instal·lació .

Per realitzar l'estimació de l'energia diària aportada per una instal·lació solar fotovoltaica s'ha utilitzat el valor de radiació disponible i el rendiment global de la instal·lació. Un cop tenim això utilitzem l'equació 54 per calcular la producció energètica.

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{mp} \cdot PR}{G_{cem}} \quad (\text{Eq.54})$$

E_p = energia estimada produïda durant un dia del període seleccionat (kWh/dia)

$G_{dm}(\alpha, \beta)$ = valor mig mensual de la irradiació diària sobre el pla del generador en les condicions d'orientació e inclinació del pla de captació solar (kWh/m² dia)

P_{mp} = Potència pico del generador (kWp)

PR = Rendiment energètic de la instal·lació o "Performance Ratio"

G_{CEM} = Constant de valor 1 kW/m²

C Dimensionament centre fotovoltaic integrat

C.1 Intensitat de mitja tensió

La intensitat primària en un transformador ve donada per l'equació 55.

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_p} \quad (\text{Eq.55})$$

P potència del transformador [kVA]

U_p tensió primària [kV]

I_p intensitat primària [A]

En el nostre cas, elevem la tensió fins a 20 kV, i la potència que té el transformador integrat en el centre fotovoltaic és de 630 kVA.

Per tant, la intensitat en el primari serà de 18,18 A.

C.2 Intensitat de baixa tensió

La intensitat primària en un transformador ve donada per l'equació 56.

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_s} \quad (\text{Eq.56})$$

P potència del transformador [kVA]

U_s tensió en el secundari [kV]

I_s intensitat en el secundari [A]

L'inversor del centre integrat transmet les corrent a una tensió de 230 V.

Per tant, la intensitat podrà assolir el valor de 1581,43 A.

C.3 Càlcul de curtcircuit

Pel càlcul de les intensitat que origina un curtcircuit, es tindrà en compte la potència de curtcircuit de la xarxa de MT, valor que ve especificat per la companyia elèctrica.

C.3.1 Càlcul de curtcircuit MT

Per el càlcul de curtcircuit MT s'utilitza l'equació 57.

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_p} \quad (\text{Eq.57})$$

S_{cc} potència de curtcircuit de la xarxa [MVA]

U_p tensió de servei [kV]

I_{ccp} corrent de curtcircuit [kA]

Segons Endesa per la zona en la que es troba el projecte la potència de curtcircuit es de 350 MVA i la tensió de servei de 20 kV per tan la intensitat de curtcircuit es de 10,10 kA.

C.3.2 Càlcul de curtcircuit BT

Pel circuit en baixa tensió, es considera que la potència de curtcircuit disponible és la teòrica dels transformadors MT-BT.

La corrent de curtcircuit en baixa tensió de un transformador trifàsic, ve donada per l'equació 58.

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot E_{cc} \cdot U_s} \quad (\text{Eq.58})$$

P potència de transformador [kVA]

E_{cc} tensió de curtcircuit del transformador [%]

U_s tensió en el secundari [V]

I_{ccs} corrent de curtcircuit [kA]

El transformador del centre fotovoltaic té una potència de 630 kVA, la tensió percentual del curtcircuit del 4%, i la tensió secundària és de 230 V en buit.

La intensitat en BT és de 2,5 kA

C.4 Dimensionament de l'embarat

Les cel·les fabricades per ORMAZABAL han sigut sotmeses a assajos per verificar els valors indicats en les plaques de característiques, per això, no és necessari realitzar càlculs teòrics ni hipòtesis de comportament de les cel·les.

Les característiques de l'embarat queden representades a la taula 44.

Intensitat assignada	400A
Límit tèrmic 1 s	16 kA
Límit electrodinàmic	40 kA

Taula 44 Característiques embarat

C.5 Proteccions contra sobrecarregues i curtcircuits

El transformador esta protegit tant a la part de MT com a la part de BT. En la part de MT la protecció l'efectua les cel·les associades al transformador, mentre que en BT la protecció s'incorpora el quadre de BT.

La part de MT disposa d'un conjunt de cel·les compacte, de tall i aïllament en SF6. de característiques elèctriques 24 kV 400 A i 16 kA.

La part de BT disposa d'un interruptor manual de tall en carrega de 1.250 A i 3 fusibles de NH-4 1.250 A.

C.6 Dimensionament sortida centre fotovoltaic

El cable que s'utilitzarà a sortida del centre serà un cable de 3x95 mm² d'alumini. S'ha calculat en l'apartat C1 que la intensitat nominal que sortirà del centre integrat serà de 18,18 A inferior al valor màxim admissible pel cable.

El cable de secció 95 mm² d'alumini pot suportar 235 A segons fabricant.

C.7 Càlcul de posada a terra del centre fotovoltaic integrat

Es considera que la parcel·la on s'instal·larà el centre fotovoltaic integrat te una resistivitat mitja de 150 Ohm·m.

C.7.1 Determinació de les corrents màximes de posada a terra

Pel disseny de la instal·lació a terra s'ha utilitzat el "método de cálculo de proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación conectados a redes de tercera categoría" editat per UNESA.

El centre integrat pertany a instal·lacions de MT de tercera categoria, els paràmetres que determinen els càlculs de falles a terra son els següents:

Tipus de neutre: El neutre de la xarxa pot estar aïllat, rígidament unit a terra. Això produirà una limitació de la corrent de la falla, en funció de les longituds de línies o dels valors d'impedància en cada cas.

Tipus de proteccions. Quan es produeix un defecte, aquest s'eliminarà mitjançant l'obertura d'un element de tall que actua per indicació d'un dispositiu relé d'intensitat, que pot actuar en un temps fix (temps fix), o segons una corba de tipus invers (temps dependent). Addicionalment, poden existir reenganxaments posteriors al primer tret, que només influiran en els càlculs si es produeixen en un temps inferior als 0,5 segons.

No obstant això, i donada la casuística existent dins de les xarxes de cada companyia subministradora, en ocasions s'ha de resoldre aquest càlcul considerant la intensitat màxima empírica i un temps màxim de ruptura, valors que, com els altres, han de ser indicats per la companyia elèctrica.

La Intensitat màxima de defecte ve donada per l'equació 59.

$$I_{d \max \text{ cal.}} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_n^2 + X_n^2}} \quad (\text{Eq.59})$$

U_n Tensió de servei [kV]

R_n Resistència de posada a terra del neutre [Ohm]

X_n Reactància de posada a terra del neutre [Ohm]

$I_{d \max \text{ cal.}}$ Intensitat màxima calculada [A]

$$I_{d \max \text{ cal.}} = 277 \text{ A} \quad (\text{Eq.60})$$

Superior o similar el valor establert per la companyia elèctrica que es de

$$I_{d \max} = 200 \text{ A} \quad (\text{Eq.61})$$

C.7.2 Càlcul de la resistència del sistema de terra de protecció

Característiques de la xarxa			
Tensió de servei	U	kV	20
Resistència del neutre	R _n	Ohm	
Reactància del neutre	X _n	Ohm	
Limitació de la intensitat a terra	I _{dm}	A	200
Tipus de protecció			
Intensitat d'arrencada	I' _a	A	100
Temps de rebuig	t'	s	0,5
Nivell d'aïllament de les instal·lacions			
Tensió	V _{bt}	V	8000
Característiques del terreny			
Resistència de terra	R _o	Ohm·m	150
Resistència formigó	R _{o'}	Ohm·m	3000

Taula 45 Paràmetres càlcul de posada a terra

La resistència màxima de la posada a terra de protecció de la caseta, i la intensitat del defecte surten de l'equació 62.

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt} \quad (\text{Eq.62})$$

I_d intensitat de falla a terra [A]

R_t resistència total de posada a terra [Ohm]

V_{bt} tensió d'aïllament a baixa tensió [V]

La intensitat de defecte es calcula amb l'equació 63

$$I_d = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}} \quad (\text{Eq.63})$$

U_n tensió de servei [V]

R_n resistència de posada a terra del neutre [Ohm]

R_t resistència total de posada a terra [Ohm]

X_n reactància de posada a terra del neutre [Ohm]

I_d intensitat de falla a terra[A]

Operant amb les equacions descrites els resultats són:

$$I_d = 277,55 \text{ A} \quad (\text{Eq.64})$$

I la resistència total,

$$R_t = 28,82 \quad (\text{Eq.65})$$

Es selecciona l'elèctrode tipus (entre els inclosos en les taules, i d'aplicació en aquest cas concret, segons les condicions del sistema de terres) que compleix el requisit de tenir una E_r més propera inferior o igual a la calculada per a aquest cas i per a aquest centre.

Valor unitari de resistència de posada a terra de l'elèctrode:

$$K_r \leq \frac{R_t}{R_o} \quad (\text{Eq.66})$$

R_t resistència total de posada a terra [Ohm]

R_o resistivitat del terreny en [Ohm·m]

K_r coeficient de l'elèctrode

$$K_r <= 0.1921$$

La configuració adequada pel centre fotovoltaic integrat escollida és 70-25/5/42.

PROFUNDIDAD = 0'5 m

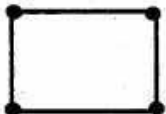
CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.108	0.0214	0.0645	70-25/5/00
4 picas 	2	0.084	0.0186	0.0409	70-25/5/42
	4	0.070	0.0148	0.0299	70-25/5/44
	6	0.060	0.0123	0.0233	70-25/5/46
	8	0.053	0.0104	0.0190	70-25/5/48

Figura 47 Configuració terra de protecció

$$R'_t = K_r \cdot R_o \tag{Eq.67}$$

El valor real de la resistència de posada a terra de l'edifici serà R'_t

K_r coeficient del elèctrode

R_o resistivitat del terreny en [Ohm·m]

R'_t resistència total de posada a terra [Ohm]

Per tant, el centre fotovoltaic integrat tindrà una resistència total de 12,6 Ohm i una intensitat de defecte de 200 A segons l'equació 63.

C.7.3 Càlcul de la resistència del sistema de terra de servei

Per garantir que el sistema de terres de protecció no transfereixi tensions al sistema de terra de servei es connectarà el sistema de terres de servei el neutre del transformador així com el terra dels secundaris dels transformadors de tensió i de les cel·les. El disseny de la configuració es realitzarà de la mateixa manera que anteriorment i l'elèctrode resultant tindrà les característiques representades a la taula 46.

Connexió neutre	Transformador 630 kVa
Geometria del sistema	Piques en filera
Profunditat de l'elèctrode	0.5 m
Numero de piques	3
Longitud de les piques	2 m
Separació entre piques	3 m

Taula 46 Característiques terra de servei

C.8 Càlcul de les tensions de pas

C.8.1 Tensions interiors

Adoptant les mesures de seguretat addicionals, no es necessari calcular les tensions de pas i contacte a l'interior de l'edifici ja que es pràcticament nul·la.

La tensió de defecte ve donada per l'equació 68.

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d \quad (\text{Eq.68})$$

R'_t resistència total de posada a terra [Ohm]

I'_d intensitat de defecte [A]

V'_d tensió de defecte [V]

Per tant la tensió de defecte serà

$$V'_d = 2520 \text{ V} \quad (\text{Eq.69})$$

La tensió de pas en l'accés serà igual al valor de la tensió màxima de contacte ja que es col·locarà una malla equipotencial connectada a l'elèctrode de terra.

$$V'_c = K_c \cdot R_o \cdot I'_d \quad (\text{Eq.70})$$

K_c coeficient

R_o resistivitat del terreny en [Ohm·m]

I'_d intensitat de defecte [A]

V'_c tensió de pas a l'accés [V]

Per tant, tindrem en el centre integrat una tensió de pas de $V'_c = 1227 \text{ V}$.

C.8.2 Tensions exteriors

Tensió de pas a l'exterior.

$$V'_p = K_p \cdot R_o \cdot I'_d \quad (\text{Eq.71})$$

K_p coeficient

R_o resistivitat del terreny en [Ohm·m]

I'_d intensitat de defecte [A]

V'_p tensió de pas a l'exterior [V]

En aquest cas la tensió es de $V'_p = 558 \text{ V}$.

C.9 Càlcul de les tensions aplicades

Els valors admissibles són per una duració total de la falta igual a:

$$t = 0,5 \text{ seg} \quad (\text{Eq.72})$$

$$K = 72 \quad (\text{Eq.73})$$

$$n = 1 \quad (\text{Eq.74})$$

La tensió de pas a l'exterior ve donada per l'equació 75.

$$V_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot R_o}{1000} \right) \quad (\text{Eq.75})$$

K coeficient

t temps total de duració de la falla [s]

n coeficient

R_o resistivitat del terreny en [Ohm·m]

V_p tensió admissible de pas a l' exterior [V]

Per tant en aquest cas la tensió admissible en l'exterior del centre es de 2736 V.

La tensió de pas en l'accés al centre ve donada per l'equació 76.

$$V_{p(acc)} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot R_o + 3 \cdot R'_o}{1000} \right) \quad (\text{Eq.76})$$

K coeficient

t temps total de duració de la falla [s]

n coeficient

R_o resistivitat del terreny en [Ohm·m]

R'_o resistivitat del formigó en [Ohm·m]

V_{p(acc)} tensió admissible de pas en l' accés [V]

En aquest cas la tensió d'accés és 15048 V

Comprovem que els valors calculats per aquest centre son inferiors als valors admissibles.

Tensió de pas en el exterior del centro	V _p = 558 V < V _p = 2736 V
Tensió de pas en el accés al centro	V _{p(acc)} = 1227 V < V _{p(acc)} = 15048 V
Tensió de defecte	V _d = 2520 V < V _{bt} = 8000 V
Intensitat de defecte	I _a = 100 A < I _d = 200 A < I _{dm} = 200 A

Taula 47 Valors admissibles

D Càlcul del VAN i el TIR

Per calcular el VAN (Valor Actual Neto) s'ha utilitzat l'equació 77

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+k)^t} - I_0 \quad (\text{Eq.77})$$

Vt Representa els fluxos de caixa en cada període de t

I₀ es el valor del inicial de la inversió

n es el numero de períodes considerat

k es el tipus d'interès

El TIR es el tipus de descompte que fa que el VAN sigui zero.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+TIR)^t} - I_0 \quad (\text{Eq.78})$$