

# AUDITORIA D'UN SISTEMA D'ENERGIA SOLAR D'AUTOCONSUM FOTOVOLTAIC

Document:  
Memòria

Autora:  
Mar Ortega Hinojo

Director /Co-director:  
Ricard Consul Serracanta / -

Titulació:  
Grau en Enginyeria Elèctrica

Convocatòria:  
Primavera

TREBALL FINAL D'ESTUDIS

# ÍNDEX CONTINGUTS

---

Agraïments.....	10
Abstracte.....	11
CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ .....	12
1.1. Objecte.....	12
1.2. Abast.....	12
1.3. Requeriments .....	13
1.4. Justificació .....	13
CAPÍTOL 2: MARC TEÒRIC.....	15
2.1. El Sol.....	15
2.1.1. Moviment de la Terra i el Sol .....	15
2.1.2. Radiació solar .....	17
2.2. Irradiància e irradiació.....	17
2.3. Inclinacions .....	19
2.4. Cèl·lula fotovoltaica.....	21
2.4.1. Cèl·lula monocristal·lina .....	22
2.4.2. Cèl·lula policristal·lina.....	23
2.4.3. Cèl·lula amorfa .....	23
2.4.4. Cèl·lula bifacial .....	24
2.5. Components d'una instal·lació solar FV .....	24
2.5.1. Panell fotovoltaic.....	25
2.5.2. Inversor .....	32
2.5.3. Mesurador de potència.....	35
2.5.4. Estructures de suport.....	35
CAPÍTOL 3: ESTUDI PRÈVI.....	38
3.1. Introducció.....	38
3.2. Configuració d'una planta fotovoltaica .....	38
3.2.1. Estudi de nombre de captadors en sèrie .....	39
3.2.2. Estudi de nombre de cadenes en paral·lel.....	41
3.2.3. Comprovació de correcte configuració .....	41
3.3. Cablejat d'una instal·lació solar fotovoltaica .....	41
3.3.1. Conductors de corrent altern.....	42
3.3.2. Conductors de corrent continu.....	43
3.3.3. Secció dels conductors .....	44

3.3.4.	Elecció .....	49
3.4.	Proteccions d'una instal·lació solar fotovoltaica .....	49
3.4.1.	Sobretensions .....	50
3.4.2.	Fusibles .....	54
3.4.3.	Magnetotèrmic .....	55
3.4.4.	Diferencial .....	57
3.4.5.	Interconnexió.....	58
3.4.6.	Presa de terra.....	59
3.5.	Estudi d'ombres d'una planta fotovoltaica .....	63
3.5.1.	Solució díode bypass .....	64
3.5.2.	Separació dels captadors.....	66
3.5.3.	Càlculs.....	67
3.6.	Legalització d'una planta fotovoltaica .....	68
3.6.1.	Comunicació d'obres .....	70
3.6.2.	CIEBT.....	71
3.6.3.	RITSIC .....	71
3.6.4.	Posada en servei.....	72
3.6.5.	RAC.....	73
3.6.6.	Condicions tècniques i obligacions del titular .....	74
CAPÍTOL 4:	AUDITORIA EN PLANTA REAL .....	76
4.1.	Presentació de la instal·lació.....	76
4.2.	Informació obtinguda .....	78
4.3.	Estudi de configuració de la planta.....	78
4.3.1.	Proves físiques per determinació de strings.....	80
4.3.2.	Resolució matemàtica per determinació de strings.....	84
4.4.	Revisió de cablejat.....	89
4.4.1.	Conductors de corrent continu.....	89
4.4.2.	Conductors de corrent altern.....	93
4.4.3.	Comparativa de resultats.....	98
4.5.	Estudi de proteccions.....	100
4.5.1.	Proteccions circuit DC .....	101
4.5.2.	Proteccions circuit AC .....	106
4.5.3.	Protecció presa de terra .....	112
4.6.	Estudi d'ombres .....	116
4.6.1.	Resultats.....	124

4.7. Revisió de tràmits legals .....	124
4.8. Anàlisi de l'estat dels captadors .....	129
4.9. Resultats.....	131
CAPÍTOL 5: CONCLUSIONS .....	135
CAPÍTOL 6: BIBLIOGRAFIES.....	136
6.1. Bibliografia Pàgines Web.....	136
6.2. Bibliografia Taules i Figures .....	138
6.3. Bibliografia Normatives consultades.....	141

## ÍNDEX TAULES

---

Taula 1 – Seccions normalitzats de conductors DC. [I14].....	43
Taula 2 – Valors de resistivitat segons temperatures.....	46
Taula 3 – Intensitats nominals normalitzades de fusibles BT. [I16] .....	54
Taula 4 – Taula de criteris per protecció de fusibles. [I16].....	55
Taula 5 – Intensitats nominals normalitzades de magnetotèrmics. [I16] .....	56
Taula 6 – Norma d'homologació magnetotèrmics. [I16] .....	57
Taula 7 – Càlcul de resistència segons resistivitat. [I17].....	61
Taula 8 – Resistivitat segons naturalesa del terreny. [I17].....	62
Taula 9 – Càlcul de secció per conductor de terra. [I17].....	62
Taula 10 – Tipologia d'instal·lacions segons grup. [I23].....	69
Taula 11 – Recull de dades tècniques del captador instal·lat a planta. ....	84
Taula 12 – Recull de dades tècniques de l'inversor ECO 25.0-3-S. ....	85
Taula 13 – Recull de dades tècniques de l'inversor SYMO 15.0-3-M. ....	87
Taula 14 – Dades tècniques restants dels dos inversors.....	89
Taula 15 – Recull de seccions de conductors.....	112
Taula 16 – Angles d'ombres per creació de diagrama. Punt de vista A.....	118
Taula 17 – Resultats de pèrdues. Punt de vista A.....	119
Taula 18 – Angles d'ombres per creació de diagrama. Punt de vista B.....	120
Taula 19 – Resultats de pèrdues. Punt de vista B.....	121
Taula 20 – Angles d'ombres per creació de diagrama. Punt de vista C.....	121
Taula 21 – Resultats de pèrdues. Punt de vista C. ....	122
Taula 22 – Angles d'ombres per creació de diagrama. Punt de vista D.....	123
Taula 23 – Resultats de pèrdues. Punt de vista D. ....	123
Taula 24 – Resultat total de pèrdues segons tram.....	124
Taula 25 – Comparativa entre dades tècniques i mesures físiques del captador.....	130
Taula 26 – Taula resum de l'auditoria a la planta fotovoltaica.....	133

## ÍNDIX FIGURES

---

Figura 1 – Activitat de rotació i translació de la Terra. [I1] .....	16
Figura 2 – Posicions des del punt de vista terrestre. [I2] .....	16
Figura 3 – Radiacions sobre superfície inclinada. [I3] .....	19
Figura 4 – Raigs solars segons estació. [I4] .....	20
Figura 5 – Angles de la Terra. [I5] .....	21
Figura 6 – Capes de la cel·la fotovoltaica. [I6] .....	22
Figura 7 – Enllaços d'electrons entre cèl·lules. [I5] .....	22
Figura 8 – Mòdul solar amb cel·la monocristal·lina. [I7] .....	23
Figura 9 – Mòdul solar amb cel·la policristal·lina. [I7] .....	23
Figura 10 – Mòdul solar amb cel·la amorfa. [I7] .....	24
Figura 11 – Mòdul solar bifacial. [I8] .....	24
Figura 12 – Símbol mòdul fotovoltaic. Creació pròpia amb AutoCad .....	25
Figura 13 – Corba I-V de mòdul fotovoltaic. [I9] .....	27
Figura 14 – Corba I-V de mòdul FV en funció de la irradiància. ....	28
Figura 15 – Corba I-V de mòdul FV en funció de la temperatura. ....	28
Figura 16 – Corba I-V del comportament de cel·les en sèrie. [I10] .....	29
Figura 17 – Connexió de mòduls en sèrie. [I11] .....	30
Figura 18 - Corba I-V del comportament de cel·les en paral·lel. [I10] .....	31
Figura 19 – Connexió de mòduls en sèrie. [I11] .....	31
Figura 20 – Connexió de mòduls en sèrie-paral·lel. [I11] .....	32
Figura 21 – Símbol inversor fotovoltaic. Creació pròpia amb AutoCad .....	32
Figura 22 – Estructura de suport sobre superfície inclinada. [I12] .....	36
Figura 23 – Estructura de suport sobre superfície plana. [I12] .....	36
Figura 24 – Estructura de suport tipus bastidor. [I12] .....	37
Figura 25 – Estructura de suport tipus marquesina. [I12] .....	37
Figura 26 – Estructura de suport sobre superfície no perforable. [I12] .....	37
Figura 27 – Seguidors MPPT i entrades d'inversor. [I13] .....	41
Figura 28 – Taula de seccions segons del REBT. [I15] .....	44
Figura 29 – Esquema unifilar d'un tipus d'instal·lació FV. Creació pròpia amb Autocad. ....	50
Figura 30 – Símbol sobretensions. Creació pròpia amb Autocad. ....	50
Figura 31 – Símbol fusible. Creació pròpia amb Autocad. ....	55
Figura 32 – Símbol magnetotèrmic. Creació pròpia amb Autocad. ....	57
Figura 33 – Símbol diferencial. Creació pròpia amb Autocad .....	58
Figura 34 – Símbol presa a terra. Creació pròpia amb Autocad. ....	62
Figura 35 – Corba I-V comparativa mòduls amb i sense ombres. [I18] .....	64
Figura 36 – Actuació de cel·la amb díode bypass. [I19] .....	64
Figura 37 – Conductivitat d'intensitat entre cel·les amb díode bypass. [I20] .....	65
Figura 38 – Conductivitat d'intensitat entre mòduls amb díode bypass. [I21] .....	65
Figura 39 – Corba I-V amb díodes bypass. [I18] .....	65
Figura 40 – Distància mínima entre captadors. Creació pròpia amb Autocad. ....	66

Figura 41 – Diagrama del Sol. [I22].....	67
Figura 42 – Pèrdues màximes per ombres. [I22].....	68
Figura 43 – Planta coberta de la instal·lació. Extret de Google Earth. ....	76
Figura 44 – Alçada des de sala tècnica fins quadre BT. Extret de Google Earth.....	77
Figura 45 – Distribució de mòduls per strings. Creació pròpia amb Autocad.....	79
Figura 46 – Cable DC de la instal·lació desconnectat.....	80
Figura 47 – Càlcul de tensió de circuit obert amb tots strings en funcionament. Inversor 1. ....	81
Figura 48 – Càlcul de tensió de circuit obert amb un string desconnectat. Inversor 1..	81
Figura 49 – Càlcul de tensió de circuit obert amb un string desconnectat. Inversor 2..	82
Figura 50 – Càlcul de tensió de circuit obert amb string contigu desconnectat. Inversor 2. ....	83
Figura 51 – Característiques tècniques del captador instal·lat a planta. ....	84
Figura 52 – Taula del RD amb secció indicada. Creació pròpia amb Autocad. ....	90
Figura 53 – Taula del RD amb secció indicada. Creació pròpia amb Autocad. ....	94
Figura 54 – Taula del RD amb secció indicada. Creació pròpia amb Autocad. ....	96
Figura 55 – Taula del RD amb secció indicada. Creació pròpia amb Autocad. ....	97
Figura 56 – Mesura amb peu de rei diàmetre de conductor DC.....	98
Figura 57 – Mesura amb peu de rei diàmetre de conductor AC.....	99
Figura 58 – Conductor AC amb secció indicada. ....	100
Figura 59 – Esquema multifilar de la instal·lació. Creació pròpia amb Autocad.....	101
Figura 60 – Quadres DC de la planta fotovoltaica. ....	102
Figura 61 – Quadre DC per Inversor ECO 25.0-3-S.....	102
Figura 62 – Quadre DC per Inversor SYMO 15.0-3-M.....	103
Figura 63 – Fusibles de la instal·lació. ....	105
Figura 64 – Proteccions Sobretensions DC.....	106
Figura 65 – Quadre AC de la planta fotovoltaica. ....	107
Figura 66 – Proteccions Sobretensions AC.....	107
Figura 67 – Magnetotèrmics quadre AC. ....	108
Figura 68 – Diferencial quadre AC.....	111
Figura 69 – Fitxa tècnica inversors. Detall proteccions.....	112
Figura 70 – Comprovació per pantalla freqüència de l'inversor.....	112
Figura 71 – Mesura amb peu de rei diàmetre de conductor terra DC.....	113
Figura 72 – Mesura amb peu de rei diàmetre de conductor terra DC. Inversor 1.....	113
Figura 73 – Mesura amb peu de rei diàmetre de conductor terra DC. Inversor 2.....	114
Figura 74 – Conductor terra amb secció indicada.....	114
Figura 75 – Retall del CIEBT de la planta.....	114
Figura 76 – Únic conductor de terra a la planta.....	115
Figura 77 – Pinça conductora entre panells. ....	116
Figura 78 – Safates de la instal·lació.....	116
Figura 79 – Mòduls inferiors de la planta fotovoltaica. ....	117
Figura 80 – Pla dels captadors i l'edifici d'ombres. Cotes generals. Creació pròpia amb Autocad.....	117
Figura 81 – Pla dels captadors i l'edifici d'ombres. Cotes punt vista A. Creació pròpia amb Autocad. ....	118

Figura 82 – Diagrama del Sol amb ombres representades. Punt de vista A. Creació pròpia amb Autocad. ....	119
Figura 83 – Pla dels captadors i l'edifici d'ombres. Cotes punt vista B. Creació pròpia amb Autocad. ....	120
Figura 84 – Diagrama del Sol amb ombres representades. Punt de vista B. Creació pròpia amb Autocad. ....	120
Figura 85 – Pla dels captadors i l'edifici d'ombres. Cotes punt vista C. Creació pròpia amb Autocad. ....	121
Figura 86 – Diagrama del Sol amb ombres representades. Punt de vista C. Creació pròpia amb Autocad. ....	122
Figura 87 – Pla dels captadors i l'edifici d'ombres. Cotes punt vista D Creació pròpia amb Autocad. ....	122
Figura 88 – Diagrama del Sol amb ombres representades. Punt de vista D. Creació pròpia amb Autocad. ....	123
Figura 89 – Retall de característiques tècniques del CIEBT de la planta FV. ....	125
Figura 90 – Acta d'Inspecció inicial prèvia. ....	126
Figura 91 – Declaració responsable on s'esmenta el codi RITSIC. ....	127
Figura 92 – Albarà de Posada en Servei de la instal·lació. ....	127
Figura 93 – Justificant d'acompliment del procediment de producció d'energia on s'esmenta el RIPRE. ....	128
Figura 94 – Mòdul amb el que realitzar proves. ....	129
Figura 95 – Proves a mòdul fotovoltaic desconnectat. ....	130



## LLISTA D'ABREVIATURES / GLOSSARI

---

DC	Direct Current
AC	Alternating Current
FV	Fotovoltaica
STC	Standar Test Condition
NOCT	Normal Operating Cell Temperature
RD	Real Decreto
REBT	Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión
MPP	Maximum Power Point
MPPT	Maximum Power Point Tracker
ITC	Instrucción Técnica Complementaria
BT	Baja Tensión
UNE	Una Norma Española
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
OC	Organisme de Control
ENDESA	Empresa Nacional de Electricidad, S.A.
XLPE	Polietileno reticulado
EPR	Etileno propileno
PVC	Policloruro de Vinilo
CIEBT	Certificado de Instalación Eléctrica de Baja Tensión
RASIC	Registre d'Agents de la Seguretat Industrial de Catalunya
RITSIC	Registro de Instalaciones Técnicas de Seguridad Industrial de Catalunya
RIPRE	Registro de Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica en Régimen Especial
CAU	Código de Autoconsumo
RAC	Registre d'Autoconsum de Catalunya
IGA	Interruptor General Automático
CP	Código Postal
CDT	Caiguda de tensió

## Agraïments

Agraeixo l'ajuda i recolzament incondicional de la meva família durant tot el grau. Destacar la paciència en els últims mesos per el desenvolupament del treball de fi de carrera.

Els darrers anys, els meus companys han resultat un suport únic amb els quals empatitzar i fer més agradable el transcurs de la vida universitària. Les hores de treball en comú han creat una unió indescriptible.

Agrair l'ajuda del meu tutor Ricard Consul, per brindar-me l'oportunitat de treballar i crear amb ell. M'ha guiat en tot el procés per afrontar-lo i obtenir grans resultats. És una de les persones de les que més he après en la universitat sens dubte.

## Abstracte

El projecte es centra en la idea principal d'establir una guia per al dimensionat d'instal·lacions solars fotovoltaiques d'autoconsum. Actualment, existeixen plantes que han quedat endarrerides en normativa o altres que s'han dissenyat i executat de forma incorrecte.

El primer bloc consisteix en una introducció dels temes a tractar. S'explica des de l'arrel, començant per com els rajos solars incideixen sobre la superfície terrestre. Es posa en context els components d'una planta fotovoltaica, tant les característiques físiques com els paràmetres elèctrics.

Al següent bloc s'abasteixen temes com el disseny, els conductors, les proteccions, l'ombregat i les legalitzacions. Tots ells s'estudien amb profunditat sota compliment de normatives i decrets.

El darrer bloc resulta d'utilitat per posar-ho en pràctica amb una instal·lació existent. Són avaluats els criteris i aspectes tractats per la determinació d'errors i així poder establir, com seria un correcte dimensionat. Per desenvolupar l'auditoria es realitzen visites a una planta i s'obtenen documents per assolir el màxim d'informació.

Amb tota la informació reunida i l'anàlisi aplicat, es crea una taula resum on s'especifiquen els resultats i el respectiu estat.

## Abstract

The project is focused on the main idea of establishing a guide for the dimensioning of solar photovoltaic installations for self-consumption. Currently, there are plants that have been left behind regulations or others that have been designed and executed incorrectly.

The first block consists of an introduction to the topics to be covered. It is explained from the beginning, starting with how the sun's rays affect the earth's surface. The components of a photovoltaic plant are put in context, both the physical characteristics and the electrical parameters.

The next block deals with topics such as design, conductors, protections, shadows and legalities. All of them are studied in depth in compliance with regulations and decrees.

The last block is useful to put it into practice with an existing installation. The criteria and aspects dealt with for the determination of errors are evaluated in order to be able to establish how a correct sizing would be. In order to develop the audit, visits to a plant are made and documents are obtained to get the maximum amount of information.

With all the information gathered and the analysis applied, a summary table is created where the results and the respective status are specified.

## CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ

---

### 1.1. Objecte

A causa de l'increment de preus actuals de l'electricitat, a la maduresa de la tecnologia i al "push" governamental, les instal·lacions d'energia solar fotovoltaica estan proliferant de forma notable al nostre país. No obstant, la relativa inexperiència d'enginyeries i d'empreses instal·ladores està repercutint en el seu correcte disseny, execució i legalització d'aquestes.

L'objecte d'aquest projecte és identificar els principals criteris de disseny i dimensionament de les nostres instal·lacions amb el correcte compliment dels requeriments reglamentats. S'identificaran els principals aspectes a revisar en l'execució del funcionament de les instal·lacions i finalment, es descriuran tots els tràmits establerts pel correcte registre de les instal·lacions.

La metodologia proposada s'analitzarà sobre una planta real de 40 kWp ubicada al barri de Poble Nou de Barcelona. Es revisaran possibles errors de disseny, execució, i el correcte registre.

El projecte es duu a terme en el marc del projecte de suport tècnic amb l'empresa Solandgo Energy, S.L. [C12063].

### 1.2. Abast

El projecte serà dividit en diferents blocs.

1. Estat de l'art del sector i beneficis de les instal·lacions solars fotovoltaiques.
2. Identificació dels principals criteris en dimensionament i disseny de les instal·lacions d'autoconsum. Configuració de les plantes: selecció d'inversors i configuració de cadenes o strings. Disseny de cablejat i proteccions segons REBT.
3. Identificació de tràmits necessaris: tràmits amb administració autonòmica, amb administració local i amb companyia distribuïdora i comercialitzadora.
4. Desenvolupament d'una metodologia per a l'auditoria de les instal·lacions.
  - a. Verificació dels requisits del projecte.
  - b. Execució i funcionament de les plantes. Aspectes principals a verificar com tensions, producció, entre d'altres.
  - c. Revisió dels tràmits legals pertinents.

5. Aplicació de la metodologia desenvolupada a una planta real. Anàlisi de la planta i comprovació del seu correcte disseny, execució i legalització. Identificació de possibles accions correctives i propostes per a la millora de les seves prestacions.
6. Estudi del projecte tal com ha estat plantejat i si serà rendible el seu ús per a instal·lacions solars fotovoltaïques d'autoconsum. Es podrà plasmar per exemple, en la planta real que analitzarem.

### 1.3. Requeriments

Els requeriments mínims del projecte són els següents:

- Compliment de la normativa del Reial Decret de Baixa Tensió (REBT).
- Compliment d'ordenances autonòmiques, locals i companyies distribuïdores.
- Identificació dels criteris de dimensionat i disseny per a instal·lacions d'autoconsum.
- Ús de programa AutoCad per al disseny de plànols i esquemes elèctrics.
- Realització de simulació numèrica de processos de transferència de calor i de generació elèctrica amb l'ajuda de programes com per exemple Excel.
- Desenvolupament d'eines pròpies i ús de softwares lliures i comercials d'estimació de producció d'energia elèctrica de plantes fotovoltaïques.
- Cerca de problemàtica en l'obra on s'actua.
- Determinar els factors més importants a l'hora de concloure en un estudi.
- Possibilitat d'aplicació de l'alternativa escollida per a qualsevol instal·lació solar fotovoltaïca d'autoconsum.

### 1.4. Justificació

El present projecte pretén obtenir un model per al correcte compliment a l'hora de dissenyar, dimensionar i executar sistemes d'energia solar d'autoconsum fotovoltaïcs.

És una motivació davant de l'increment de preus en l'electricitat i el creixement del sector en els darrers anys, poder realitzar un correcte plantejament d'estudi previ a l'execució d'una obra.

Ens trobem en un país on la instal·lació de captadors solars poden cobrir un gran percentatge del consum energètic. El sol és una font inesgotable d'energia i, cada vegada, les persones són més conscients que la implementació de panells és una bona solució.

L'estudi que es durà a terme en aquest projecte aspira a poder implementar-se en auditories d'instal·lacions solars. Un exemple d'aplicació, és per aquelles plantes que van

ser executades ràpidament i amb poca experiència per part d'empreses instal·ladores, les quals han sorgit recentment davant l'alta demanda.

Recentment han sorgit problemes amb instal·lacions solars tèrmiques les quals van ser erròniament dissenyades o executades i l'Ajuntament de Barcelona va crear un model per poder controlar-les. La idea d'aquest projecte és utilitzar aquest referent per a poder crear un model similar amb les instal·lacions solars fotovoltaïques.

Avantatges del treball és tenir accés a dades de la planta real que auditem de la mà de l'empresa Solandgo Energy S.L.. La instal·lació disposa d'un sistema de monitorització que permetrà analitzar les prestacions de la mateixa i a l'hora de fer una comparativa amb les estimacions numèriques que es presentaran. Així doncs, la informació és abundant i és possible l'execució d'aquesta part del projecte amb precisió.

## CAPÍTOL 2: MARC TEÒRIC

---

### 2.1. El Sol

El Sol es considera l'estrella més propera a la Terra. Té un radi de 1,4 milions de quilòmetres que compta en el seu interior de gasos a temperatures molt elevades, representant el 99,8% de la massa total del sistema solar. Al nucli la temperatura arriba als 15,5 milions de graus centígrads i en la superfície 5500 graus centígrads. [P1]

#### 2.1.1. Moviment de la Terra i el Sol

La Terra orbita al voltant del Sol descrivint una òrbita el·líptica, de forma que la distància sempre és variable. La distància més propera de la Terra sobre el Sol s'anomena periheli i, la distància més allunyada s'anomena afeli. Valors aproximats segons estudis anuals, durant el periheli es troba a 147,2 milions de quilòmetres i, durant el afeli a uns 152,1 milions de quilòmetres.

Les estacions anuals sorgeixen per la inclinació de l'eix de la Terra respecte al pla normal orbital. Aquest és de 23,5 graus i dona lloc a que les àrees de la Terra rebin quantitats diferents de radiació solar en diversos moments o estacions anuals.

La Terra respecte el Sol realitza dos moviments anomenats de rotació i de translació. El moviment de rotació es dona quan la Terra gira sobre el seu propi eix, el qual roman fixe, mentre que el moviment de translació succeeix quan la Terra gira en òrbita al voltant del Sol.

L'activitat de rotació té una durada de 24 hores (un dia sencer), obtenint com a conseqüència el que l'esser humà anomena dia i nit. Aquest succés es dona en sentit d'est a oest, apareixent el Sol abans respectivament. El moviment té una velocitat de 1.700 quilòmetres per hora a l'equador.

L'activitat de translació té una durada d'aproximadament 365 dies i 6 hores (un any sencer), obtenint com a conseqüència les estacions de l'any. Com s'ha comentat anteriorment, el moviment de translació es produeix en un angle de 23,5 graus respecte l'el·líptica a una velocitat de 108.000 quilòmetres per hora.

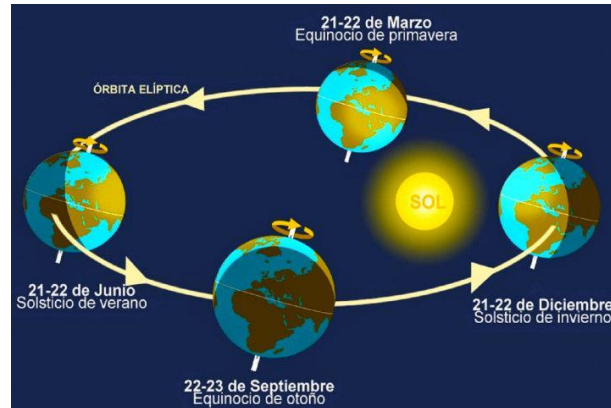


Figura 1 – Activitat de rotació i translació de la Terra. [I1]

L'amidament de les posicions des del punt de vista de la superfície terrestre es dona amb una eina anomenada coordenades horitzontals. Tenint present els punts cardinals nord, sud, est i oest, es determina un punt sobre la vertical en perpendicular a la superfície i se li anomena punt zenit (z). S'estableixen dues direccions que es quantifiquen amb angles. [P2]

- Altitud (h): Distància angular entre l'observador ubicat al pla horitzontal de la Terra i el Sol. S'estableix el  $0^\circ$  en l'horitzó fins als  $90^\circ$  en el zenit que es la màxima altura possible.
- Azimut (a): Distància angular entre el Sol i el nord, mesurat en sentit horari des del punt de vista de l'observador en el pla horitzontal de la Terra. S'estableix el  $0^\circ$  en el punt cardinal nord,  $90^\circ$  a l'est,  $180^\circ$  al sud, i  $270^\circ$  a l'oest. Segons les circumstàncies, és comú fer la mesura respecte el sud i, per tant, el  $0^\circ$  correspon al punt cardinal sud,  $90^\circ$  a l'oest,  $180^\circ$  al nord i  $270^\circ$  a l'est.

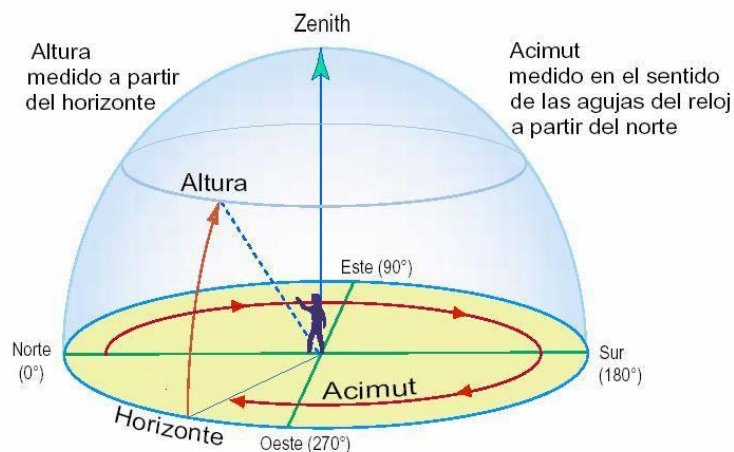


Figura 2 – Posicions des del punt de vista terrestre. [I2]



### 2.1.2. Radiació solar

L'energia que emet el Sol és anomenada radiació solar i es propaga en forma d'ones electromagnètiques. A l'interior del Sol es produeix el que s'anomena fusió nuclear, una reacció on els nuclis d'hidrogen es fusionen per l'obtenció d'heli. Aquesta reacció es produeix amb les altes temperatures per a que s'alliberi l'energia electromagnètica, que l'ésser humà rep en forma de calor i majoritàriament, en llum.

Una unitat de superfície com poden ser els mòduls fotovoltaics, absorbeixen aquesta energia que acaba incidint sobre la Terra, però, aquests no capten tota la radiació solar a causa de diversos components.

Es poden distingir dos factors diferents que fan que la radiació solar percebuda per la Terra no sigui la màxima.

#### a) Factors astronòmics i geogràfics

El Sol té dues trajectòries, l'annual i la diària. La quantitat de radiació que incideix sobre una superfície determinada depèn de la situació geogràfica d'aquesta, és a dir, la latitud.

L'energia que incideix durant el dia és major a les hores centrals diàries que en la sortida o posada del sol. Els raigs solars tenen una inclinació diferent segons l'estació de l'any, es distingeix que a l'hivern, cauen en un angle menor a l'horitzontal, mentre que a l'estiu és a la inversa.

#### b) Factors atmosfèrics

La radiació abans d'arribar a la superfície terrestre, es sotmet a factors que disminueixen la potència amb la que aquesta incideix.

- Dispersió: Partícules de pols en suspensió, molècules d'aigua.. Aquest factor fa que l'energia es desvii i no arribi a la Terra.
- Reflexió: Núvols, molècules de vapor d'aigua... Aquest factor fa que part de la radiació torni a l'espai.
- Difracció: Núvols sobre la radiació. Aquest factor fa que quan els rajos arriben amb menor energia que quan el Sol la emet, degut que, aquesta, travessa núvols i fa que es descompongui en diverses trajectòries.
- Absorció: Gasos com ozó, oxigen... Aquest factor fa que part de l'energia no sigui rebuda per la superfície terrestre per l'absorció per part dels gasos.

## 2.2. Irradiància e irradiació

La irradiància és la densitat de potència que incideix en una superfície per la radiació electromagnètica. Les seves unitats són  $W/m^2$ .

La irradiació solar és la magnitud d'energia per unitat de superfície de radiació solar durant un període de temps. Les seves unitats són Wh/m<sup>2</sup>.

A la superfície terrestre pot arribar un valor màxim de irradiància de 1000 W/m<sup>2</sup>. (AROS 2021)

La radiació solar quan arriba sobre la Terra sobre una superfície inclinada, es manifesta de diverses formes. S'esmenten els càlculs sobre una superfície de captació solar.

- Radiació solar directe ( $H_{(\beta,\alpha)}$ ): És la radiació que incideix sobre la superfície terrestre sense experimentar cap dispersió en la trajectòria al traspasar l'atmosfera.

$$H_{(\beta,\alpha)} = H_{dm(0)} * K$$

$$H_{dm(0)} = G_0 - D_0$$

On:

- $H_{(\beta,\alpha)}$ : Irradiància directe que arriba sobre un captador solar amb una inclinació. [W/m<sup>2</sup>]
  - $H_{dm(0)}$ : Irradiància directa que arriba sobre un panell solar horitzontal. [W/m<sup>2</sup>]
  - K: Factor de correcció de la irradiància directe (base de dades d'IDAE).
  - $G_0$ : Irradiància global horitzontal sobre la superfície de la Terra (base de dades d'IDAE). [W/m<sup>2</sup>]
  - $D_0$ : Irradiància difusa horitzontal sobre la superfície de la Terra. [W/m<sup>2</sup>]
- Radiació solar difusa ( $D_{(\beta,\alpha)}$ ): És la radiació que incideix sobre la superfície terrestre experimentant desviacions en la trajectòria al traspasar l'atmosfera.

$$D_{(\beta,\alpha)} = D_0 * \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right)$$

$$D_0 = F_{Dm} * G_0$$

$$F_{Dm} = 1 - 1,13 * K_{Tm}$$

$$K_{Tm} = \frac{G_0}{H_0}$$

- $D_{(\beta,\alpha)}$ : Irradiància difusa que arriba sobre un captador solar amb una inclinació. [W/m<sup>2</sup>]
- $\beta$ : Angle d'inclinació del captador solar. [deg]
- $F_{Dm}$ : Fracció difusa.
- $G_0$ : Radiació global horitzontal sobre la superfície de la Terra. [W/m<sup>2</sup>]
- $K_{Tm}$ : Índex de claredat.

- Radiació solar d'albedo o reflectida ( $AL_{(\beta,\alpha)}$ ): És la fracció de la radiació solar que prové del reflex per la superfície terrestre.

$$AL_{(\beta,\alpha)} = \rho * G_0 * \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right)$$

On:

- o  $\rho$ : Reflectivitat del terra i dependent de la composició d'aquest. Quan el valor es desconeix, és comú prendre  $\rho = 2$ .
- Radiació solar global ( $G_{(\beta,\alpha)}$ ): És la radiació que incideix sobre una superfície específica, la qual es compon per la suma de la radiació directa, difusa i d'albedo. Les seves unitats són  $W/m^2$ .

$$G_{(\beta,\alpha)} = H_{(\beta,\alpha)} + D_{(\beta,\alpha)} + AL_{(\beta,\alpha)}$$



Figura 3 – Radiacions sobre superfície inclinada. [I3]

La constant solar és la radiació solar per unitat de temps i unitat de superfície que arriba sobre l'exterior de l'atmosfera terrestre en un pla perpendicular. Aquesta és considerada constant. La constant solar ( $G_{sc}$ ) té un valor promig de  $1367.7 W/m^2$ . És un valor de referència utilitzat per a basar els valors reals de la llum solar que es rep.

### 2.3. Inclinacions

L'aprofitament d'energia solar al màxim en un captador solar depèn de la inclinació que se li dona a aquest. El més òptim seria utilitzar una estructura la qual pogués variar segons la posició del Sol, obtenint durant les hores diürnes del dia el panell en forma perpendicular a l'astre. Aquests són els mòduls solars parabòlics concentradors.

En aquest projecte s'estudia el cas d'una estructura fixa, degut que és el més comú i econòmic. Per això, es busca la inclinació idònia per aprofitar al màxim la radiació solar diària. Es defineix inclinació òptima com aquella que proporcioni el màxim guany solar durant tot l'any, tot i que aquestes varien segons l'estació anual. Es busca la més eficient que les abasteixi totes.

El Sol surt per l'Est i es pon per l'oest, passant per el punt zenit que és quan la irradiància és màxima. Els rajos solars abasteixen més àrea desperfecte quant més lluny es troba el Sol d'aquest punt, és a dir, per la matinada i al capvespre.

Durant els mesos d'estiu, la posició del Sol és més alta respecte l'hivern i els dies són més llargs, per tant un captador inclinat horitzontalment rep més quantitat d'energia. Per conseqüència, un captador inclinat vertical orientat al sud, rep més quantitat d'energia en els mesos d'hivern, aproximadament 1,5 vegades més respecte a un horitzontal. Així doncs, la millor orientació d'una superfície vertical o inclinada és la Sud. [P3]

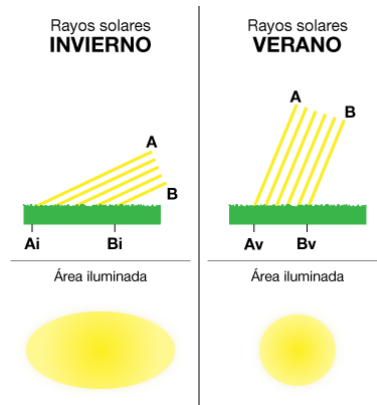


Figura 4 – Raigs solars segons estació. [14]

En primer lloc, es determina la situació geogràfica (país) on s'ubica la instal·lació. En el cas d'Espanya que es troba ubicada en l'hemisferi nord, els captadors van orientats al sud.

Per a determinar l'angle d'elevació òptim per un panell solar, es tenen en compte diversos angles, els quals es poden veure representats a la Figura 5. Tots ells tenen com a unitats graus.

$\varnothing$  : Angle de latitud format entre l'equador terrestre i el paral·lel de la superfície del captador fotovoltaic. Màxim  $90^\circ$  i mínim  $-90^\circ$ . Com Espanya es troba en l'hemisferi nord, l'angle oscil·larà entre  $0^\circ$  i  $90^\circ$ .

$\delta$  : Angle de declinació solar donat per la posició del Sol a mig dia i el pla format per l'el·líptica. És a dir, angle que es forma entre l'equador i el centre solar. Aquest obté diferents valors segons l'estació de l'any, essent màxim al solstici d'estiu ( $23,45^\circ$ ), mínim al solstici d'hivern ( $-23,45^\circ$ ) i nul als equinoccis de primavera i tardor ( $0^\circ$ ).

El càlcul és el següent:

$$\delta = 23,45 * \sin\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right)$$

On "n" és el dia de l'any exacte del càlcul. S'estima un dia mig de cada mes acumulatiu.

$\beta$  : Angle d'inclinació entre el panell fotovoltaic i la horitzontal de la superfície terrestre. Mínim  $0^\circ$  i màxim  $90^\circ$ .

$\theta$  : Angle d'incidència format pel vector de la radiació directa solar ( $G_{(\beta,\alpha)}$ ) i la direcció perpendicular de la superfície del panell de captació. [P4]

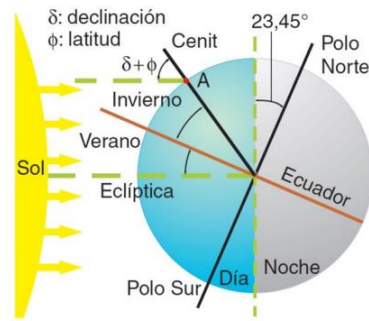


Figura 5 – Angles de la Terra. [15]

Al mig dia, hora en que el Sol creua el sud solar, es dona la següent expressió:

$$\theta = \phi - \beta - \delta$$

Havent definit els paràmetres, la inclinació idònia és la que fa que l'angle d'incidència sigui zero ( $\theta = 0$ ). Per tant, l'expressió queda:

$$\beta = \phi - \delta$$

Com s'ha vist anteriorment, l'angle de declinació solar varia diàriament, per tant si es fa la mitja d'aquest, obtenim un valor de  $0^\circ$ .

$$\bar{\delta} = \frac{\delta_{\text{Estiu}} + \delta_{\text{Hivern}} + \delta_{\text{Primavera}} + \delta_{\text{Tardor}}}{4} = \frac{23,45^\circ + (-23,45^\circ) + 0^\circ + 0^\circ}{4} = 0^\circ$$

Així doncs, s'obté la fórmula:  $\beta = \phi$  que determina que l'angle d'inclinació de la superfície és igual a la latitud del terreny on s'actua.

Per conseqüència, si es parlés de captadors parabòlics concentradors, ens haguéssim quedat en la fórmula  $\beta = \phi - \delta$ .

Els paràmetres definits, seran posats en coneixement en un estudi real.

## 2.4. Cèl·lula fotovoltaica

El panell solar és l'encarregat en captar la radiació solar i transformar-la en energia elèctrica a través del fenomen fotovoltaic. La part principal d'un mòdul fotovoltaic és la cèl·lula fotovoltaica, formada per material semiconductor, freqüentment silici en forma cristal·lina sense imperfeccions. El silici compta amb quatre electrons de valència.

Les cel·les fotovoltaiques estan formades per dos parts amb unió p-n tal i com s'observa a la Figura 6.

La capa superior és l'emissor (N) que, acostuma a ser un material com el fòsfor donat que té cinc electrons a la capa de valència, és a dir, compta amb electrons lliures.

La capa inferior és la base (P) que, acostuma a ser dopat amb un material com el bor, ja que aquest té tres electrons a la capa de valència, és a dir, compta amb un electró de valència menys.

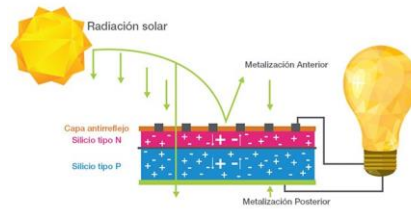


Figura 6 – Capes de la cel·la fotovoltaica. [16]

Quan s'uneixen els dos semiconductors (p-n), comença el procés d'intercanvi d'electrons. Els espais de la regió p s'injecten a la zona n, apareixent dos corrents de diferent sentit però, com són partícules de diferent signe, aquests no són anul·lats i donen lloc a un corrent total aprofitable. La cèl·lula solar es comporta com un díode, és a dir, condueix el corrent en un sentit únic.

La zona n és la que rep la radiació solar i, mentre aquest fenomen succeeixi, hi haurà circulació d'electrons entre les dues regions mentre aquestes mantinguin contacte metàl·lic.

Els enllaços creats Silici-Bor i Silici-Fòsfor, es poden veure a la Figura 7 i, observar que els primers tenen llocs buits però, els segons, pel contrari, tenen electrons sense enllaçar.

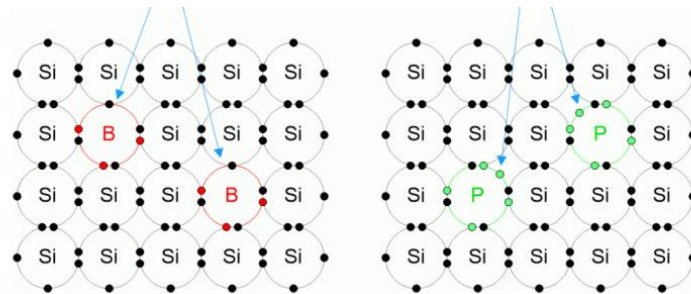


Figura 7 – Enllaços d'electrons entre cèl·lules. [15]

Existeixen diversos tipus de cèl·lules fotovoltaïques donades per la tecnologia de fabricació, segons si son de silici cristal·lí (monocristal·lines i policristal·lines) o de silici amorf.

#### 2.4.1. Cèl·lula monocristal·lina

La cèl·lula monocristal·lina és la que s'obté del silici pur fos dopat amb bor i compta amb els àtoms de silici perfectament alineats facilitant així la conductivitat. Aquesta té una

superfície de color negre o blau homogeni i cantonades arrodonides degut al procés de fabricació. S'observen a la Figura 8.

Són les que presenten un nivell més alt d'eficiència, oscil·lant entre el 18% i el 24% i, en conseqüència, són les que tenen un preu més elevat, el procés de fabricació és més lent.

Els captadors solars amb cèl·lules monocristal·lines treballen millor amb radiacions solars baixes degut que tenen un menor coeficient tèrmic i, per conseqüència, baixen l'eficiència amb l'increment de la temperatura ambient. [P5]



Figura 8 – Mòdul solar amb cel·la monocristal·lina. [17]

#### 2.4.2. Cèl·lula policristal·lina

La cèl·lula policristal·lina és la que s'obté del silici pur fos i dopat amb bor però minimitzant el nombre de fases de cristallització. Aquesta té una superfície estructurada en vidres i de diferents tons de color blau, apreciable a la Figura 9.

El procés de fabricació és més senzill que el de les monocristal·lines i per tant, són més econòmiques. Per conseqüència tenen un rendiment més baix que les anteriors, oscil·lant entre el 14% i el 19%. Així doncs, aquests captadors, necessiten disposar de més superfície per a una mateixa potència.

Tenen un coeficient tèrmic lleugerament superior a les cèl·lules monocristal·lines, per tant tenen un millor comportament davant l'increment de temperatura. [P5]



Figura 9 – Mòdul solar amb cel·la policristal·lina. [17]

#### 2.4.3. Cèl·lula amorfa

La cèl·lula amorfa té l'avantatge de ser semi flexible i poder depositar-se en forma de làmina prima no cristal·lina de silici sobre un substrat, com vidre o plàstic. Aquesta té

una superfície de color marró homogeni però sense connexió visible entre les diverses cèl·lules, tal i com mostra la Figura 10.

Tenen un procés de fabricació senzill i econòmic i, poden ser confeccionades sobre diferents superfícies, el que permet una millor integració arquitectònica. La desavantatge dels panells que disposen d'aquestes cèl·lules, és que tenen un rendiment força baix, entre el 10% i el 15% i, tenen una vida útil menor que els anteriors. [P5]



Figura 10 – Mòdul solar amb cel·la amorfa. [I7]

#### 2.4.4. Cèl·lula bifacial

La cèl·lula bifacial és creada amb una doble unió  $N^+ - P - P^+$ . Els panells amb aquesta tipologia de cèl·lules són capaços de recollir la radiació solar d'albedo, és a dir, la que es reflecta al terreny. La Figura 11 mostra un exemple del comportament.

El rendiment de les cèl·lules bifacials és el més alt, podent arribar al 30% sempre i quan sigui bona la qualitat de la superfície reflectida. [P5]

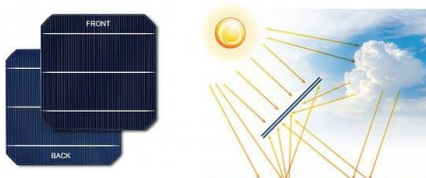


Figura 11 – Mòdul solar bifacial. [I8]

## 2.5. Components d'una instal·lació solar FV

A les instal·lacions solars fotovoltaïques intervenen diversos elements, els quals són desenvolupats en els propers subapartats.

L'obtenció de l'energia lluminosa provinent del Sol es dona per el panell solar o mòdul fotovoltaic. Per poder utilitzar aquesta energia, captada en corrent continu, en forma d'electricitat és necessari l'element anomenat Inversor, el qual s'encarrega de convertir aquest corrent del sistema en corrent altern, igual que la xarxa elèctrica.



Les estructures de suport dels mòduls formen part de les components fonamentals d'una instal·lació. També són necessaris equips de mesura per a supervisar el bon funcionament de la instal·lació un cop finalitzada, al igual que les proteccions tant per al tram de cablejat de contínua com per el tram d'alterna, és a dir, abans i després de l'inversor respectivament. Aquestes proteccions junt amb les respectives connexions, són desenvolupades més endavant al punt 3.4.

Depenent l'aplicació de la instal·lació solar fotovoltaica, també pot estar configurada a més a més per reguladors i/o bateries. Aquest cas no es contempla en el present projecte ja que no abasteix les instal·lacions aïllades de la xarxa ni l'emmagatzematge per l'ús posterior de l'energia.

### 2.5.1. Panell fotovoltaic

El mòdul fotovoltaic està compost per les cèl·lules anteriorment descrites segons necessitat, destinades a convertir els fotons provinents de l'energia solar per l'obtenció d'energia elèctrica en forma de corrent continu.

El símbol del captador fotovoltaic és:



Figura 12 – Símbol mòdul fotovoltaic. Creació pròpia amb AutoCad.

Tots els mòduls tenen una placa on s'especifiquen les característiques. Es classifiquen en físiques i elèctriques.

#### 2.5.1.1. Característiques físiques

- Coberta exterior

La coberta és l'envoltant de les cel·les que actua com a capa protectora dels agents atmosfèrics. Acostuma a ser material de vidre temperat el qual resisteix impactes i deixa passar la transmissió de la radiació solar. Sol tenir un espessor de 4 mm.

- Encapsulat

L'encapsulat és la protecció de les cèl·lules i de les connexions, format per EVA (Etil-vinil-acetilè), material que deixa transmetre la radiació solar i es comporta favorablement davant la degradació per medi de les radiacions ultraviolades. [P6]

- Part posterior

La part posterior està formada per materials acrílics del tipus EVA o TELDAT i s'encarreguen de protegir el captador de la humitat. [P6]

- Marc de suport

El marc de suport s'encarrega de sostenir el panell. Està compost per alumini anoditzat o acer inoxidable i és la part del captador que es connecta a terra per a la connexió equipotencial, connexió desenvolupada més endavant al punt 3.4.6. És la part que va subjecte a les estructures que sostenen el mòdul.

### 2.5.1.2. Paràmetres elèctrics

Les característiques elèctriques venen donades en la fitxa tècnica del mòdul en qüestió. Segons el tipus de captador, els paràmetres varien. A continuació es defineixen.

- Tensió en circuit obert ( $U_{oc}$ ): Tensió màxima mesurada als extrems de la cèl·lula quan no existeix cap càrrega connectada al panell, és a dir, quan el circuit es troba obert. Les unitats són volts [V].
- Corrent de curtcircuit ( $I_{sc}$ ): Corrent màxim mesurats als terminals de la cèl·lula curtcircuitats, per tant, la tensió en bornes és nul·la ( $V=0$ ). Aquest paràmetre depèn del tipus de l'àrea del panell, a major àrea, més gran serà el valor de corrent de curtcircuit. Les unitats són ampers [A].
- Potència màxima ( $P_{MPP}$ ): Màxima potència que pot proporcionar el mòdul en les millors condicions, és a dir, el valor pic d'aquest. Les unitats són watts [W].
- Tensió en el punt de màxima potència ( $U_{MPP}$ ): Tensió màxima que pot proporcionar el mòdul quan treballa en el valor de potència  $P_{MPP}$ . Les unitats són volts [V].
- Corrent en el punt de màxima potència ( $I_{MPP}$ ): Corrent màxim que pot proporcionar el mòdul quan treballa en el valor de potència  $P_{MPP}$ . Les unitats són ampers [A].
- Eficiència del mòdul ( $\eta$ ): Rendiment màxim que pot proporcionar el mòdul. És el producte entre la potència màxima del mòdul i la potència de radiació incident, la qual es tracta de la irradiància multiplicada per l'àrea del panell en qüestió. El paràmetre ve donat per el fabricant en condicions nominals. Les unitats són tant per cent [%].

Les condicions nominals solen definir-se per irradiància de  $1000 \text{ W/m}^2$ , distribució espectral AM1.5G i temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . S'anomenen condicions STC.

- Coeficient de temperatura de  $I_{sc}$  ( $\alpha$ ): És un valor positiu, així doncs, el corrent creix el valor del coeficient per cada grau centígrad que augmenta la temperatura. Les unitats són tant per cent entre graus centígrads [%/ $^\circ\text{C}$ ].

- Coeficient de temperatura de  $U_{oc}$  ( $\beta$ ): És un valor negatiu, així doncs, la tensió disminueix el valor del coeficient per cada grau centígrad que augmenta la temperatura. Les unitats són tant per cent entre graus centígrads [%/°C].
- Coeficient de temperatura de  $P$  ( $\delta$ ): És un valor negatiu, així doncs, la potència disminueix el valor del coeficient per cada grau centígrad que augmenta la temperatura. Les unitats són tant per cent entre graus centígrads [%/°C].
- Condicions d'operació de la cèl·lula (STC): Condicions del mòdul fotovoltaic definits amb valors d'irradiància de  $1000 \text{ W/m}^2$ , temperatura ambiental de  $25 \text{ °C}$ , velocitat del vent no especificat i distribució espectral AM1.5G.
- Condicions d'operació de la cèl·lula (NOCT): Condicions del mòdul fotovoltaic definits amb valors d'irradiància de  $800 \text{ W/m}^2$ , temperatura ambiental de  $20 \text{ °C}$ , velocitat del vent d' $1 \text{ m/s}$ , i distribució espectral AM1.5G.
- Factor de forma: Mesura de la corba del panell, relaciona la potència màxima del panell i la potència donada per la intensitat de curtcircuit i la tensió de circuit obert. No té unitats. El mètode de càlcul és:

$$FF = \frac{P_{MPP}}{I_{sc} * U_{oc}}$$

- Corba característica I-V: Corba de potències en que el mòdul treballa. Relaciona el corrent ( $I_{sc}$ ) i la tensió ( $U_{oc}$ ). El punt de màxima potència ( $P_{MPP}$  o  $P_{max}$ ) és el punt d'equilibri entre voltatge i corrent donat que, quan el mòdul està en curtcircuit, el corrent és màxim i la tensió és nul·la, mentre que, quan es troba en buit, la tensió és màxima i el corrent és nul. A la Figura 13 s'observen els punts descrits.

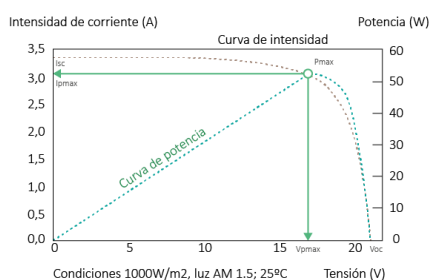


Figura 13 – Corba I-V de mòdul fotovoltaic. [I9]

Existeixen dos corbes de diferents formes, en funció de la irradiància i en funció de la temperatura.

- o En funció de la irradiància: La irradiància és directament proporcional al corrent, és a dir, quan aquest creix també ho fa la irradiància. La tensió

per les mateixes circumstàncies augmenta lleugerament, podent-se considerar constant. Observant la Figura 14, es poden extreure les dades en condicions STC i condicions NOCT, entre d'altres.

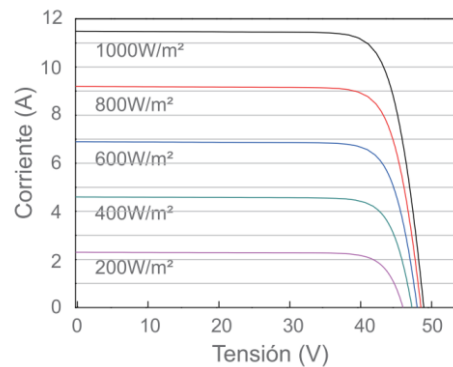


Figura 14 – Corba I-V de mòdul FV en funció de la irradiància.

- En funció de la temperatura: La temperatura és inversament proporcional a la tensió, és a dir, quan aquesta creix, la temperatura decreix. El corrent augmenta lleugerament, podent-se considerar constant. Consultant la Figura 15, també es poden extreure els valors com en el cas precedent.

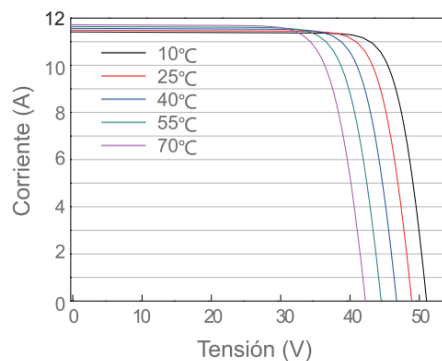


Figura 15 – Corba I-V de mòdul FV en funció de la temperatura.

### 2.5.1.3. Connexions

Les cel·les que formen el panell poden ser connectades en sèrie, en paral·lel o una combinació d'ambdues. Alhora, els mòduls fotovoltaics es connecten entre ells per a formar un string en sèrie i, s'agrupen els strings en paral·lel per a la formació d'una matriu o bateria fotovoltaica per posteriorment enllaçar-se a l'inversor. A continuació s'expliquen les diferents connexions:

#### Connexió sèrie

En la connexió de les cel·les en sèrie, les tensions de circuit obert ( $U_{oc}$ ) es sumen segons el nombre de panells que es disposi, és a dir, la tensió es multiplica per el nombre de cel·les connectades. En canvi, el corrent de curtcircuit ( $I_{sc}$ ) es manté constant.

$$U_{oc(\text{mòdul})} = U_{oc} * N_{csèrie}$$

$$I_{sc(\text{mòdul})} = I_{sc1} = I_{sc2} = \dots$$

On:

- $U_{oc(\text{mòdul})}$ : Tensió de circuit obert del panell fotovoltaic. [V]
- $I_{sc(\text{mòdul})}$ : Intensitat de curtcircuit del panell fotovoltaic. [A]
- $I_{sc1}, I_{sc2}$ : Intensitat de curtcircuit de les cel·les 1, 2, ... [A]
- $N_{csèrie}$ : Nombre de cel·les en sèrie.

El mateix succeeix quan aquesta connexió realitza amb els mòduls. El corrent del mòdul es manté constant per a tots, mentre que, les tensions de l'agrupació es sumen. La connexió en sèrie s'anomena string.

$$U_{oc(\text{str})} = U_{oc(\text{mòdul})} * N_{msèrie}$$

$$I_{sc(\text{str})} = I_{sc(\text{mòdul}1)} = I_{sc(\text{mòdul}2)} = \dots$$

On:

- $U_{oc(\text{str})}$ : Tensió de circuit obert del string. [V]
- $I_{sc(\text{str})}$ : Intensitat de curtcircuit del string. [A]
- $I_{sc(\text{mòdul}1)}, I_{sc(\text{mòdul}2)}$ : Intensitat de curtcircuit dels mòduls 1, 2, ... [A]
- $N_{msèrie}$ : Nombre de panells fotovoltaics en sèrie.

En cas de la col·locació de diversos mòduls amb diferents característiques, la intensitat es limita a la més baixa. Aquest fenomen acostuma a succeir quan es fan ampliacions d'instal·lacions i no hi ha strings lliures.

El comportament de les cel·les connectades en aquestes condicions es visualitza a la Figura 16.

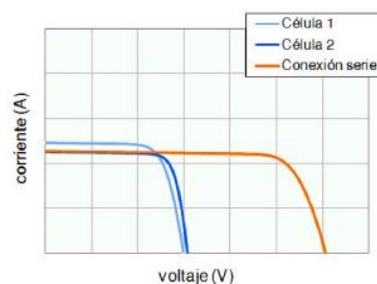


Figura 16 – Corba I-V del comportament de cel·les en sèrie. [I10]

Les connexions en sèrie dels mòduls fotovoltaics es visualitzen a la Figura 17, junt amb el comportament dels corrents i les tensions:

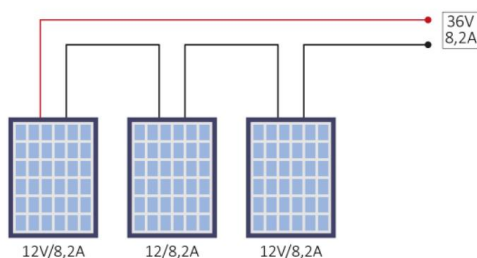


Figura 17 – Connexió de mòduls en sèrie. [111]

### Connexió paral·lel

En la connexió de les cel·les en paral·lel passa el contrari. La tensió de circuit obert ( $U_{oc}$ ) es manté constant mentre que els corrents de curtcircuit ( $I_{sc}$ ) s'incrementen segons el nombre de cel·les. Així doncs, el corrent es multiplica per el nombre de cel·les connectades en paral·lel.

$$I_{sc(\text{mòdul})} = I_{sc} * N_{\text{cparal·lel}}$$

$$U_{oc(\text{mòdul})} = U_{oc1} = U_{oc2} = \dots$$

On:

- $U_{oc1}, U_{oc2}$ : Tensió de circuit obert de les cel·les 1, 2, ... [A]
- $N_{\text{cparal·lel}}$ : Nombre de cel·les en paral·lel.

El mateix succeeix quan aquesta connexió es realitza amb els mòduls. La tensió de tot el sistema de mòduls connectats és la mateixa que la d'un sol mòdul i, per conseqüència, la intensitat augmenta segons els mòduls dels que es disposi.

$$I_{sc(\text{grup})} = I_{sc} * N_{\text{mparal·lel}}$$

$$U_{oc(\text{grup})} = U_{oc(\text{mòdul1})} = U_{oc(\text{mòdul2})} = \dots$$

On:

- $U_{oc(\text{grup})}$ : Tensió de circuit obert de l'agrupació de mòduls en branca paral·lel.[V]
- $I_{sc(\text{str})}$ : Intensitat de curtcircuit de l'agrupació de mòduls en branca paral·lel. [A]
- $U_{oc(\text{mòdul1})}, U_{oc(\text{mòdul2})}$ : Tensió de circuit obert dels mòduls 1, 2, ... [A]
- $N_{\text{mparal·lel}}$ : Nombre de panells fotovoltaics en paral·lel.

El comportament de les cel·les connectades en aquestes condicions es visualitza a la Figura 18.

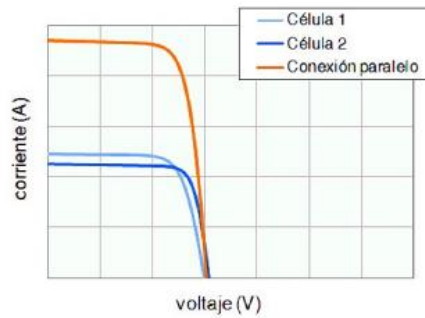


Figura 18 - Corba I-V del comportament de cel·les en paral·lel. [110]

Les connexions en paral·lel dels mòduls fotovoltaics es visualitzen a la Figura 19 junt amb el comportament dels corrents i les tensions:

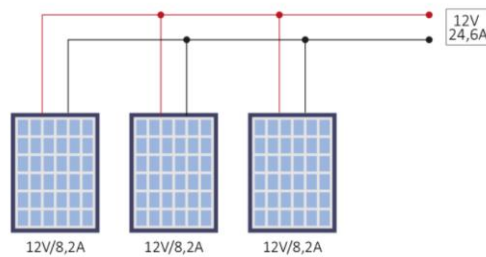


Figura 19 – Connexió de mòduls en paral·lel. [111]

### Connexió sèrie - paral·lel

Les connexions sèrie-paral·lel es realitzen per aconseguir un augment d'intensitat i de voltatge a l'hora. La instal·lació es configura segons les condicions de cada connexió esmentades anteriorment. Els panells s'aparellen en sèrie per aconseguir la tensió necessària i, en paral·lel per al corrent. És important no connectar mòduls de diverses potències, cèl·lules o models.

Per a la cerca del corrent de càrrega, s'utilitza el valor d'intensitat a potència màxima ( $I_{MPP}$ ), no el de corrent en curtcircuit ( $I_{sc}$ ).

Per a la cerca de la tensió de funcionament, s'utilitza el valor de tensió a potència màxima ( $U_{MPP}$ ), no el de tensió en circuit obert ( $U_{oc}$ ).

Les connexions en sèrie - paral·lel dels mòduls fotovoltaics es visualitzen a la Figura 20 junt amb el comportament dels corrents i les tensions:

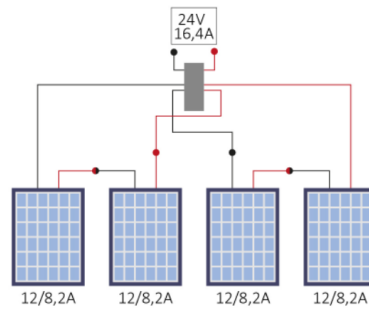


Figura 20 – Connexió de mòduls en sèrie-paral·lel. [111]

### 2.5.2. Inversor

L'inversor és l'aparell encarregat de convertir l'energia generada per els mòduls fotovoltaics de corrent continu a corrent altern. L'energia acostuma a ser distribuïda en corrent altern amb magnituds de tensió i freqüència determinades. A Espanya es tracta de tensions 3x230/400 V i 50 Hz de freqüència.

Poden ser amb sortida monofàsica o amb sortida trifàsica. Per a connexions trifàsiques es pot utilitzar un inversor d'aquestes característiques o, diversos inversors monofàsics amb connexions de mateixa potència a les tres fases (R-S-T-N) amb la línia de distribució.

El símbol de l'inversor és:



Figura 21 – Símbol inversor fotovoltaic. Creació pròpia amb AutoCad.

#### 2.5.2.1. Paràmetres elèctrics

Aquests venen donats a la fitxa tècnica de l'inversor en qüestió. Segons el tipus d'inversor, els paràmetres varien. A continuació es defineixen classificats entre paràmetres d'entrada i de sortida.

Els inversors connectats a la xarxa elèctrica tenen un sistema per controlar el costat d'entrada (DC) anomenat "seguiment del punt de màxima potència", també conegut com a MPPT. L'inversor s'encarrega de cercar el punt de màxima potència ( $V_{MPP}$ ,  $I_{MPP}$ ) generat al camp fotovoltaic per a generar la màxima potència i mantenir la característica de càrrega aquí. És un punt variable segons la radiació solar, la temperatura, entre d'altres.



**Dades d'entrada:**

- Rang de tensió MPP ( $U_{MPP \text{ mín./màx.}}$ ): Rang de tensió on l'inversor controla el seguiment d'MPPT, és a dir, l'inversor busca la tensió òptima per al generador fotovoltaic dins d'aquest rang de voltatge per a generar la màxima potència de sortida. S'utilitza la tècnica esmentada anteriorment "Seguiment del punt de màxima potència". Les unitats són volts [V].
- Nombre d'entrades DC: Quantitat d'entrades de les que disposa l'inversor per a la connexió dels diversos strings provinents del camp fotovoltaic.
- Nombre de seguidors MPPT: Segons la tipologia d'inversor pot tenir un o dos rastrejadors MPPT, en dos entrades A i B. Hi ha un rastrejador MPPT per a cada entrada.
- Màxima tensió ( $U_{màx.DC}$ ): Màxima tensió d'entrada que permet l'inversor sense sofrir danys. Aquest valor augmenta a mesura que disminueix la temperatura. És un paràmetre clau ja que és l'encarregat de determinar el nombre de mòduls fotovoltaics que poden connectar-se en sèrie a l'inversor. Les unitats són volts [V].
- Mínima tensió ( $U_{mín.DC}$ ): Mínima tensió d'entrada que ha d'assolir l'inversor per a poder trobar el punt de màxima potència (MPP) del generador fotovoltaic. Les unitats són volts [V].
- Mínima tensió de posada en servei ( $U_{arr.DC}$ ): És la mínima tensió en la que l'inversor comença a extreure l'energia del generador. Sol coincidir amb el valor precedent. (Beneficia que sigui un valor baix). Les unitats són volts [V].
- Màxim corrent ( $I_{màx.DC 1/2}$ ): Màxim corrent d'entrada que l'inversor pot suportar sense patir danys segons el nombre d'MPPT que té. Les unitats són amperes [A].
- Màxima potència de sortida del generador FV ( $P_{màx.DC}$ ): És l'entrada a l'inversor de potència més alta, és a dir, l'energia permesa per fluir des dels panells fotovoltaics connectats fins a l'inversor, quan el factor de potència és màxim ( $\cos(\varphi) = 1$ ). Les unitats són quilo watts pic [ $kW_{peak}$ ].

**Dades de sortida:**

- Potència nominal ( $P_{nom.AC}$ ): És la sortida especificada per a l'inversor. Les unitats són watts [W].
- Màxima potència de sortida ( $P_{màx.AC}$ ): Màxima potència aparent d'AC de l'inversor solar. Consta de dues parts, una part utilitzable anomenada poder real i, una part que no genera treball anomenada potència reactiva. El factor de

potència ( $\cos(\varphi)$ ) descriu la relació quantitativa de la potència real utilitzada a la potència aparent en el circuit. Si  $\cos(\varphi) = 1$ , vol dir que tan sols hi ha potència real a la càrrega. Les unitats són volt ampers [VA].

- Màxim corrent ( $I_{màx.AC}$ ): Màxim corrent de sortida AC que pot subministrar l'inversor. Les unitats són ampers [A].
- Rang de tensió / Acoblament a la xarxa: Indica les sortides del sistema i el nombre de fases. Ve donat per el tipus de sistema o de càrrega al que es connecta l'inversor.
- Freqüència i rang de freqüència: Freqüència de la xarxa d'AC nominal de les oscil·lacions del corrent en una xarxa de serveis públics transmesa des de l'inversor a l'usuari final. Varia segons l'estàndard de cada país. El rang de freqüència és l'admissible en la sortida de l'inversor. Les unitats són hertz [Hz].
- Factor de potència ( $\cos(\varphi)$ ): Valor numèric entre 0 i 1 que descriu la relació quantitativa de la potència real utilitzada a la potència aparent en el circuit. Es relaciona amb la diferència d'angle de fase de la tensió i la corrent que viatja pel circuit. [P8]

#### 2.5.2.2. Tipologia

Existeix una diversitat d'inversors, els quals es simplifiquen a continuació distingint segons diferents paràmetres:

Segons connexió:

- Monofàsics: Els inversors monofàsics treballen amb potències de sortida des de 1,5 kW fins a potències no superiors a 15 kW, segons el Reial Decret 1699/2011, de 18 de novembre..
- Trifàsics: Els inversors trifàsics treballen amb potències de sortida a partir dels 3 kW. [P9]

Segons formes de treball:

- Micro-inversors: Són inversors que es caracteritzen pel treball individual amb un sol mòdul. El benefici d'aquests, és que en una instal·lació solar fotovoltaica, els mòduls treballen en paral·lel, donat que tots els micro-inversors es connecten entre ells d'aquest mode. Així doncs, s'eviten strings, és a dir, cadenes de panells en sèrie. L'avantatge és defugir de les pèrdues per ombres quan esdevenen en un mòdul o, si un s'espatlla no deixi de funcionar el circuit sencer. Tanmateix poden ser utilitzats en varis mòduls, segons les tensions de treball d'aquests.
- Inversors màster / esclau: Quan en una instal·lació hi ha més d'un inversor, es diu que aquests treballen en cadena. Un és el principal, anomenat màster, i és el que

va connectat al quadre i al sistema de mesura de la producció. L'esclau, és l'inversor secundari que va connectat al principal, realitzant aquesta cadena amb tants com es disposi. Si són de diferents potències, sol ser el que té més capacitat el que mana.

### 2.5.3. Mesurador de potència

El mesurador de potència és un element controlador que permet monitoritzar i registrar els fluxos d'energia de la instal·lació solar, és a dir, el consum d'energia de l'usuari, la producció d'energia fotovoltaica i el consum o injecció en la xarxa elèctrica.

És un mètode visual per a l'usuari, al qual li permet realitzar un seguiment de la planta per a la comprovació d'un correcte funcionament, com per al control dels consums i de la injecció d'energia a la xarxa.

Es solen monitoritzar a aplicacions mòbils o pàgines web de la marca de l'inversor. És un mètode funcional per detectar qualsevol anomalia.

Aquests acostumen a comunicar-se amb l'inversor via Ethernet, amb protocol Modbus RTU i conductors RS485 o RJ45.

Existeixen dos tipologies de monitorització:

- Complerta: El mesurador determina la demanda elèctrica de l'habitatge i ho comunica amb l'inversor mitjançant del connector Ethernet per al qual estan units. L'inversor envia mitjançant WLAN o Wifi al portal del fabricant la informació instantània de la planta.
- Injecció 0: El mesurador determina la demanda elèctrica de l'habitatge i ho comunica amb l'inversor mitjançant el connector Ethernet que els uneix. L'inversor modifica el punt de treball de la planta solar fotovoltaica per no produir més energia de la demandada.

### 2.5.4. Estructures de suport

Freqüentment, els panells solars van emmarcats en una estructura d'alumini anoditzat per a l'ancoratge a les estructures de suport. Aquestes estructures tenen la funció de fixar i assegurar els mòduls a la superfície. Tots ells solen incorporar un clip de posada a terra.

Existeixen suports mecànics mòbils, els quals compten amb un petit motor que els fa rotar durant el dia segons la posició del sol i que, tanmateix varien el valor de l'angle d'inclinació. Aquests són menys freqüents donat que la instal·lació s'encareix però, són molt útils amb un gran rendiment, per exemple solen usar-se per emplaçaments amb reduït espai.

Els més utilitzats són els suports mecànics fixes, els quals són estructures compactes que ancoren el mòdul a la superfície on es desitgi instal·lar amb una inclinació concreta. Les més habituals són:

- Estructura sobre superfície inclinada: Són estructures de suport que van muntades directament sobre teulada amb inclinació. És fonamental garantir un espai entre el mòdul fotovoltaic i la superfície per facilitar la circulació del calor que produeixen aquests. Solen ser regulables, és a dir, s'adapten a diverses mesures i per tant, models de mòduls. Existeix també la possibilitat d'instal·lar-les en superfícies totalment verticals.

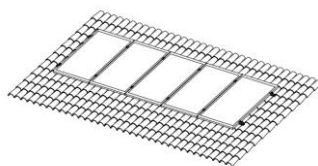


Figura 22 – Estructura de suport sobre superfície inclinada. [112]

- Estructura sobre superfície plana: Són estructures de suport destinades a cobertes planes sense o amb un nivell molt baix d'inclinació. Es coneixen com a "suports en triangle" degut a la seva forma. Són útils per regular la inclinació que se li vol donar al camp fotovoltaic, podent cercar com s'ha explicat anteriorment, l'angle òptim segons l'emplaçament de l'obra. Solen aguantar-se amb perfils on els mòduls es recolzen que, segons si la col·locació és vertical o horitzontal, s'escull la mesura d'aquests.

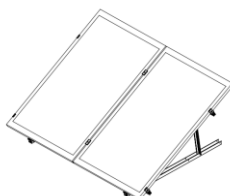


Figura 23 – Estructura de suport sobre superfície plana. [112]

- Estructura bastidor: Són estructures de suport allargades verticalment suportades o ancorades a la superfície. Es destinen per a petites instal·lacions (de varis mòduls) per a cobrir necessitats de baixa potència. També són útils per emplaçaments on l'espai és reduït i no és suficient per a realitzar una instal·lació fotovoltaica convencional.



Figura 24 – Estructura de suport tipus bastidor. [112]

- Estructura marquesina: Es tracta d'estructures de suport similars a l'anterior però que abasteixen una gran quantitat de mòduls fotovoltaics. Solen tenir canaletes d'evacuació d'aigua i es dissenyen per aprofitar l'espai que queda sota com, per exemple, aparcament de vehicles.



Figura 25 – Estructura de suport tipus marquesina. [112]

- Estructura sobre superfície no perforable: Són estructures de suport per cobertes no perforables inclinades o planes. Els perfils acostumen a anar soldats e integrats sobre una membrana impermeable per termo-fusió, permetent així aplicacions totalment estanques. Són de gran utilitat per a cobertes d'uralita.



Figura 26 – Estructura de suport sobre superfície no perforable. [112]

## CAPÍTOL 3: ESTUDI PRÈVI

---

### 3.1. Introducció

En el tercer capítol del present projecte, es presenten les configuracions a tenir en compte a l'hora d'estudiar o plantejar una instal·lació solar fotovoltaica. Es presenten càlculs, ordenances i normatives fonamentals per la posterior aplicació i, així, poder analitzar una planta real i posar en coneixement l'estudi realitzat.

El l'actual punt tracta de l'estudi per a la correcte configuració d'una planta fotovoltaica, com dimensionar els conductors, com protegir els circuits i els equips, així com legalitzar correctament la planta.

En el proper capítol s'utilitzarà com a pauta de seguiment tot el que es mencionarà en aquest.

### 3.2. Configuració d'una planta fotovoltaica

En la configuració d'una la planta fotovoltaica, l'inversor és l'encarregat de limitar les connexions entre panells segons corrents i tensions màximes que permet. Tal i com s'ha esmentat en el marc teòric, els mòduls lligats en sèrie mantenen el mateix corrent i les tensions es sumen i, succeeix la inversa amb les connexions en paral·lel.

El més comú és configurar la planta amb el software del fabricant de l'inversor. A l'actualitat es faciliten molts programes amb base de dades internes que reuneixen molts equips, tant marques i models de generadors com d'inversors que, permeten realitzar el càlcul que s'explica a continuació, més fàcil i ràpidament.

Els inversors són caracteritzats a l'hora de l'elecció per la tensió d'entrada i la potència màxima que poden proporcionar. El voltatge límit provinent del generador que suporta l'inversor no pot ser excedit per poder afirmar que treballa sota condicions de seguretat i no produeix sobretensions.

El primer en tenir en compte és respectar la potència que suporta l'inversor. S'acostuma a triar un de la mateixa potència que la total del camp de captació. S'obté de la multiplicació del nombre de mòduls totals que van connectats a un mateix inversor per la potència nominal d'ells. Aquesta potència té unitats de quilo watt pic (kWpic) i, no pot superar la potència d'entrada DC de l'inversor especificat en el full de característiques de l'equip.

$$P_{PV} < P_{màx.DC}$$

On:

- $P_{PV}$ : Potència màxima que assoleix la planta connectada a l'inversor. [kWp]
- $P_{màx.DC}$ : Potència màxima suportada de la sortida del generador FV a l'entrada l'inversor. [kWp]

El rang de tensió de funcionament MPP especificat a la fitxa tècnica de l'inversor s'ha de tenir en compte segons els strings ja que, si algun es troba fora del rang, l'inversor no pot maximitzar el rendiment.

Les agrupacions s'han d'estudiar per el nombre de panells en sèrie o strings a crear i, el nombre de branques o bateries de mòduls que entraran a l'inversor.

### 3.2.1. Estudi de nombre de captadors en sèrie

Com s'ha vist en el punt 2.5.1.3 del marc teòric, una cadena de mòduls connectades en sèrie s'anomena string. La creació d'aquesta es limita per el rang de tensió admissible d'entrada de l'inversor, evitant excedir-la.

El born positiu d'un panell es connecta amb el born negatiu d'un altre, i així a la inversa i successivament amb tota la cadena.

La determinació de la quantitat de mòduls que es poden connectar en sèrie han de respectar dues regles que estableixen, que les tensions extremes que poden assolir els captadors, no superin els límits de tensió suportada per l'inversor.

Per al càlcul màxim i mínim de tensió que pot assolir el mòdul, s'utilitzen els càlculs que es mostren a continuació. Es prenen 25 °C corresponents la temperatura de referència del mòdul. Se li sumen o resten les variacions de màximes i mínimes temperatures.

$$CT(U_{oc}) = U_{oc} * \frac{C_U}{100} * 1000$$

$$U_{oc(-10^{\circ}C)} = U_{oc} - \frac{CT(U_{oc})}{1000} * (25 - (-10))$$

$$U_{MPP(70^{\circ}C)} = U_{MPP} + \frac{CT(U_{oc})}{1000} * (70 - 25)$$

$$U_{MPP(-10^{\circ}C)} = U_{MPP} - \frac{CT(U_{oc})}{1000} * (25 - (-10))$$

On:

- $CT(U_{oc})$ : Coeficient de temperatura de sobretensió. [mV / °C]
- $C_U$ : Coeficient de temperatura de  $U_{oc}$  especificat a la fitxa tècnica del captador. Té un valor negatiu i, per tant,  $CT(U_{oc})$  també. [% / °C]
- $U_{oc(-10^{\circ}C)}$ : Tensió de circuit obert a -10°C. [V]
- $U_{MPP(70^{\circ}C)}$ : Límit superior de tensió que pot assolir el captador a a temperatura extrema més alta (70 °C). [V]

- $U_{MPP(-10^{\circ}C)}$ : Límit inferior de tensió que pot assolir el captador a temperatura extrema més baixa ( $-10^{\circ}C$ ). [V]
- $U_{MPP}$ : Tensió de corrent màxima del mòdul fotovoltaic en condicions STC, especificat a la fitxa tècnica de l'equip. [V]

Els valors obtinguts de les últimes fórmules, es comparen amb els límits de l'inversor suportats per l'entrada DC, tal i com mostren les següents expressions:

$$U_{oc(-10^{\circ}C)} * n_{mòduls} < U_{màx.DC}$$

$$U_{MPP(70^{\circ}C)} * n_{mòduls} > U_{MPP \text{ inf.}}$$

$$U_{MPP(-10^{\circ}C)} * n_{mòduls} < U_{MPP \text{ sup.}}$$

On:

- $U_{màx.DC}$ : Valor de tensió màxima d'entrada especificada per la fitxa tècnica de l'equip inversor. [V]
- $U_{MPP \text{ inf.}}$ : Valor de tensió mínima especificada per la fitxa tècnica de l'equip inversor. [V]
- $U_{MPP \text{ sup.}}$ : Valor de tensió màxima especificada per la fitxa tècnica de l'equip inversor. [V]
- $n_{mòduls}$ : Nombre de mòduls a connectar en sèrie entre ells i formar un string.

Ha de satisfer les comparacions finals un cop s'ha multiplicat per el nombre de captadors a connectar en un mateix string.

Igual passa amb el corrent, el qual ha de complir dues expressions segons la intensitat dels mòduls, el nombre de strings i els corrents permesos per part de l'equip inversor. La connexió dels diversos strings a l'entrada de l'inversor es realitza en paral·lel, per tant, el valor de les intensitats de cada cadena es multiplica per el nombre de cadenes.

$$I_{sc} * n_{strings} < I_{sc \text{ MPP}}$$

$$I_{MPP} * n_{strings} < I_{màx.DC}$$

On:

- $I_{sc}$ : Valor del corrent de curtcircuit especificat a la fitxa tècnica del captador fotovoltaic. [A]
- $I_{MPP}$ : Valor del corrent de potència màxima especificat a la fitxa tècnica del captador fotovoltaic. [A]
- $I_{sc \text{ MPP}}$ : Valor del corrent màxim de curtcircuit per sèrie FV permès per l'inversor, especificat a la fitxa tècnica. Pot tenir diversos valors segons el seguidor MPPT. [A]
- $I_{màx.DC}$ : Valor del corrent màxim d'entrada permès per l'inversor, especificat a la fitxa tècnica. Pot tenir diversos valors segons l'entrada. [A]
- $n_{strings}$ : Nombre de strings a connectar en paral·lel a l'entrada de l'inversor.



### 3.2.2. Estudi de nombre de cadenes en paral·lel

Un cop creats els strings, es calcula el nombre d'entrades en paral·lel que pot suportar l'inversor. Per aquesta connexió es té en compte el corrent, ja que és la component limitant.

L'equip inversor disposa d'entrades de seguidors de MPPT, les quals es componen de diverses cadenes. Aquestes varien segons l'inversor, tenint més quantitat d'entrades els inversors amb més potència i, per conseqüència, menys entrades quan l'inversor és de menor potència.

Els MPPT tenen nomenclatura de lletres (A, B, C, D,...) i, les entrades de cada seguidor, s'identifiquen amb nombres (1, 2, 3,...) Cada seguidor pot disposar de diverses branques d'entrada, és a dir, diversos strings.

Un exemple seria un inversor, amb 4 seguidors MPPT i amb un nombre de cadenes per entrada MPPT 3/3/2/2. És a dir, aquest inversor, té un total de 10 entrades, repartides de la següent forma: A: 3, B: 3, C: 2 i D: 2. Així doncs, la planta s'hauria de configurar per un màxim de 10 strings.

A la Figura 27 es pot observar un inversor amb 2 seguidors MPPT i 2 entrades cadascun.

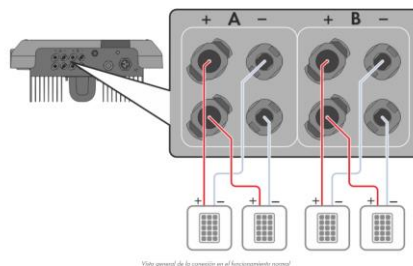


Figura 27 – Seguidors MPPT i entrades d'inversor. [113]

### 3.2.3. Comprovació de correcte configuració

Per assegurar que es realitza una bona configuració de planta, s'ha de verificar que la tensió generada per cada string no superi la d'entrada que suporta l'inversor per a cadascun. Aquesta tensió la dona el fabricant de l'equip i, és la  $U_{màx.DC}$ . S'utilitza l'expressió esmentada anteriorment.

## 3.3. Cablejat d'una instal·lació solar fotovoltaica

L'actual apartat abasteix la cerca d'informació dels diversos conductors existents, així com dimensionar-los i realitzar una correcta elecció.

Els conductors són materials que permeten transmetre l'electricitat i, els conductors actius són considerats els que, en una instal·lació, són destinats a la transmissió de l'energia elèctrica. Aquesta consideració se li aplica als conductors de fase i al conductor neutre en corrent altern i, als conductors polars i al compensador en corrent continu.

A continuació es distingeixen segons tipologia de conductors i darrerament, una elecció de cadascun d'ells.

### 3.3.1. Conductors de corrent altern

Els conductors han de ser fàcilment distingibles segons els colors. Els conductors de fase, s'identifiquen pels colors marró, negre i gris, i els cables neutre de color blau clar. El cable de protecció terra, s'identifica per el color verd-groc. Es classifiquen segons instal·lacions monofàsiques o trifàsiques.

Tenen com aplicació el transport i la distribució d'energia elèctrica en instal·lacions fixes. Són formats, segons norma UNE21123-4, de coure electrolític recollit nu amb formació flexible, aïllament de polietilè reticulat XLPE, EPR o PVC. Han de ser lliure d'halògens segons normes UNE EN 50.267 i l'IEC 60.754-1, amb baixa opacitat de fums segons UNE-EN 50268 i l'IEC 61034, no propagant de flama segons UNE-EN 50265-2-1, no propagador d'incendis segons UNE-EN 50266 i l'IEC 60.332-3 i amb baixa corrosivitat de gasos segons UNE-EN 50267-2-2. Acostumen a ser conductors amb tensió nominal de 0,6 / 1 kV, tensió d'assaig 3500 V CA i un rang de temperatures de treball de -40 °C a 90 °C. No tots tenen les mateixes característiques tècniques. [P10] [P11]

#### Conductors monofàsics

Els conductors monofàsics poden ser de dos tipus:

- Bipolars, els quals estan compostos de dos conductors, un neutre de color blau i un de fase de color marró.
- Tripolars, els quals estan compostos per tres conductors, un neutre de color blau, un de fase de color marró, i un cable terra de color groc-verd.

#### Conductors trifàsics

Els conductors trifàsics en canvi, poden ser de quatre tipus:

- Tripolars, compostos per tres conductors que correspon a les tres fases, essent de color gris, marró i negre.
- Tetrapolars, compostos per quatre conductors que corresponen tres d'ells a les tres fases com l'anterior però, amb un conductor neutre de color blau. Tanmateix existeixen els tetrapolars amb les tres fases i un quart conductor terra de color groc-verd. En aquest últim cas, per a identificar-lo s'utilitza la nomenclatura 3 G 6, en lloc de 3 X 6. És el mateix que dir un cable tripolar amb coberta de secció 6 mm<sup>2</sup> amb terra.

- Pentapolars, compostos per cinc conductors que corresponen tres d'ells a les tres fases, un cable terra de color groc-verd i un conductor neutre de color blau.

Una instal·lació pot estar composta per cables unipolars, els quals estan formats per un sol conductor, usant el número necessari d'aquests.

Les seccions dels cables de corrent altern depenen de diverses característiques. Aquesta es troba, amb ajuda de la Figura 28 a continuació, segons el tipus d'instal·lació en que es trobi. [P12]

### 3.3.2. Conductors de corrent continu

Els conductors de corrent continu o, també coneguts com conductors solars, a diferència dels conductors de corrent altern, no es fabriquen agrupats, si no que són cables unipolars. Aquests estan dissenyats principalment per instal·lacions fotovoltaïques, tant per a la connexió de panells en sèrie com per a les connexions als inversors. Solen distingir-se per color vermell el conductor positiu i color negre el conductor negatiu.

Estan compostos per un conductor de coure electrolític estanyat, segons UNE EN 50.267 i l'IEC 60754, per assegurar una correcta conductivitat. Doble aïllament per a la resistència a la intempèrie, als olis, a l'ozó, als raigs ultraviolats i a les temperatures ambientals extremes, segons UNE EN 60811-2-1 i UNE-EN-ISO 489. Han de ser lliure d'halògens i de material auto-extingible per a evitar flames amb baixa emissió de gasos en cas d'incendi, és a dir, amb baixa opacitats de fums i no propagant de flama. Acostumen a ser conductors amb tensió nominal de 1,8 kV CC, tensió d'assaig 6 kV i un rang de temperatures de treball de -40 °C a 125 °C. No tots tenen les mateixes característiques tècniques.

Els valors de les seccions dels conductors de corrent continu estan normalitzats. Es poden veure a la Taula 1. Els valors tenen unitats de mm<sup>2</sup>.

4	6	10	16	25	35	50	70
---	---	----	----	----	----	----	----

Taula 1 – Seccions normalitzats de conductors DC. [14]

Les nomenclatures més freqüents dels conductors solars són:

- H1Z2Z2-K
- ZZ-F / H1Z2Z2-K

Els valors més comuns de les seccions dels conductors de corrent continu per instal·lacions solars fotovoltaïques, solen oscil·lar entre 4 i 6 mm<sup>2</sup>.

### 3.3.3. Secció dels conductors

Segons l'ITC-BT-40, els cables de connexió han de ser escollits complint dues regles generals:

- Han de sobredimensionar-se per a una intensitat major o igual del 125% de la màxima intensitat del generador.
- La caiguda de tensió entre el generador i el punt de connexió a la Xarxa de Distribució Pública o a la instal·lació precedent, no ha de ser superior al 1,5% de la intensitat nominal.

#### Càlcul de secció per intensitat màxima admissible

Un cop realitzats els càlculs que s'expliquen a continuació, segons la taula C.52.1.bis de la Norma UNE-HD 60364-5-52, segons el tipus d'instal·lació, el nombre de conductors i el tipus d'aïllament, s'utilitza la Figura 28 per obtenir la secció mínima a utilitzar.

	Diagrama	Descripció	3x		2x		3x		2x		3x		2x	
			PVC	PVC	PVC	PVC	XLPE o EPR	XLPE o EPR	XLPE o EPR	XLPE o EPR	XLPE o EPR	XLPE o EPR	XLPE o EPR	XLPE o EPR
<b>A</b>		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes												
<b>A2</b>		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
<b>B</b>		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra					3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>B2</b>		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
<b>C</b>		Cables multiconductores directamente sobre la pared <sup>1)</sup>					3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>E</b>		Cables multiconductores al aire libre <sup>2)</sup> . Distancia a la pared no inferior a 0.3D <sup>3)</sup>					3x PVC			2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>F</b>		Cables unipolares en contacto mutuo <sup>4)</sup> . Distancia a la pared no inferior a D <sup>5)</sup>						3x PVC				3x XLPE o EPR <sup>1)</sup>		
<b>G</b>		Cables unipolares separados mínimo D <sup>5)</sup>									3x PVC <sup>1)</sup>			3x XLPE o EPR
<b>Cobre</b>		mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-	
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-	
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-	
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-	
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-	
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-	
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166	
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206	
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250	
		70				149	160	171	188	202	224	244	321	
		95				180	194	207	230	245	271	296	391	
		120				208	225	240	267	284	314	348	455	
	150				236	260	278	310	338	363	404	525		
	185				268	297	317	354	386	415	464	601		
	240				315	350	374	419	455	490	552	711		
	300				360	404	423	484	524	565	640	821		

- 1) A partir de 25 mm<sup>2</sup> de secció.
- 2) Incluyendo canales para instalaciones -canaletas- y conductos de secció no circular.
- 3) O en bandeja no perforada.
- 4) O en bandeja perforada.
- 5) D es el diámetro del cable.

Figura 28 – Taula de seccions segons del REBT. [15]

### - Conductors de corrent altern

Per al càlcul en el costat de corrent altern, se li aplica el factor de correcció al corrent màxim de la sortida de l'inversor ( $I_{màx.AC}$ ).

$$I_{AC}' = I_{màx.AC} * 1,25$$

On:

- $I_{AC}'$ : Valor de la intensitat màxima admissible per al conductor en el costat de corrent altern [A].
- $I_{màx.AC}$ : Intensitat màxima de sortida de l'inversor [A].

Un cop obtingut aquest valor, s'observa l'anterior Figura 28 per a obtenir la secció mínima. En corrent altern, es sol entrar de la següent forma:

- Instal·lació de referència: B2 "Cables multi conductors en tubs en muntatge superficial o encastats en obra".
- Material del conductor: Coure, el més utilitzat.
- Nombre de conductors: 3, ja que al tractar-se de corrent altern es tenen 3 conductors actius, és a dir, 3 fases.
- Material d'aïllament: XLPE o EPR.

Per tant, s'acostuma a tenir com a referència la columna **6**, i s'escull el valor de secció immediatament superior al valor obtingut a l'equació d' $I_{AC}'$ .

Segons la tipologia d'obra o instal·lació, el muntatge del cablejat, el nombre de conductors i el material d'aïllament, pot variar totalment l'elecció d'aquest valor. L'esmentat en el projecte és el més comú segons el punt de vista de l'autora.

En el cas de disposar d'una instal·lació amb diversos inversors els quals s'uneixen per conduir fins al quadre de baixa tensió, es té en compte la mateixa equació però sumant les intensitats  $I_{AC.màx}$  de cada inversor. La fórmula queda de la següent forma:

$$I_{AC}' = I_{AC.màx} INV1 + INV2 + INV n... * 1,25$$

Es cerca la intensitat immediatament superior en la taula per obtenir la secció del conductor que conduirà des de la caixa de connexions fins al quadre de baixa tensió.

### - Conductors de corrent continu

Per al càlcul en el costat de corrent continu, se li aplica el factor de correcció al corrent màxim del panell fotovoltaic ( $I_{SC}$ ).

$$I_{DC}' = I_{SC} * 1,25$$

On:

- $I_{DC}'$ : Valor de la intensitat màxima admissible per al conductor en el costat de corrent continu [A].
- $I_{SC}$ : Intensitat de curtcircuit del mòdul. [A]

Un cop obtingut aquest valor, s'observen la l'anterior Figura 28 per a obtenir la secció mínima. En corrent continu, es sol entrar de la següent forma:

- Instal·lació de referència: B "Conductors aïllats en tubs en muntatge superficial o encastats en obra".
- Material del conductor: Coure, el més utilitzat.
- Nombre de conductors: 2, ja que al tractar-se de corrent continu es tenen 2 conductors actius.
- Material d'aïllament: XLPE o EPR.

Els conductors solars acostumen a col·locar-se embridats sota el mòdul i s'introdueixen en safates o tubs metàl·lics per conduir-los fins la sala tècnica. Aquesta conducció justifica la instal·lació de referència B. Com s'ha dir, depèn de cadascuna.

Per tant, s'acostuma a tenir com a referència la columna **9** i s'escull el valor de secció immediatament superior al valor obtingut a l'equació d' $I_{DC}'$ .

Segons la tipologia d'obra o instal·lació, el muntatge del cablejat, el nombre de conductors i el material d'aïllament, pot variar totalment l'elecció d'aquest valor. L'esmentat en el projecte és el més comú segons el punt de vista de l'autora.

En el cas que els strings s'uneixin en una caixa de connexió per un MPPT, el conductor de corrent continu entre aquesta i l'inversor, es tindrà en compte que suporti el corrent de tots ells. Per això, és necessari multiplicar aquesta intensitat pel nombre de conductors que s'uneixen, els quals treballen en paral·lel. S'utilitza la mateixa equació que l'anterior, però tenint en compte la quantitat de strings a unir.

$$I'_{DC} = I_{sc} * n^{\circ} \text{ strings per 1 MPPT} * 1,25$$

Amb aquest nombre es procedeix a consular la taula de la Figura 28 amb els mateixos valors de característiques per trobar la secció del tram.

#### Càlcul de secció per màxima caiguda de tensió

Per al càlcul de secció per màxima caiguda de tensió es necessita conèixer diversos paràmetres per aplicar-los a les fórmules que s'expliquen a continuació.

Els valors de la resistivitat segons material a temperatures normalitzades són:

$\rho_{Cu-20^{\circ}C}$	$\rho_{Cu-70^{\circ}C}$	$\rho_{Cu-90^{\circ}C}$	$\rho_{Al-20^{\circ}C}$	$\rho_{Al-70^{\circ}C}$	$\rho_{Al-90^{\circ}C}$
$56 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$	$48 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$	$45 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$	$35 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$	$30 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$	$28 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$

Taula 2 – Valors de resistivitat segons temperatures.

El material més usual és el coure. La temperatura menys freqüent és  $90^{\circ}C$ , per tant, els valors més usats són  $\rho_{Cu-20^{\circ}C}$  i  $\rho_{Cu-70^{\circ}C}$ . Els valors de les resistivitats són normalitzats, és a dir, s'escull el valor immediatament superior segons el terreny on es realitza la instal·lació.

### - Conductors de corrent altern

En primer lloc, tenint en compte la caiguda de tensió màxima admissible, aquesta es limita de la següent forma:

$$\Delta U = \frac{1,5}{100} * U$$

On:

- $\Delta U$ : Valor de caiguda de tensió màxim [V].
- U: Tensió segons si, monofàsica (230 V) o trifàsica (400 V).

Per al càlcul de la secció en el costat de corrent altern, s'utilitzen les següents fórmules depenent si es tracta d'un sistema monofàsic o trifàsic:

Sistema monofàsic: 
$$S = \frac{2 * L * I_{màx.AC} * \cos\varphi}{\Delta U * \rho} \text{ [mm}^2\text{]}$$

Sistema trifàsic: 
$$S = \frac{\sqrt{3} * L * I_{màx.AC} * \cos\varphi}{\Delta U * \rho} \text{ [mm}^2\text{]}$$

On:

- S: Secció del conductor a instal·lar. [mm<sup>2</sup>]
- L: Longitud més desfavorable. [m]
- $I_{màx.AC}$ : Intensitat màxima de sortida de l'inversor. [A]
- 2: dos conductors.
- $\cos\varphi$ : Cosinus de Phi de la instal·lació. S'escull un valor unitari.
- $\rho$ : Conductivitat del conductor segons material i temperatura determinada segons Taula 2. [m/ $\Omega$  \* mm<sup>2</sup>]

Si el valor de secció no és exacte, s'escull la secció normalitzada segons la taula 28. immediatament per sobre de la magnitud obtinguda.

En el cas de disposar d'una instal·lació amb diversos inversors els quals s'uneixen per conduir fins al quadre de baixa tensió, es té en compte les mateixes equacions (segons si monofàsic o trifàsic) però sumant les intensitats  $I_{AC.màx}$  de cada inversor. Les anteriors fórmules queden de la següent forma:

Sistema monofàsic: 
$$S = \frac{2 * L * I_{màx.AC \text{ INV1+INV2+INV n...}} * \cos\varphi}{\Delta U * \rho} \text{ [mm}^2\text{]}$$

Sistema trifàsic: 
$$S = \frac{\sqrt{3} * L * I_{màx.AC \text{ INV1+INV2+INV n...}} * \cos\varphi}{\Delta U * \rho} \text{ [mm}^2\text{]}$$

Es cerca la secció immediatament superior a la taula per a determinar el conductor que conduirà des de la caixa de connexions fins al quadre de baixa tensió.

### - Conductors de corrent continu

La limitació de la caiguda de tensió es calcula amb la fórmula:

$$\Delta U = \frac{1,5}{100} * U_{MPP \text{ string}}$$

On:

- $\Delta U$ : Valor de caiguda de tensió màxim [V].
- $U_{MPP \text{ string}}$ : Valor màxim de tensió del string, obtingut de la multiplicació del nombre de panells per la tensió màxima d'aquests. A continuació s'esmenta el càlcul:

$$U_{MPP \text{ string}} = U_{MPP} * n_{\text{mòduls}}$$

L'anterior fórmula es calcula per el string més desfavorable, és a dir, el que compta amb un major nombre de mòduls.

Per al càlcul de la secció en el costat de corrent continu, s'utilitza la fórmula:

$$S = \frac{2 * L * I_{MPP}}{\Delta U * \rho} \text{ [mm}^2\text{]}$$

On:

- S: Secció del conductor a instal·lar. [mm<sup>2</sup>]
- L: Longitud més desfavorable, és a dir, del string més allunyat. [m]
- $I_{MPP}$ : Intensitat màxima del captador del punt MPP. [A]
- 2: dos conductors.
- $\rho$ : Conductivitat del conductor segons material i temperatura determinada segons

Taula 2.  $\left[ \frac{\text{m}}{\Omega * \text{mm}^2} \right]$

Si el valor de secció no és exacte, s'escull la secció normalitzada segons la taula 28. immediatament per sobre de la magnitud obtinguda.

En el cas que els strings s'uneixin en una caixa de connexió per un MPPT, el conductor de corrent continu entre aquesta i l'inversor, succeeix el mateix que anteriorment, s'han de tenir en compte que aquest suporti el corrent de tots ells. Per això, és necessari multiplicar aquesta intensitat pel nombre de conductors que s'uneixen, els quals treballen en paral·lel.

Segons la fórmula :

$$U_{MPP \text{ string}} = U_{MPP} * n_{\text{mòduls}}$$



Es manté igual degut que les tensions no afecten més que en la connexió en sèrie. Si els strings a agrupar tenen diferents tensions  $U_{MPP \text{ string}}$ , llavors sí que es limitarà al voltatge més baix, és a dir, a la cadena que compti amb menys nombre de mòduls (string més curt).

Per aquest cas, s'utilitza la mateixa fórmula anterior però tenint en compte el nombre de strings a agrupar per una entrada MPPT:

$$S = \frac{2 * L * I_{MPP} * n^{\circ} \text{ strings per 1 MPPT}}{\Delta U * \rho}$$

### 3.3.4. Elecció

S'escull, entre les dues seccions obtingudes, la de valor més gran, tant per al tram de corrent continu com per al tram de corrent altern. El valor ha d'estar normalitzat, immediatament per sobre del valor trobat.

S'han de tenir en compte tots dos criteris a l'hora de dimensionar els cablejats.

## 3.4. Proteccions d'una instal·lació solar fotovoltaica

El present apartat té per objectiu la determinació d'elements de protecció necessaris per a instal·lacions solars fotovoltaiques de connexió a la xarxa. L'estudi i el compliment de normatives és indispensable per assegurar que el circuit elèctric, els elements que el componen i les persones, no patiran danys en cas de desperfectes.

Les proteccions que componen una planta es distingeixen entre, les que s'encarreguen d'actuar al circuit de corrent continu i, les que cobreixen el circuit de corrent altern. A continuació s'esmenten diferenciades segons el tram, les quals són de compliment obligatori per a un sistema fotovoltaic:

- Les proteccions que abasteixen el tram de corrent continu (DC), compostat per el circuit elèctric entre el generador i l'inversor, són:
  - o Sobretensions
  - o Fusibles
- Les proteccions que abasteixen el tram de corrent altern (AC), compostat pel circuit elèctric entre l'inversor i la xarxa elèctrica, són:
  - o Sobretensions
  - o Magnetotèrmic
  - o Diferencial
  - o Màxima i mínima freqüència

La presa a terra és un mètode de protecció de caràcter obligatori que han de complir els dos trams anteriors.

L'explicació de les proteccions, les seves característiques i, el mètode de càlcul, es construeix sobre cada protecció. Dins de cadascuna d'elles, es diferenciarà si es tracta de protecció DC o protecció AC.

L'ITC-BT-40 és el capítol del REBT més consultat pel desenvolupament d'aquest apartat.

A la *Figura 29* es mostra un esquema multifilar amb les proteccions essencials. Es tracta d'una instal·lació monofàsica, és a dir, a l'esquerra de l'inversor es situen els conductors DC essent el positiu vermell i el marró negatiu i, a la dreta de l'inversor hi ha un conductor de fase i un neutre. Es pot observar amb llegenda al Plànol número 2 del DOCUMENT Nº4 PLÀNOLS.

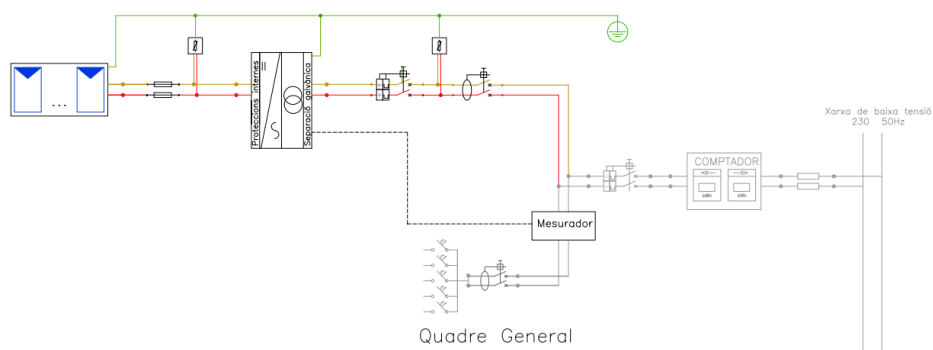


Figura 29 – Esquema unifilar d'un tipus d'instal·lació FV. Creació pròpia amb Autocad.

### 3.4.1. Sobretensions

Per a la protecció de la instal·lació de patir sobretensions transitòries d'origen atmosfèric (llamps o sobretensions de línies), és necessari la col·locació d'un varistor.

Els descarregadors de sobretensions són elements que deriven les sobretensions provocades per fenòmens atmosfèrics a terra. La seva funció és la protecció dels equips, tant dels mòduls fotovoltaics com de l'inversor, impedit que es produeixi una averia.

Són connectats en paral·lel a la instal·lació per a garantir el funcionament. Es seleccionen tenint en compte que la màxima tensió prevista al sistema sigui inferior a la del treball del descarregador.

El símbol de sobretensions és:

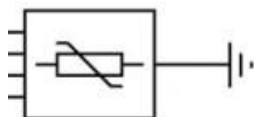


Figura 30 – Símbol sobretensions. Creació pròpia amb Autocad.

#### 3.4.1.1. Sobretensions de corrent continu

Aquest ha de ser instal·lat en el generador fotovoltaic, a la sortida del paral·lel dels fusibles.

Les característiques dels varistors hauran de satisfer les tensions i potències del generador fotovoltaic i el nivell de protecció que es vol assolir.

El rang de la tensió d'operació està definit per la tensió en el punt de màxima potencia i tensió de circuit obert del generador fotovoltaic.

Es col·loca un per a cada polaritat i string. S'inclouen tres varistors:

- Per a connectar el pol positiu amb terra.
- Per a connectar el pol negatiu amb terra.
- Per a interconnectar els dos pols.

En el cas que els strings siguin agrupats per una mateixa entrada MPPT, pot col·locar-se una sola protecció de sobretensions que s'adapti a les característiques de l'aliança de tots ells.

Existeixen equips que inclouen els tres varistors interconnectats.

La secció del varistor a instal·lar s'ha de consultar en l'ITC-BT-23 i el que mana el fabricant dels equips.

Quan els mòduls estan connectats en sèrie, per conèixer la tensió total, es sumen les tensions de tot el conjunt de mòduls d'un mateix string. Així doncs, la intensitat total és l'equivalent a la indicada en la fitxa tècnica d'un mòdul.

Quan la connexió dels mòduls de la instal·lació està feta en paral·lel, s'aplica la regla anterior a la inversa.

#### 3.4.1.2. Sobretensions de corrent altern

Per a protegir l'equip inversor, és necessària la instal·lació de les proteccions de sobretensions en la sortida d'aquest.

Segons l'ITC-BT-40, és obligatori la instal·lació del dispositiu en cas que l'inversor no n'incorpori. Per el contrari, no serà necessari.

La secció del varistor a instal·lar s'ha de consultar en l'ITC-BT-23 i el que mana el fabricant dels equips.

Segons l'ITC-BT-23, hi ha 4 categories diferents classificades en el nivell de tensió suportada a impulsos, en kV, segons la tensió nominal de la instal·lació. [P13]

### 3.4.1.3. Elecció

Per escollir el dispositiu de sobretensió idoni, es tenen en compte diversos paràmetres.

Segons tipus de protecció:

- Protecció tipus 2: S'encarrega de limitar la sobretensió a un valor no perillós per als equips connectats a la instal·lació elèctrica fixa.
- Protecció tipus 1+2: Quan la protecció precedent no és suficient. S'utilitza en cas elevat d'exposició als llamps o quan es disposa d'un sistema de protecció als raigs.
- Protecció 3: En el cas de necessitar una protecció completa i protegir elements connectats a la xarxa elèctrica els quals requereixen un alt nivell de fiabilitat, així com armaris de distribució, canalitzacions, etc.

Segons el nombre de pols:

- 1P
- 1P+N/2P
- 3P
- 3P+N/4P

Segons el valor de la intensitat màxima de descàrrega (entre d'altres):

- 20 kA
- 30 kA
- 40 kA

Segons el valor de tensió de servei:

- $U_n=120$  V (xarxes monofàsiques 120 V)
- $U_n=230$  V
  - o (1P/1P+N/2P xarxes monofàsiques 230 V)
  - o (3P/3P+N/4P xarxes trifàsiques 120/230 V)
- $U_n=277$  V
  - o (1P/1P+N/2P xarxes monofàsiques 277 V)
- $U_n=400$  V
  - o (1P xarxes monofàsiques 400 V)
  - o (3P/3P+N/4P xarxes trifàsiques 230/400 V)
- $U_n=480$  V
  - o (3P/3P+N/4P xarxes monofàsiques 277/480 V)
- $U_n=690$  V
- $U_c=600$  V
- $U_c=1000$  V

### **Elecció per protegir circuit DC**

Segons els paràmetres anteriors, per a protegir el circuit DC, es té en compte:

- Tota instal·lació ha de tenir una protecció mínima de tipus 2. Són les proteccions idònies donat que s'utilitzen per a petita instal·lació amb equips destinats a connectar-se a una instal·lació elèctrica fixa.
- El nombre de pols sempre és 3 en el cas DC.
- El valor mínim d'intensitat màxima de descàrrega ha de ser de 40 kA i 20 kA de corrent nominal, segons Norma UNE 60364-5-534.
- Per a sobretensions en circuit de continua, és necessari escollir la tipologia  $U_c$ .
- La tensió de protecció ( $U_p$ ) ha de ser com a mínim, de 1,5 kV

Per a determinar el valor de  $U_c$ , és necessari que la tensió de servei del dispositiu sigui superior a la tensió de circuit obert ( $U_{oc}$ ) del mòdul solar fotovoltaic.

En cas de diversos mòduls, és a dir, un string, la  $U_{oc}$  de referència serà la suma del nombre de mòduls multiplicat per la  $U_{oc}$  indicada pel fabricant.

En cas de varis strings amb diverses tensions, degut que estan compostos per nombres de mòduls diferents, poden col·locar-se proteccions de sobretensions no necessàriament iguals, ja que cada cadena fotovoltaica va protegida independentment. [P14]

### **Elecció per protegir circuit AC**

Segons els paràmetres anteriors, per a protegir el circuit AC, es té en compte:

- Tota instal·lació ha de tenir una protecció mínima de tipus 2. Són les proteccions idònies donat que s'utilitzen per a petita instal·lació amb equips destinats a connectar-se a una instal·lació elèctrica fixa.
- La connexió necessària segons instal·lació:
  - Monofàsica: entre una fase i el neutre.
  - Trifàsica: entre les tres fases i el neutre.
- Segons la norma EN 61643-11, les proteccions de tipus 2 poden descarregar impulsos de fins 15 kA i 40 kA (8/20 $\mu$ s). Segons l'ITC-BT-40, l'actuació ha de produir-se en un temps inferior a 0,5 segons. El valor mínim d'intensitat màxima ha de ser immediatament superior a  $I_{max}$  de l'aparell a protegir, en aquest cas, l'inversor.
- El valor de tensió nominal del dispositiu ha de ser igual a la de la sortida de l'inversor. Acostuma a ser  $U_n=230$  V o  $U_n=400$  V, segons tipus de connexió i conductors. [P15]

### 3.4.2. Fusibles

Els fusibles s'encarreguen de protegir la instal·lació davant de sobreintensitats, és a dir, actua quan la intensitat de corrent supera uns valors concrets per un curtcircuit o un excés de càrrega.

Aquests, és necessari instal·lar-los entre el generador i l'inversor, per tant, protegeix als panells solars i al seu cablejat, evitant el sobreescalfament de la resta de dispositius connectats.

Segons l'IEC 62548, en cas que l'inversor els porti incorporats, es pot ometre la seva instal·lació.

És necessària la col·locació d'un fusible en cada entrada de l'inversor, tant per al pol positiu com per al pol negatiu. Així doncs, cada string ha de comptar amb dues proteccions de fusible els quals, en cas de falla, aïllen el string defectuós i permet que la resta de la planta fotovoltaica continuï generant electricitat. Hi ha diversos tipus de fusibles i, entre ells, hi ha els que es connecten al pol positiu e internament, compten amb un pont que abasteix també el pol negatiu. [P16]

La Taula 3 es troben els valors normalitzada de fusibles amb unitats d'Ampers. Aquests valors són establerts segons UNE 20460-4-43 i segons la Comissió Federal d'Electricitat (CFE):

1	2	3	5	6	8	10	12	15
20	25	30	40	50	65	80	100	

Taula 3 – Intensitats nominals normalitzades de fusibles BT. [I16]

A la taula es mostren els més comuns segons les instal·lacions que es vol abastir en el present treball. Existeixen de major amperatge.

Són dispositius de protecció capaç d'interrompre qualsevol sobreintensitat inferior o igual a la corrent de curtcircuit en el punt on s'instal·la. Per tant, han de tenir un poder de tall menor al corrent de curtcircuit previst.

Per a l'elecció o per a la comprovació de si una protecció és correcte, s'utilitza la fórmula:

$$I_b < I_n < I_z$$

On:

- $I_b$ : Intensitat de disseny del circuit.\* [A]
- $I_n$ : Intensitat nominal del dispositiu de protecció. [A]
- $I_z$ : Intensitat màxima admissible del conductor. [A] Es determina amb la *Figura 28*.

\* Corrent de curtcircuit del string associat al fusible en qüestió. Equival a  $I_{sc}$  [A].

Des del punt de vista del dispositiu de protecció a instal·lar, s'apliquen factors de correcció, els quals es distingeixen entre límit inferior i superior.

Per al càlcul del límit inferior respecte  $I_n$  es tenen en compte les fórmules:

$$I_f \leq 1,45 * I_z$$

$$I_n \geq 1,25 * I_b$$

On:

- $I_f$ : Intensitat transitòria la qual assegura el funcionament efectiu del dispositiu de protecció generalment donat en la norma del producte. [A]
- 1,45: Els conductors solars poden suportar les sobrecàrregues transitòries al 145% del corrent admissible del conductor.
- 1,25: Condició de protecció per als fusibles gG en instal·lacions fotovoltaïques.

Per al càlcul del límit superior respecte  $I_n$  es té en compte:

La Taula 4 extreta del BT.

$I_n$ (A)	Tiempo convencional (h)	$I_f$ Corriente convencional de fusión
$I_n \leq 4$	1	$2,1 I_n$
$4 < I_n \leq 16$	1	$1,9 I_n$
$16 < I_n \leq 63$	1	$1,6 I_n$
$63 < I_n \leq 160$	2	$1,6 I_n$
$160 < I_n \leq 400$	3	$1,6 I_n$
$400 < I_n$	4	$1,6 I_n$

Tabla II

Taula 4 – Taula de criteris per protecció de fusibles. [I16]

És necessari aplicar el criteri de protecció dels fusibles gG segons el fusible que tingui la instal·lació. Les opcions de la taula quedaran en fórmula:

$$I_f = 2,1 * I_n$$

$$I_f = 1,9 * I_n$$

$$I_f = 1,6 * I_n$$

S'utilitza aquesta fórmula final en comparativa amb els resultats obtinguts del límit inferior.

El símbol del fusible és:

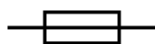


Figura 31 – Símbol fusible. Creació pròpia amb Autocad.

### 3.4.3. Magnetotèrmic

És l'interruptor contra sobrecàrregues i curtcircuits que té la funció protegir l'inversor i el cablejat.

Els magnetotèrmics estan formats per dos mecanismes de protecció, una magnètica i una tèrmica. La primera s'estimula pel magnetisme quan en un circuit es produeix un curtcircuit i, la part tèrmica, protegeix de sobre intensitats quan pel conductor corre més corrent del que aquest pot suportar. Quan l'interruptor es dispara és perquè les dues plaques en contacte es dilaten i per tant, es separen.

En el cas de tenir diversos inversors treballant en paral·lel, és necessari que cada inversor disposi d'un interruptor automàtic corresponent.

Els magnetotèrmics, depenent de les fases que protegeixi, poden ser:

- Unipolars, protegeixen una fase.
- Bipolars, protegeixen una fase i el neutre.
- Tripolars, protegeixen tres fases.
- Tetrapolars, protegeixen tres fases i el neutre.

Segons la velocitat de dispar, es classifiquen per corbes. Per a l'ús d'indústries i domèstic, s'utilitza la **Corba C**, així doncs, és la que s'utilitza per a la protecció de l'inversor i cablejat als sistemes fotovoltaics d'autoconsum.

La seva instal·lació s'ha de realitzar just a la sortida de l'inversor i, seguidament el diferencial.

Per a escollir magnetotèrmic s'ha de complir la Norma UNE 20460 que especifica:

$$I_c \leq I_N \leq I_z$$

La intensitat nominal de circulació pel cable ha de ser inferior o igual a la intensitat del magnetotèrmic.

La intensitat del magnetotèrmic ha de ser inferior o igual a la intensitat màxima admissible del cable a tallar.

Els valors de  $I_N$  normalitzats per als interruptors magnetotèrmics són, expressats en Amperes:

1	2	3	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80
100	125	160	250	400	630	800	1.250	1.600	2.000	2.500	3.200	

Taula 5 – Intensitats nominals normalitzades de magnetotèrmics. [16]

Així doncs, el valor del magnetotèrmic ha de ser escollit igual o immediatament per sobre del valor de la intensitat nominal de circulació pel cable ( $I_c$ ). Per a la determinació d'aquest valor, es consulta la Figura 28 segons el tipus de conductor del qual es disposa, la secció i la seva col·locació.

Segons la Norma UNE 20460 de protecció davant de sobrecàrregues s'ha de complir:

$$I_f = C_{dt} * I_N \leq 1,45 * I_z$$



Per a que es produeixi el dispar del magnetotèrmic, s'ha de produir una sobreintensitat que superi a la nominal del dispositiu en un valor donat per el quocient entre la intensitat de fusió a temps convencional i la nominal del magnetotèrmic.

$$\frac{I_f}{I_N} = C_{dt}$$

On,  $C_{dt}$  és el coeficient de dispar del tèrmic. Segons la norma d'homologació dels magnetotèrmics, el valor varia. S'observa en la Taula 6:

NORMA	$I_N$	$T_C$ (Temps Convencional)	$\frac{I_f}{I_N} = C_{dt}$
IEC 947-2 (ÚS INDUSTRIAL)	$\leq 63$ A	1h	1,30
	$> 63$ A	2h	
EN-60.898 (HABITATGES I LOCALS)	$\leq 63$ A	1h	1,45
	$> 63$ A	2h	

Taula 6 – Norma d'homologació magnetotèrmics. [116]

En el cas de tenir diversos inversors els quals s'uneixin per una caixa de connexió i condueixin fins al quadre de baixa tensió en un sol cable, s'instal·la un Interruptor General Automàtic (IGA) que abasteixi tots dos. Aquest, ha de complir amb la fórmula anterior de la Norma UNE 20460, tenint en compte la intensitat del nou conductor. L'IGA ha de estar dimensionat immediatament per sobre de la intensitat corresponent, no pot ser ni inferior ni superior ja que, si és superior es sobredimensionen les instal·lacions i, es re-calculen les potències a l'hora de legalitzar-les. Es tracta d'un error freqüent que les instal·ladors solen fer a consciència.

El símbol multifilar del magnetotèrmic amb connexió tripolar és:

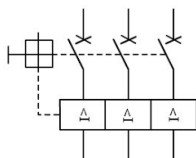


Figura 32 – Símbol magnetotèrmic. Creació pròpia amb Autocad.

#### 3.4.4. Diferencial

Protegeix a contactes directes o indirectes davant de descàrregues elèctriques. Detecta corrents derivats a terra per causa d'efectes d'aïllament i s'encarrega de desconnectar immediatament el circuit per evitar contactes indirectes a les persones. Es sol instal·lar un interruptor diferencial d'alta sensibilitat:

- Per a nivell domèstic deu ser de 30 mA en corrent altern i 100 mA en corrent continu.
- Per a us industrial o diferents casos, deu ser de 300 mA en corrent altern.

Segons l'ITC-BT-40, quan el valor de corrent diferencial assignada de funcionament és inferior a 30 mA, es reconeix com una mesura de protecció complementària en cas de falla.

En qualsevol cas, cal consultar l'ITC-BT 24.

Per a protegir la màxima longitud de circuit possible, la col·locació idònia d'aquest és el més proper possible al punt de connexió a la xarxa elèctrica. És un error situar l'interruptor diferencial just a la sortida de l'inversor, ja que tot el tram entre el punt i la connexió amb la xarxa queda desprotegida.

Segons l'ITC-BT-24, la protecció dels contactes indirectes es dona per evitar que, després de l'aparició d'un defecte, la tensió de contacte es mantingui durant temps prolongat. La tensió límit és 50 V, valor eficaç en corrent altern, en condicions normals i 24 V en locals humits. Les instal·lacions fotovoltaïques es consideren locals humits.

L'interruptor diferencial ha de ser de classe A o en el seu defecte, AC (més econòmic). S'utilitzen en instal·lacions que compten amb corrents alternes i amb components de corrent continua. [P17]

Segons la connexió de la instal·lació es diferencia:

- 2 pols: per a instal·lacions monofàsiques (230 V).
- 4 pols: per a instal·lacions trifàsiques (400 V).

La selecció d'aquesta protecció en termes de correcte amperatge ha d'assegurar mínim una intensitat nominal per sobre de la intensitat nominal de la sortida de l'inversor. Segons la norma UNE-EN 61008-1 (pàg 27), els valors normalitzats del corrent assignat ( $I_n$ ) són:

10 – 13 – 16 – 20 – 25 – 32 – 40 – 63 – 80 – 100 – 125 – 160 ... [A]

El símbol del diferencial trifàsic és:

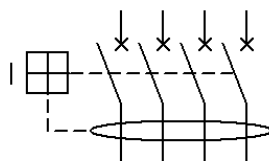


Figura 33 – Símbol diferencial. Creació pròpia amb Autocad.

### 3.4.5. Interconnexió

Segons el Reial Decret 1663/2000, el sistema de proteccions ha d'incloure:

- Interruptor automàtic de la interconnexió per a la desconexió-connexió automàtica de la instal·lació fotovoltaïca en cas de pèrdua de tensió o freqüència de la xarxa, junt a un relé d'enclavament.

- Protecció per la interconnexió de màxima i mínima freqüència (51 i 49 Hz, respectivament) i de màxima i mínima tensió (1,1 i 0,85 Um, respectivament).

El rearmament del sistema de commutació i, per tant, de la connexió amb la xarxa de baixa tensió de la instal·lació fotovoltaica és automàtic, una vegada restablerta la tensió de xarxa per l'empresa distribuïdora.

L'equip inversor pot tenir integrat les funcions de protecció de màxima i mínima tensió i, de màxima i mínima freqüència i, per tant, les maniobres automàtiques de desconnexió-connexió són realitzades per ell. En aquest cas, no és necessari disposar d'aquestes proteccions, quedant protegit només per l'interruptor general manual i l'interruptor automàtic diferencial, sempre i quant es compleixin les següents condicions:

- a) Les funcions son realitzades mitjançant un contactor el qual, el seu rearmament és automàtic un cop restablertes les condicions normals de subministrament de la xarxa.
- b) El contactor, governat per l'inversor, ha de poder ser activat manualment.
- c) L'estat del contactor ("on/off") ha de senyalitzar-se amb al frontal de l'equip.
- d) En el cas de no utilitzar-se les proteccions per a la interconnexió de màxima i mínima freqüència i de màxima i mínima tensió mencionades, el fabricant de l'inversor ha de certificar:
  - Els valors de tara de tensió.
  - Els valors de tara de freqüència.
  - El tipus i característiques de l'equip utilitzat internament per a la detecció de mals funcionaments (model, marxa, calibració, etc.).
  - Que l'inversor ha superat les proves corresponents en quant als límits establerts de tensió i freqüència.

Un cop finalitzada la instal·lació, en el moment de posar-la en funcionament, un aspecte clau és la definició de la tipologia de xarxa elèctrica de cada país, per així establir la freqüència idònia en els equips. És aquest el moment de la configuració d'aquestes proteccions. [P10]

#### 3.4.6. Presa de terra

L'objectiu de la presa a terra és la limitació de tensió i que asseguri l'actuació de les proteccions davant de falla o disminuir el risc que suposi una averia en els materials elèctrics utilitzats.

És la unió elèctrica directa sense proteccions, com per exemple fusibles, d'una part del circuit elèctric o d'una part conductora que no pertany a aquest, mitjançant una presa de terra amb un elèctrode o grup d'elèctrodes enterrats al terra. En el conjunt d'instal·lacions, edificis i superfícies pròximes del terreny, no han d'aparèixer diferències de potencial perilloses i, a l'hora, han de permetre el pas a terra dels corrents de defecte o les descàrregues d'origen atmosfèric.

Segons el l'Article 12 del Reial Decret 1663/2000 les masses de la instal·lació fotovoltaica han d'estar connectades a un terra independent de les masses de la resta de subministraments així com del neutre de l'empresa de distribució. És a dir, totes les masses de la instal·lació fotovoltaica, tant de la secció continua com de l'alterna, han d'estar connectades a una única terra.

Quan l'aïllament galvànic entre la xarxa de distribució de baixa tensió i el generador fotovoltaic no es realitza mitjançant un transformador d'aïllament, és necessari deixar constància en la Memòria de Disseny o Projecte els elements utilitzats per a garantir aquesta condició.

És una especificació difícil de complir i, davant d'aquest succés, s'han de proposar solucions alternatives a la Direcció General d'Energia i Mines.

La presa a terra ha d'estar connectada amb:

- Parts metàl·liques dels mòduls fotovoltaics i estructures de suport. Els panells de la instal·lació poden carregar-se electroestàticament producte del propi funcionament i ser un risc per contacte amb l'usuari o produir incendis per espurnes derivades. El marc d'alumini anoditzat és un material aïllant, per tant, la connexió es realitza en l'orifici específic destinat. Les estructures de suport dels mòduls també han d'estar connectades amb el conductor de terra. Les armadures i connectors metàl·lics que sobresurten de les estructures han de cobrir-se amb resguards per evitar possibles danys del personal. Existeixen grapes d'alumini que uneixen les estructures dels panells i per tant, no és necessària la col·locació de presa a terra de cadascuna d'elles. Es poden realitzar ponts.
- Terra del xassís de l'inversor. Els inversors acostumen a indicar la borna de connexió a terra.
- Proteccions. Les proteccions comentades anteriorment van posades a terra.
- Tubs, safates metàl·liques, entre d'altres.

El dimensionament ha de satisfer les instruccions ITC-BT-18, ITC-BT-19 i ITC-BT-26. [P18]

El valor de la resistència de terra es dimensiona assegurant que qualsevol massa no pot ser capaç de donar lloc a tensions de contacte en corrent altern superiors a:

- 24 V en locals o emplaçaments conductors
- 50 V en els casos restants

Segons l'ITC-BT-30, es consideren locals o emplaçaments humits les instal·lacions a la intempèrie i, per tant, les fotovoltaïques.

Si la instal·lació presenta condicions d'originar tensions de contacte superiors a aquests valors, s'ha d'assegurar l'eliminació de la falta mitjançant dispositiu de tall adequat al corrent de servei.

La profunditat d'enterrament de les preses de terra mai serà inferior a 0,50 m, segons l'ITC-BT-18.

La correcta determinació de la resistència ( $R_t$ ) ha de satisfer la següent condició:

$$R_t \leq \frac{V}{I}$$

On:

- V: Tensió de defecte o de seguretat. És la tensió de contacte màxima admissible durant mínim cinc segons. Com s'ha esmentat anteriorment, per a emplaçaments humits, és de 60 V en corrent continu i 24 V en corrent altern. Per a emplaçaments secs, la tensió és de 120 V en corrent continu i 50 V en corrent altern (no aplicable al tractar-se en obra a l'exterior).
- I: Intensitat de defecte equivalent a la intensitat d'actuació del dispositiu de protecció diferencial (30 mA).

El costat de la instal·lació de corrent continu, no compta obligatòriament amb interruptor de protecció diferencial. Així doncs, per a que la presa de terra en forma de javelina sigui efectiva, ha de comptar amb una resistència d'entre 7 i 10  $\Omega$  segons l'ITC-BT-24.

Per al càlcul de la resistència ( $R_t$ ) segons resistivitat del terreny de l'emplaçament on s'ubica la instal·lació, es tenen en compte les fórmules de la taula 5 definida l'ITC-BT-18. En el present projecte és la Taula 7.

Electrodo	Resistencia de Tierra en Ohm
Placa enterrada	$R = 0,8 \rho/P$
Pica vertical	$R = \rho/L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2 \rho/L$

Taula 7 – Càlcul de resistència segons resistivitat. [I17]

On:

- $\rho$ : Resistivitat del terreny [ $m\Omega$ ]
- P: Perímetre de la placa [m]
- L: Longitud de la pica o del conductor [m]

La resistivitat del terreny pot ser extreta de la Taula 8 definida l'ITC-BT-18 Taula 3 en funció del terreny que es trobi la instal·lació. Per a una major exactitud, l'ideal és extreure el valor de la resistivitat del terreny a l'emplaçament amb varies mesures, tenint present la meteorologia dies abans, l'evolució del terreny i la composició d'aquest. [P11]

El perímetre compren totes les piques connectades a través d'elèctrodes horitzontals formant un quadrat que conforma una placa metàl·lica.

Naturaleza terreno	Resistividad en Ohm.m
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosas	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5.000
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

Taula 8 – Resistivitat segons naturalesa del terreny. [17]

El símbol de presa a terra és:



Figura 34 – Símbol presa a terra. Creació pròpia amb Autocad.

### 3.4.6.1. Secció de conductor de terra

Segons l'ITC-BT-18, per a determinar la secció del conductor de protecció presa a terra, s'ha de complir la Norma UNE 20.460-5-54 apartat 543.1.1. Donat que les seccions dels conductors de protecció no han de ser inferiors als de la següent taula, la verificació de l'apartat 543.1.1. no és necessària.

La Taula 9, és vàlida en cas que els conductors de protecció estiguin fabricats del mateix material que els conductors actius. En cas contrari, les seccions dels conductors de protecció es determinen de forma que presentin una conductivitat equivalent a la que resulta aplicant aquesta taula.

Secció dels conductors de fase de la instal·lació $S$ ( $\text{mm}^2$ )	Secció mínima dels conductors de protecció $S_p$ ( $\text{mm}^2$ )
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Taula 9 – Càlcul de secció per conductor de terra. [17]

En cas que la utilització de la taula resulti a valors no normalitzats, s'utilitzen els conductors de secció normalitzada superior a la més propera.

Quan el conductor de protecció és comú per a més d'un circuit, la secció d'aquest es dimensiona en funció de la secció més gran dels conductors de fase.

Existeixen diversos conductors de protecció:

- Conductors en els cables multi conductors.
- Conductors aïllats o nus que posseeixen una envolupant comú amb els conductors de fase.
- Conductors nus o aïllats.

Els conductors de protecció han de garantir la seguretat contra deterioraments mecànics, químics, electroquímics i contra esforços electrodinàmics.

Segons l'ITC-BT-19, per a una instal·lació es té en compte:

- Per a diversos sistemes de protecció en instal·lacions properes, s'utilitza per a cadascun, un conductor de protecció diferent establerts per la norma UNE 20.460-3.
- Per travessar parets o sostres, els sistemes de protecció han d'estar protegits per un tub d'acord a la resistència mecànica.
- Per a instal·lacions amb diverses tensions nominals, no s'utilitza el mateix conductor.

Segons l'ITC-BT-26, no poden ser utilitzades com a conductors de terra les canonades d'aigua, gas, calefacció, desaigües, conductors d'evacuació de fums o brosses, ni les cobertes metàl·liques dels cables, tant de la instal·lació elèctrica com de telèfons de qualsevol altre servei similar. Tampoc les parts conductores dels sistemes de conducció dels cables, tubs, canals i safates.

Els conductors de terra han de connectar-se mitjançant dispositius, amb cargols que garanteixin la connexió. La identificació del conductor de protecció ve donada per el doble color groc-verd.

Les instal·lacions superficials han de realitzar-se mitjançant algun dels següents sistemes:

- Cables aïllats sota tub flexible
- Cables aïllats sota tub rígid
- Cables aïllats sota canal protectora tancada
- Canalitzacions prefabricades.

### 3.5. Estudi d'ombres d'una planta fotovoltaica

Com s'ha esmentat anteriorment, el mòdul fotovoltaic té més producció en les hores i èpoques de major radiació solar. Les ombres, provoquen una disminució de captació d'irradiació i pèrdues energètiques, per tant, tenen efecte molt negatiu en el funcionament d'un sistema fotovoltaic.

L'estudi d'ombres és fonamental a l'hora de definir la ubicació idònia per la instal·lació i que aquesta no sigui afectada per projeccions fosques.

Quan s'ombreja parcialment un mòdul, la tensió sobre les cel·les afectades poden invertir el voltatge i comportar-se com una càrrega resistiva. La irradiància és directament proporcional al corrent de curtcircuit del panell, així doncs, quan aquesta disminueix, també ho fa el corrent. Quan la intensitat d'una cel·la és menor a la del string, la tensió d'ella s'inverteix fent que es comporti com una càrrega resistiva. És possible que provoqui danys al mòdul sencer degut a l'alta temperatura que pot arribar assolir. Es pot observar a la Figura 35 que aquest factor afecta la corba I-V del panell deformant-la, essent la corba vermella en funcionament normal i, en blau amb pèrdues per ombrejat. Com s'ha vist anteriorment, quan es tracta d'una connexió en sèrie, per totes les cel·les circula la mateixa intensitat i, quan alguna d'elles és afectada per aquest factor, totes elles limiten el seu corrent al de la perjudicada. D'aquesta manera, també té repercussions el punt de màxima potència disminuint. [P19] [P20]

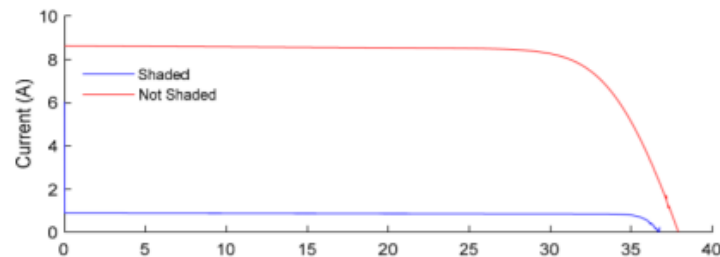


Figura 35 – Corba I-V comparativa mòduls amb i sense ombres. [I18]

### 3.5.1. Solució díode bypass

A la cel·la afectada se l'implanta una tensió inversa que resulta la suma acumulada de la resta de cel·les. Així doncs, en comptes de generar potència, la consumeixen ja que treballen amb voltatges negatius. Aquest efecte es pot alleugerir afegint díodes bypass. Es pot observar en la Figura 36 la cel·la actuant com a càrrega resistiva:

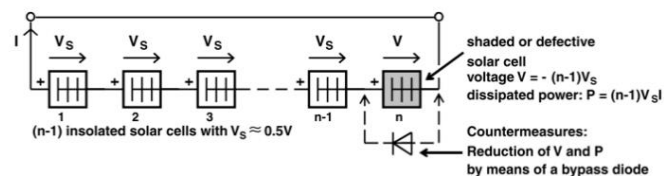


Figura 36 – Actuació de cel·la amb díode bypass. [I19]

Els díodes bypass eviten que, quan apareix una ombra parcial, el panell produeixi punts calents. Aquest fenomen rep el nom quan la potència que consumeixen les cel·les es dissipen en forma de calor i, per conseqüència, augmenten la temperatura.



En condicions normals, la tensió creada circula de negatiu a positiu pel díode bypass, per tant aquest no condueix corrent i és com si no hi fos. Ara bé, quan es produeixen ombres parcials en cèl·lules i fa que aquestes deixin de generar tensió, el seu comportament com a resistència provoca una caiguda de tensió que inverteix la polaritat del díode, el qual s'obre i permet el corrent a través d'ell.

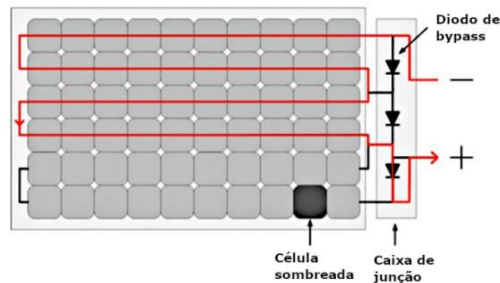


Figura 37 – Conductivitat d'intensitat entre cel·les amb díode bypass. [I20]

Els díode bypass poden ser instal·lats tant en un sol mòdul fotovoltaic per evitar el punt calent com, entre diversos mòduls si es dona el cas que l'ombra afecta a un de sencer o inclús a varis. Aquesta última forma és la més comú donat que la primera, és una despesa molt gran tot i que seria l'òptim. Quan es tracta d'aquest cas, s'acostuma a posar un díode bypass cada 12 o 24 cel·les. En el segon cas, per evitar que aquest mòdul afecti a tot el string, es col·loquen bypass en antiparal·lel amb cada panell fotovoltaic tal i com es veu a la Figura 38, permetent que la intensitat de la resta de mòduls que formen la instal·lació, no es vegi afectada. [P19] [P20]

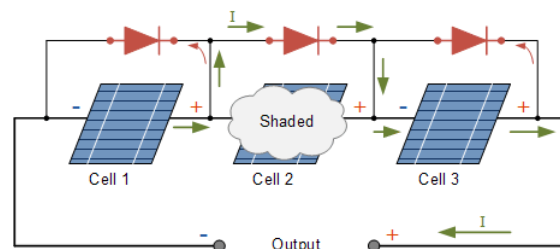


Figura 38 – Conductivitat d'intensitat entre mòduls amb díode bypass. [I21]

L'efecte de la col·locació d'aquest element, torna a afectar la corba I-V, creant diversos màxims de potència que el panell entrega en la nova situació. Per a una instal·lació amb força ombra, la corba característica millora quanta més quantitat de díodes bypass disposi. Es pot observar en la Figura 39.

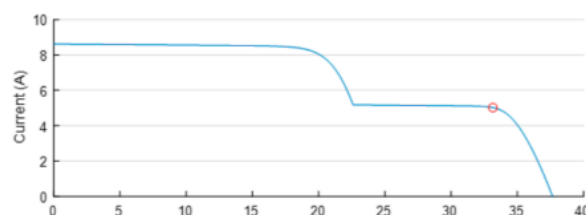


Figura 39 – Corba I-V amb díodes bypass. [I18]

### 3.5.2. Separació dels captadors

La distància entre files que componen els captadors fotovoltaics és important per evitar ombres entre uns i altres. És un error voler ocupar el màxim espai disponible per tractar d'augmentar la potència quan, les ombres s'ha vist que són una gran font de pèrdues.

Així doncs, segons la inclinació que tinguin els captadors  $i$ , la situació on siguin instal·lats, la separació a respectar entre captadors serà diferent. Igual passa segons la posició, si és en vertical o en horitzontal, creant més ombra quant més alts siguin els panells. Es busca la màxima eficiència i aprofitament segons el camp aprofitable.

És necessari extreure diversos paràmetres, tal i com mostra la Figura 40, per realitzar el càlcul.

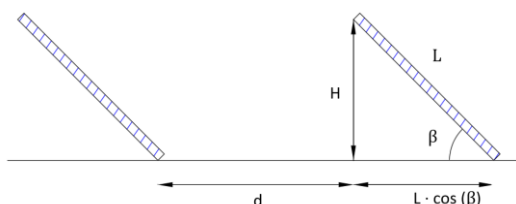


Figura 40 – Distància mínima entre captadors. Creació pròpia amb Autocad.

On:

- $d$ : Distància mínima entre files de captadors. [m]
- $H$ : Altura dels captadors. Correspon amb  $H = L \cdot \sin(\beta)$ . [m]
- $\beta$ : Inclinació dels captadors. [deg]
- $L$ : Longitud dels captadors. [m]

L'expressió a utilitzar és facilitada pel plec de condicions de l'IDAE, dissenyada per la circumstància més desfavorable en quant altura solar, corresponent al 21 de desembre.

$$d = \frac{H}{\tan(61^\circ - |\varphi|)}$$

On:

- $\varphi$ : Latitud [°]

L'expressió, substituint  $H$ , queda de la següent forma:

$$d = \frac{L \cdot \sin(\beta)}{\tan(61^\circ - |\varphi|)}$$

La distància obtinguda és la mínima per assegurar que la fila de captadors del darrera no sofriran pèrdues per ombres dels mòduls del davant. [P20]

### 3.5.3. Càlculs

Per al càlcul de les ombres en un mòdul fotovoltaic per obstacles interposats amb la trajectòria solar, es realitza la representació del perfil d'obstacles.

Els obstacles que queden al costat nord respecte el punt a estudiar, no produeixen ombres i per tant, no son considerats.

Les ombres creen pèrdues i l'eficiència del mòdul baixa quant més nombre hi ha. Estudiar-les és viable amb l'ajut del DBHE (Documento Básico HE).

Per iniciar els càlculs, s'ha de tenir en compte la inclinació i orientació dels mòduls fotovoltaics. Es defineixen dues fórmules fonamentals pel seu estudi:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\text{desviació}}{\text{distància}}\right)$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{\text{altura}}{\text{distància}}\right)$$

On:

- $\alpha$ : Azimut [deg]
- $\beta$ : Inclinació [deg]

S'estableix el punt extrem, que es percep com l'origen del mòdul, i els vèrtex dels obstacles que intercepten en la trajectòria de la radiació solar amb aquest. [P17]

El perfil d'obstacles, realitzat per les lectures precedents, es projecta sobre el diagrama de trajectòries del Sol que es mostra a la Figura 41. Aquest és diferent segons localitats, és a dir, segons altituds. En el present projecte s'utilitza el comú extret del HE 4-2009. El següent és útil per localitats de la Península Ibèrica i Balears.

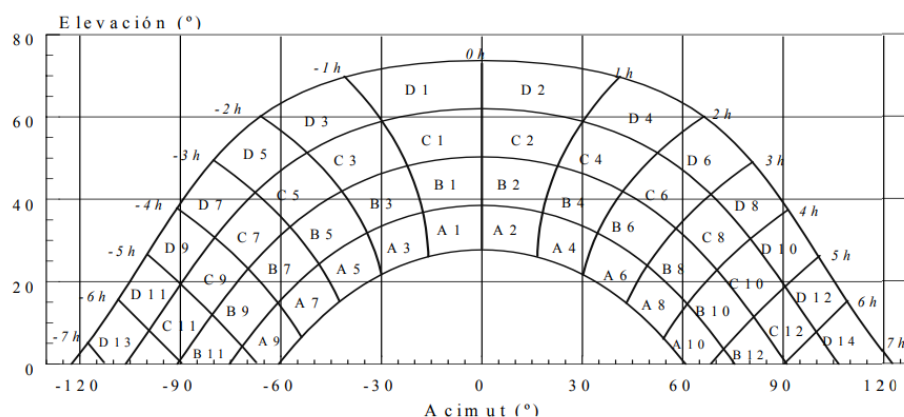


Figura 41 – Diagrama del Sol. [I22]

El recorregut del Sol en un període de temps, és representat per totes les porcions de la Figura 41. La irradiació solar global és diferent en cadascun d'aquests.

Per desenvolupar les pèrdues obtingudes a la corba, s'utilitzen les taules de l'Apèndix B, les taules de referència del HE 4. Entre les normalitzades, s'escull la de referència que més s'adeqüi al sistema a la superfície d'estudi (en termes d'azimut e inclinació). S'extreuen els valors segons l'escollida i les porcions que queden ombrejades en la Figura 41 una vegada realitzades les lectures. Cada porció ha de multiplicar-se per un factor, segons la contribució d'aquesta sobre el diagrama. Els valors han de ser aproximats. El factor normalitzat ha de ser 0,25, 0,50, 0,75 o 1, de menor a major ocupació de porció respectivament. [P21]

Els nombres que apareixen en cada casella corresponen al percentatge d'irradiació solar global anual que es perd si la porció corresponent resulta interceptada per un obstacle. [P22]

Un cop adquirit el percentatge parcial de les pèrdues, es suma i s'obtenen les totals. Segons la taula 2.2. de la secció HE5, o 2.4 de l'HE 4, les màximes pèrdues per ombra en una instal·lació solar poden ser:

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

Figura 42 – Pèrdues màximes per ombres. [I22]

On:

- Superposició són els mòduls fotovoltaics sobre coberta.
- Integrats en l'arquitectura de l'edifici.

### 3.6. Legalització d'una planta fotovoltaica

Les instal·lacions solars fotovoltaiques que es presenten en el projecte són connectades a la xarxa. Aquestes han de tenir una estricta regulació amb l'energia que aboquen.

Per entrar en funcionament, les instal·lacions elèctriques de baixa tensió han de satisfer la seguretat de les persones i els béns i han d'assegurar el funcionament normal i la previsió de les pertorbacions en altres instal·lacions i serveis.

Les noves instal·lacions, es classifiquen en dues classes en relació amb els tràmits administratius per la permissió d'execució:

- Instal·lacions amb projecte

Es tracta d'instal·lacions complexes que requereixen d'un projecte per ser identificables i justificar directament el compliment del reglament de seguretat, així com la certificació d'acabament d'obra la qual ha de concordar amb l'esmentat al projecte. Aquest tipus d'instal·lacions no són tractades en el l'actual projecte.

- Instal·lacions amb memòria tècnica de disseny

Es tracta d'instal·lacions senzilles les quals requereixen ser identificades per una memòria tècnica de disseny (MTD) per la proporció de les dades principals i característiques d'aquestes. En ella s'ha d'assegurar el compliment de la reglamentació de seguretat. Són les més habituals en instal·lacions fotovoltaïques.

Aquestes últimes, són diferenciades en dos grups distingibles per la tipologia d'instal·lació, on són implantades i la potència. A continuació, en la Taula 10, es citen les més comuns per l'àmbit fotovoltaic o les considerades d'us rellevant per l'actual projecte:

Grup	Tipologia d'instal·lació	Limitacions
a	Instal·lacions per indústries, en general	P > 20 kW
b	Locals humits, amb pols o amb risc de corrosió	P > 10 kW
c	Locals mullats, generadors, convertidors i conductors aïllats per caldejament	P > 10 kW
d	De caràcter temporal en locals o emplaçaments oberts	P > 50 kW
f	Instal·lacions en habitatges unifamiliars	P > 50 kW
l	Locals amb risc d'incendi o explosió, exceptuant els garatges	Sense límit

Taula 10\_– Tipologia d'instal·lacions segons grup. [123]

Les instal·lacions de modificació o ampliació no són contemplades en el present projecte.

S'entenen com instal·lacions d'autoconsum les consumides per part d'un o varis consumidors d'energia elèctrica provinent d'instal·lacions de generació pròximes a les de consum i associades a les mateixes.

Existeixen diverses tipologies de modalitats d'autoconsum recollits al Reial Decret. A continuació s'esmenten:

- Autoconsum sense excedents: La instal·lació no aboca energia a la xarxa elèctrica tot i estar connectada a ella. Disposa d'un element que evita l'excedent energètic.
- Autoconsum amb excedents: La instal·lació està connectada a la xarxa elèctrica i, l'energia restant no consumida, s'aboca a la xarxa elèctrica en forma d'excedents.

La instal·lació ha de complir les condicions tècniques recollides al Reial Decret 1699/2011, de 18 de novembre, pel qual es regula la connexió a la xarxa de les instal·lacions de producció d'energia elèctrica de petita potència. Aquestes són les no superiors a 100 kW de potència nominal i connectades en Baixa tensió. En el l'actual projecte són les úniques que es tractaran.

Es permet interconnectar instal·lacions en baixa tensió sempre que la suma de les potències nominals no excedeixi els 100 kW. S'habilita la compensació entre el dèficit i

superàvit dels consumidors acollits a l'autoconsum amb excedents per instal·lacions fins a 100 kW.

Segons el Reial Decret 900/2015 i, la posterior modificació al Reial Decret 500/2019, existeixen dues modalitats d'autoconsum d'energia, anomenades de tipus 1 i de tipus 2:

- Tipus 1

Instal·lacions de generació destinades per un consumidor en un únic punt de subministrament. No estan donades d'alta al RIPRE (Registre autonòmic d'Instal·lacions de Producció en Règim Especial). El titular del punt de subministrament és el mateix que el de tots els equips de consum e instal·lacions de generació connectades a la seva xarxa. No poden superar els 100 kW i, la potència de la planta fotovoltaica generadora no ha de superar la potència contractada. Solen ser instal·lacions domèstiques. És necessari la disposició de dispositiu de comunicació per la lectura remota dels equips de mesura.

- Tipus 2

Instal·lacions escrites al registre de producció i poden comptar amb dos subjectes, el consumidor i el productor. En qualsevol cas, la potència de la planta fotovoltaica generadora no ha de superar la potència contractada pel consumidor. Si existeixen diverses plantes de producció, el titular de totes elles ha de ser la mateixa persona física o jurídica, però no és necessari que coincideixi amb el consumidor. No hi ha límit per la potència contractada al punt de subministrament. És necessari la disposició de dispositiu de comunicació per la lectura remota dels equips de mesura.

Segons el Reial Decret 1663/2000, s'han d'especificar condicions tècniques de la connexió a realitzar. El primer pas, és verificar si la potència nominal màxima disponible de connexió a l'emplaçament on actuar és superior a la potència de la instal·lació fotovoltaica. És a dir, s'ha d'assegurar que la potència de la instal·lació de generació és inferior a la potència màxima admissible de l'escomesa a la qual es connectarà la instal·lació d'autoconsum. Si no és així, l'empresa distribuïdora ha de determinar els elements concrets de la xarxa que s'han de modificar per igualar les potències. [P24]

Per iniciar una obra, és necessari seguir una sèrie d'accions i comunicacions amb l'ajuntament de l'emplaçament on es realitza la instal·lació i, en el cas de Catalunya, amb la Generalitat. En aquest projecte, han estat diferenciats en diversos passos.

### 3.6.1. Comunicació d'obres

La primera acció a dur a terme és la sol·licitud de l'execució d'obres. Aquest tràmit es coneix per "Comunicació prèvia d'obres" i es presenta a l'Ajuntament en qüestió.

Per a la correcte demanda és necessari presentar una memòria tècnica de disseny en el cas d'instal·lar una potència menor a 10 kW i, per potències superiors, un projecte.

En la sol·licitud s'especifica el titular sol·licitant, l'adreça de l'emplaçament on s'executa l'obra i segons l'ajuntament, es requereixen diversos documents. Tots ells coincideixen en la petició de la memòria o projecte signat i visat el qual és necessari que inclogui plànols, descripció dels treballs i pressupost desglossat. Altrament, es poden sol·licitar diversos annexos.

En qualsevol cas, és necessària l'aprovació de l'Ajuntament d'aquest tràmit per començar a executar la instal·lació solar fotovoltaica.

### 3.6.2. CIEBT

Una vegada obtingut el permís d'obres per part de l'Ajuntament, s'inicia l'obra i els tràmits amb la Generalitat de Catalunya.

És necessària la presentació del Certificat d'instal·lació elèctrica de baixa tensió (CIEBT), on s'especifica a través de diverses accions, la tipologia d'instal·lació i les característiques tècniques d'aquestes. Aquest és signat i presentat per l'empresa instal·ladora. Té una validesa de 6 mesos a efectes de la instal·lació. Una vegada inscrita, la seva validesa és indefinida mentre no es modifiqui la instal·lació.

A l'hora es necessiten dos documents més en els quals hi participa client.

El primer s'anomena Declaració responsable per a la posada en servei d'una instal·lació de seguretat industrial. És omplert i signat pel titular identificant la tipologia d'instal·lació, l'adreça i la declaració. Aquest document serveix per annexar-lo en el següent.

El segon s'anomena Presentació de la declaració responsable per a la posada en servei d'una instal·lació elèctrica de baixa tensió. És el document a presentar i porta adjunta la darrera Declaració responsable. S'especifiquen les dades de la persona presentadora o empresa junt amb les del representant d'aquesta, les dades del titular, les dades de l'emplaçament de la instal·lació de generació i del punt de subministrament.

És signat i presentat junt amb el CIEBT per part de l'empresa.

Es distingeixen les instal·lacions segons si són menors o iguals a 25 kW o, pel contrari, majors. Per al cas d'obres superiors a 25 kW, és necessària la inspecció prèvia d'un Organisme d'Inspecció i Control.

### 3.6.3. RITSIC

Una vegada obtingut l'acusament de rebuda, es fa el pagament de la taxa i, amb el comprovant, s'obté el número d'inscripció al Registre d'instal·lacions Tècniques de Seguretat Industrial de Catalunya (RITSIC).

La inscripció al RITSIC és la documentació que certifica que la instal·lació s'efectua correctament. És necessari que tota planta fotovoltaica estigui inscrita.

Per l'obtenció del RITSIC, és necessària la presentació de la memòria tècnica o projecte, el CIEBT i, en cas d'instal·lacions superiors a 25 kW, també la Inspecció Prèvia avaluada Favorablement.

Les instal·lacions de generació de potència igual o inferiors a 15 kW ubicades en sòl urbanitzat amb les dotacions i serveis requerits per la legislació urbanística establerta en l'article 21.3 del Reial Decret legislatiu 7/2015, de 30 d'octubre, queden exemptades de sol·licitar els permisos d'accés i connexió.

#### 3.6.4. Posada en servei

S'ha d'obtenir el codi CAU generat i proporcionat pel distribuïdor elèctric, que en el cas de Catalunya, és ENDESA. És un codi que identifica unívocament a la instal·lació d'autoconsum i que relaciona tots els punts de consum i de generació associats a aquesta. Es classifica el mètode d'obtenció segons tipologia d'infraestructura:

- Instal·lacions d'autoconsum sense excedents i aquelles amb excedents de menys de 15 kW en sòl urbanitzat, l'instal·lador o el titular sol·liciten al distribuïdor el codi CAU amb caràcter previ a presentar les dades per la tramitació.
- Resta d'instal·lacions, el codi CAU és facilitat pel distribuïdor en el tràmit de sol·licitud de permís d'accés i connexió. [P25]

Per la posada en servei de la obra efectuada, es presenten diversos formularis segons la tipologia de la instal·lació d'autoconsum. Es diferencien les instal·lacions amb o sense excedents, si és per potències majors o menors a 15 kW i segons si s'acull a la venda d'excedents fins a 10 kW, 100 kW o més.

En el present projecte es presenten els casos d'instal·lacions generadores d'autoconsum amb compensació d'excedents, distingint si són menors o majors a 15 kW.

- Menors a 15 kW

Per la posada en servei de la obra efectuada, un cop obtingut el codi CAU, s'ha de presentar la Sol·licitud d'autorització d'explotació definitiva d'una fotovoltaica d'autoconsum-compensació de fins a 15 kW en sòl urbanitzat. Ho presenta l'empresa instal·ladora tot indicant les dades pròpies, les dades del titular de la instal·lació i les de l'emplaçament de la infraestructura generadora. Aquest document inclou un document anomenat Annex de dades tècniques dels formularis d'Autoconsum on, s'especifica el codi CAU, i les característiques tècniques de la instal·lació fotovoltaica, entre d'altres.

- Majors de 15 kW fins a 100 kW

Per la posada en servei de la obra efectuada, és necessària l'obtenció del codi CAU amb el Permís d'accés i connexió, segons el Reial Decret 1183/2020, de 29 de desembre. El sol·licitant, abans de realitzar la sol·licitud d'accés i connexió a la xarxa de transport, o en el seu cas a la xarxa de distribució, ha de presentar davant l'òrgan competent per atorgar l'autorització de la instal·lació, el resguard acreditatiu d'haver dipositat la garantia



econòmica. Aquesta és equivalent a 40 € per kW instal·lat i, en cas d'hibridació d'instal·lacions, 20 € per kW. La presentació del resguard acreditatiu és requisit imprescindible per la iniciació dels procediments d'accés i connexió per part del gestor de la xarxa. Aquest és tramitat davant la Direcció General d'Energia. Per l'obtenció del permís d'accés i connexió, el sol·licitant ha d'adreçar una sol·licitud al gestor de la xarxa de distribució amb la documentació corresponent. Aquesta sol ser un formulari general, l'avantprojecte de la instal·lació de generació d'electricitat on s'identifica l'emplaçament i la posició on es connecta el productor, esquemes unifilars, potència contractada prevista, pressupost desglossat, entre d'altres. [P26]

Un cop obtingut i amb ell, el codi CAU, es procedeix a presentar la Sol·licitud d'autorització d'explotació definitiva per a noves i ampliació/reducció d'instal·lacions fotovoltaïques. S'aporta el Certificat de direcció i acabament d'obra d'instal·lació de producció d'energia elèctrica. Ho presenta l'empresa instal·ladora tot indicant les dades del titular, de l'emplaçament, del col·legiat que ho emet i les característiques principals de la instal·lació. El tràmit inclou també l'Annex de dades tècniques dels formularis d'Autoconsum, la memòria tècnica, el projecte de la instal·lació, i la declaració del tècnic competent si s'escau.

En el cas de les obres generadores de potència inferior a 15 kW, si no estan ubicades en sòl urbanitzat amb les dotacions i serveis requerits per la legislació urbanística, cal que demanin també aquesta Sol·licitud d'autorització.

Les ampliacions i reduccions de potència de les instal·lacions d'autoconsum cal legalitzar-les escollint el tràmit corresponent de la modificació efectuada, omplir el Formulari i l'Annex amb les dades de la resultant, i presentar-ho a la Generalitat de Catalunya.

Una vegada efectuat el tràmit i rebuda la notificació, es disposa de 10 dies naturals per acceptar-la o rebutjar-la.

### 3.6.5. RAC

En el cas d'acceptació, es rep el Document acreditatiu d'acompliment pel procediment administratiu i de la inscripció en el Registre d'Autoconsum de Catalunya d'una instal·lació generadora. Aquest, autoritza l'explotació definitiva d'una instal·lació generadora d'autoconsum amb compensació d'excedents segons els kW sol·licitats amb les dotacions i serveis requerits per la legislació urbanística. S'obté un codi anomenat Número RAC.

Les tarifes elèctriques han de ser canviades un cop s'ha realitzat la instal·lació, està legalitzada i en correcte funcionament. Segons el Reial Decret 244/2019, de 5 d'abril, existeixen solament dos tipus de modalitats d'autoconsum:

- Acollit a la compensació simplificada d'excedents: L'usuari és recompensat econòmicament per la distribuïdora elèctrica per l'excedent d'energia abocat a la xarxa.
- No acollit a la compensació simplificada d'excedents: L'usuari no és recompensat econòmicament per l'excedent d'energia abocat a la xarxa i, en aquest cas, aquests excedents es venen al mercat elèctric. [P27]

Es sol·licita l'activació de Compensació Simplificada d'Excedents a la companyia de distribució. Al tractar-se d'una instal·lació de potència inferior a 100 kW, el client sempre ha de presentar a la distribuïdora els mateixos documents:

- CIEBT
- RAC
- RITSIC
- Annex de Compensació Simplificada d'Excedents, el qual és adjuntat per l'empresa distribuïdora on s'escull la modalitat d'autoconsum a la que es desitja acollir. És signat pel client.

Els documents són facilitats al sol·licitant per part de l'empresa instal·ladora. Un cop rebuts i validats, l'empresa distribuïdora realitza en nom del client el tràmit d'activació del producte.

Una vegada tramitat el darrer pas, l'empresa distribuïdora pot realitzar en qualsevol moment una primera verificació en aquells elements que afecten a la regularitat i seguretat del subministrament.

### 3.6.6. Condicions tècniques i obligacions del titular

Segons l'Article 7 i l'Article 8 del Reial Decret 1663/200, s'estableixen una sèrie de condicions tècniques generals i d'obligacions a complir per part del titular de la instal·lació. A continuació s'esmenten les més significatives:

- El funcionament de les instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum amb compensació d'excedents no deurà provocar en la xarxa averies, disminucions de les condicions de seguretat ni alteracions superiors a les admeses per la normativa.
- Les condicions de connexió a la xarxa són fixades en funció de la potència de la instal·lació.
- En el circuit de generació fins l'equip de mesura no pot intercalar-se cap element de generació diferent del fotovoltaic, ni d'acumulació o de consum.
- En el cas d'averia en la xarxa o pertorbació important relacionada amb la instal·lació, l'empresa distribuïdora pot verificar la instal·lació sense necessitat d'autorització prèvia de l'autoritat competent. S'entén com a pertorbació important aquella que afecta a la xarxa de distribució fent que el subministrament als usuaris no arribi als límits de qualitat.

- En el cas que una instal·lació fotovoltaica pertorbi el funcionament de la xarxa de distribució, incomplint els límits establerts de qualitat de servei o qualsevol altre aspecte recollit en la normativa aplicable, la distribuïdora ho ha de comentar a l'Administració competent i al titular de la instal·lació, concebant un màxim de 72 hores per presentar una solució. Transcorregut el termini i persistint les incidències, l'empresa distribuïdora pot procedir a la desconexió de la instal·lació. S'ha de presentar a l'empresa elèctrica i a l'Administració competent el justificant firmat per un tècnic o instal·lador autoritzat per tornar a connectar-la.

## CAPÍTOL 4: AUDITORIA EN PLANTA REAL

---

### 4.1. Presentació de la instal·lació

En el present capítol es presenta un cas real d'una planta solar fotovoltaica, a la qual se li apliquen els coneixements adquirits, per l'anàlisi i determinació de la correcta instal·lació.

L'obra té l'emplaçament a Barcelona, al Carrer Tànger 66 amb CP: 08018, tal i com mostra la Figura 43. Està composta per 146 mòduls de 270 W cadascun i 2 inversors trifàsics, un de 15 kW i l'altre de 25 kW, és a dir, es tracta d'una obra de 39,42 kW pic i 40 kW nominals.



Figura 43 – Planta coberta de la instal·lació. Extret de Google Earth.

L'edifici consta de cinc plantes. Disposa d'una coberta de 0° d'inclinació per a la ubicació dels captadors. La orientació de l'edifici és de 45° sud-est permetent una superposició dels mòduls alineats amb els límits perimetrals.

Els camp de captació està ubicat a diferents alçades, podent així cobrir el màxim de superfície disponible. Es reparteixen de la següent forma:

- En la part superior sobre sales tècniques, dues fileres de 15 mòduls cadascuna i dues fileres de 12 mòduls cadascuna. Un total de 54 mòduls en la part més alta de l'edifici.
- En la part central sobre la coberta de l'edifici, una fila composta de 44 captadors.
- En la part inferior, una fila composta de 48 captadors.

Les dues fileres de mòduls inferiors compten amb una inclinació de 30° mentre que, les 4 superiors a sobre de les teulades de sales tècniques, compten amb una inclinació de 0°, és a dir, estan col·locades planes sobre les estructures.

Els principals equips que componen la instal·lació solar fotovoltaica són, el generador fotovoltaic, dos inversors, cablejat de continua, d'alterna i el conjunt de proteccions elèctriques.

La ubicació dels dos equips de conversió i protecció es situen en la sala tècnica ubicada a l'oest, la qual compta amb els 30 captadors al seu damunt. El cablejat d'alterna i de comunicació RS485 condueixen fins al quadre de baixa tensió de l'edifici ubicat a la planta soterrani a la mateixa alçada que els elements de conversió i protecció. A la Figura 44 s'aprecia l'alçada de l'edifici des de la sala tècnica (ressaltada en groc) fins a la planta baixa. S'estimen 3 metres més fins a la planta soterrani, per tant, des d'aquí fins al quadre de baixa tensió, s'aproximen **26,5 metres**.

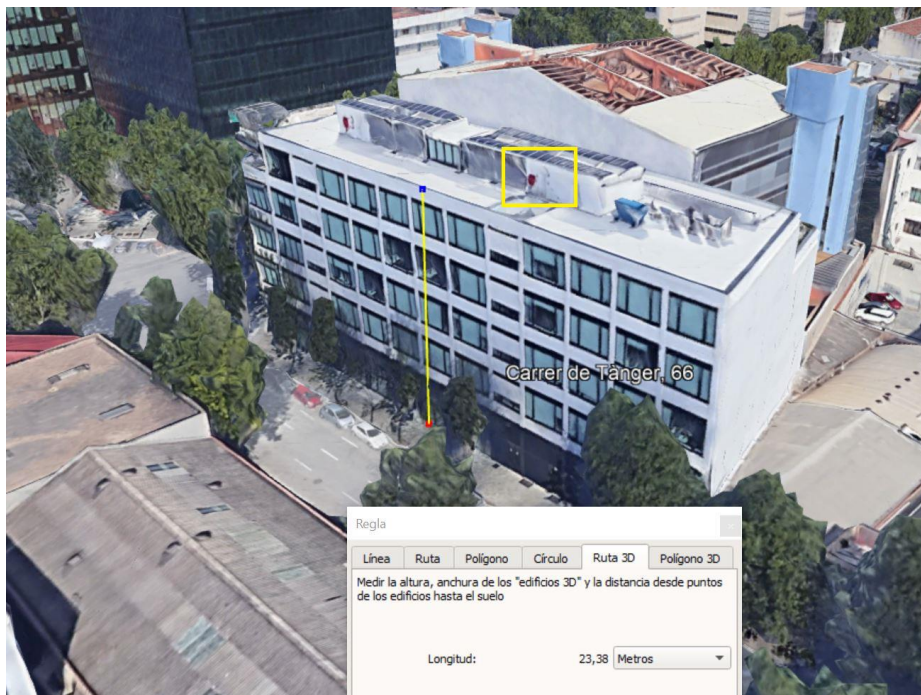


Figura 44 – Alçada des de sala tècnica fins quadre BT. Extret de Google Earth.

Els captadors són de la marca Exiom model EX270P-60, de 270 Wp cadascun. Es tracta de mòduls policristal·lins. La fitxa tècnica pot observar-se en l'Annex 4 del DOCUMENT N°3 ANNEXOS, tot i no coincidir els valors exactes amb les de l'anvers del mòdul. En els propers apartats, es comenten les dades més rellevants d'aquest.

Com s'ha comentat a l'apartat 2.5.2.2, existeix un inversor màster, el qual té la major relació entre potència de CA i kWp emmagatzemats. Aquest serveix de referència per l'inversor esclau. En la l'actual planta cas es reparteixen de la següent forma:

- Màster: Inversor SYMO 15.0-3-M, de 15 kW.
- Esclau: Inversor ECO 25.0-3-S, de 25 kW.

## 4.2. Informació obtinguda

Per part de la propietat s'han obtingut una sèrie de documents els quals es citen en aquest punt. Es pretén presentar la informació amb la que s'inicia l'anàlisi i les dades per les que s'empren.

Per començar, s'ha facilitat la visita a planta per prendre les mesures necessàries pertinents i així, poder realitzar l'auditoria fàcilment.

L'empresa Circutor va ser l'encarregada de la realització del quadre de proteccions d'alterna junt amb el cablejat. Així doncs, per part de la present empresa, s'ha facilitat l'esquema de blocs de la planta, el qual es pot observar en l'Annex 4 del DOCUMENT N°3 ANNEXOS.

Es desconeixen els motius pels quals el projecte no ha estat facilitat per la propietat. S'entén que aquest va ser realitzat degut que es faciliten documents per la legalització de la planta, quelcom no podrien ser obtinguts sense el projecte. Els obtinguts són:

- CIEBT
- Inspecció Prèvia
- Declaració Responsable
- Posada en funcionament
- RIPRE

Tenint en compte els anteriors documents i les visites a la instal·lació, es procedeix a l'auditoria de la planta.

## 4.3. Estudi de configuració de la planta

Per conèixer la distribució dels strings, s'han pres les mesures directament a la instal·lació. És degut a falta de documentació tècnica sobre l'obra.

Gràcies a l'esquema de blocs, es coneix la quantitat de strings que compta l'entrada de cada inversor i el nombre de captadors que componen a cadascun d'ells:

- Inversor ECO 25.0-3-S: 4 strings de 23 mòduls cadascun.
- Inversor SYMO 15.0-3-M: 3 strings de 18 mòduls cadascun.

S'ha procedit a desconectar agrupacions de mòduls i mesurar el voltatge de cada string amb un multímetre. Així doncs, s'obté la posició de cada un d'ells i es determina segons la caixa de proteccions, quin fusible compta amb cada string.

En la Figura 45 es pot observar com estan distribuïdes les diverses cadenes:

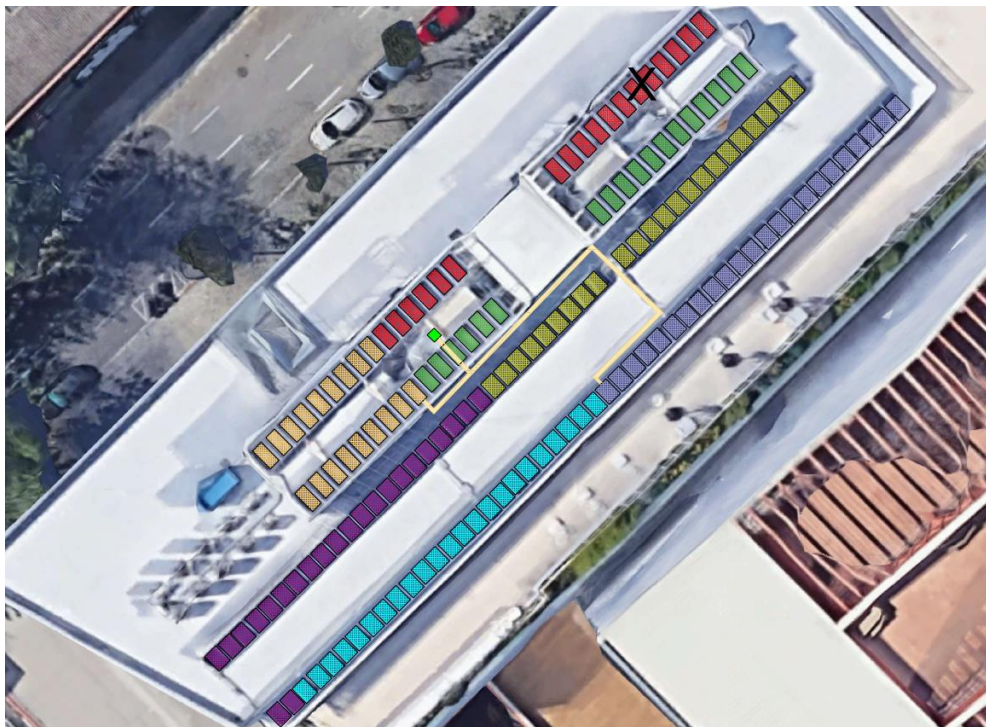


Figura 45 – Distribució de mòduls per strings. Creació pròpia amb Autocad.

La instal·lació va perdre dos mòduls, els quals estan marcats amb una creu negra (al string vermell). Un d'ells va quedar trencat i l'altre s'ha usat per fer comprovacions del rendiment actual dels panells. Aquesta cadena, actualment està connectada pels extrems dels dos mòduls que els envolten creant un string de menys tensió.

La distribució segons a l'inversor que pertany cadascun, queda de la següent forma:

- Mòduls en la part superior: Inversor SYMO 15.0-3-M
  - o Verd: String número 1 format per 18 mòduls.
  - o Vermell: String número 2 format per 18 mòduls però, actualment compta amb 16 d'ells.
  - o Taronja: String número 3 format per 18 mòduls.

Els strings 1 i 2 del corresponent inversor, van agrupats en la mateixa entrada MPPT "A". El string 3 va a l'entrada MPPT "B" de l'inversor.

- Mòduls en la part inferior: Inversor ECO 25.0-3-S
  - o Blau: String número 1 format per 23 mòduls.
  - o Gris: String número 2 format per 23 mòduls.
  - o Groc: String número 3 format per 23 mòduls.
  - o Lila: String número 4 format per 23 mòduls.

El requadre verd ubica la caixa de proteccions de corrent continu on arriben tots els strings. S'ha identificat en groc la safata per determinar el recorregut dels conductors més desfavorables que condueixen a cada inversor. El tram menys favorable es considera el més llunyà, és a dir, el string que té més metres de conductors. Per a cada cas són els següents:

- Strings SYMO 15.0-3-M: string de color groc, aproximadament 9 metres de distància fins a la caixa de proteccions DC.
- Strings ECO 25.0-3-S: string de color gris, aproximadament 25,5 metres de distància fins a la caixa de proteccions DC.

Aquestes dades es tindran en compte a l'hora de calcular la secció per caiguda de tensió més endavant.

#### 4.3.1. Proves físiques per determinació de strings

Per a la comprovació dels strings, s'han portat a terme diverses proves. A continuació s'adjunten les fotografies del multímetre mesurant les diferents tensions en circuit obert segons strings desconnectats, tal i com mostra la Figura 46.



Figura 46 – Cable DC de la instal·lació desconnectat.



### Per inversor SYMO 15.0-3-M

- Prova 1. Tots els strings en funcionament:

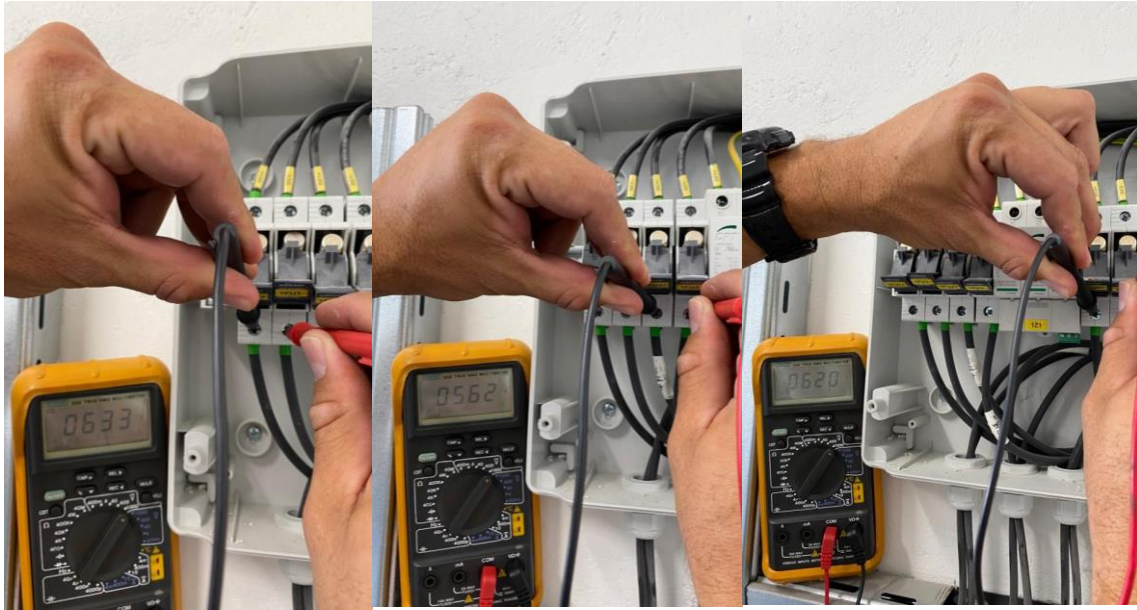


Figura 47 – Càlcul de tensió de circuit obert amb tots strings en funcionament. Inversor 1.

S'observa com el string 1 i el string 3 tenen aproximadament la mateixa tensió, mentre que el string 2 té un voltatge lleugerament inferior a causa de la pèrdua de 2 captadors. S'ubica en el quadre de proteccions el string corresponent, assenyalat en color vermell a la Figura 45.

- Prova 2. Determinació del string 1 i el string 3 en el quadre DC:

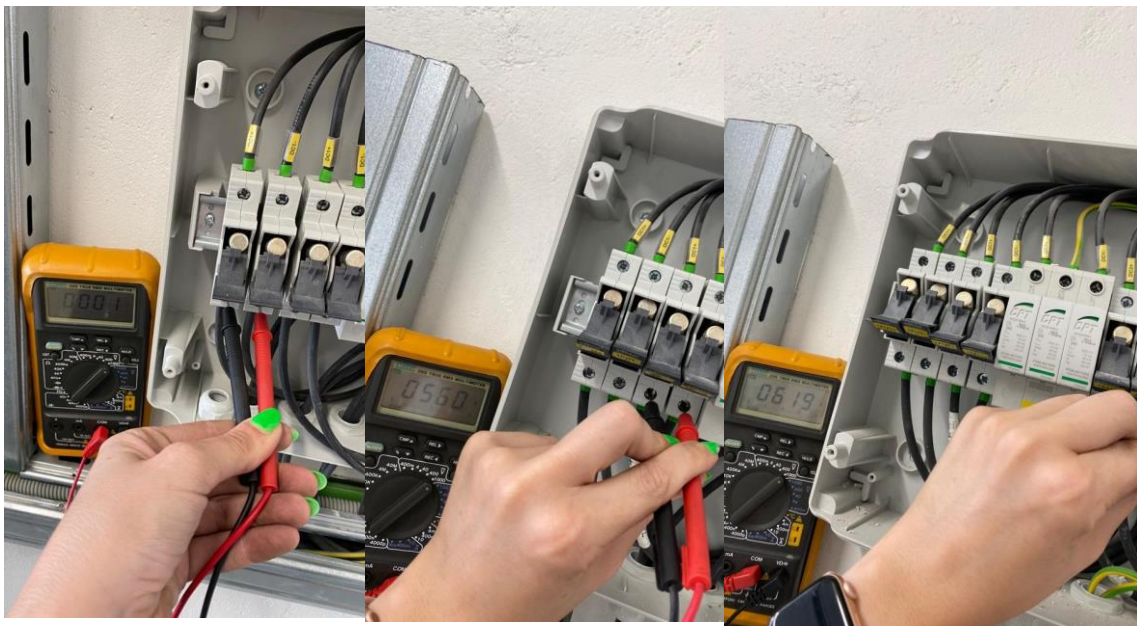


Figura 48 – Càlcul de tensió de circuit obert amb un string desconnectat. Inversor 1.

S'ubica desconnectant mòduls d'una zona a l'atzar, que el string 1 pertany al grup de mòduls de color verd segons la Figura 45. Així doncs, ja es tenen determinades les tres cadenes de captadors que alimenten a l'inversor SYMO 15.0-3-M.

### Per inversor ECO 25.0-3-S

- Prova 1. Desconnexió d'una zona de mòduls a l'atzar:



Figura 49 – Càlcul de tensió de circuit obert amb un string desconnectat. Inversor 2.

Gràcies a l'ajuda de Circutor, el fet que els captadors del corresponent inversor es divideixen en 4 strings de 23 mòduls cadascun, ajuda a decidir quina cadena de les restants desconnectar. En aquesta imatge s'observen les tensions de circuit obert preses un cop desconnectat un string del conjunt de mòduls, el de color lila indicat en la Figura 45. S'ubica en el quadre de proteccions DC que aquest pertany a la cadena número 4.

- Prova 2. Desconnexió de cadena contigua:

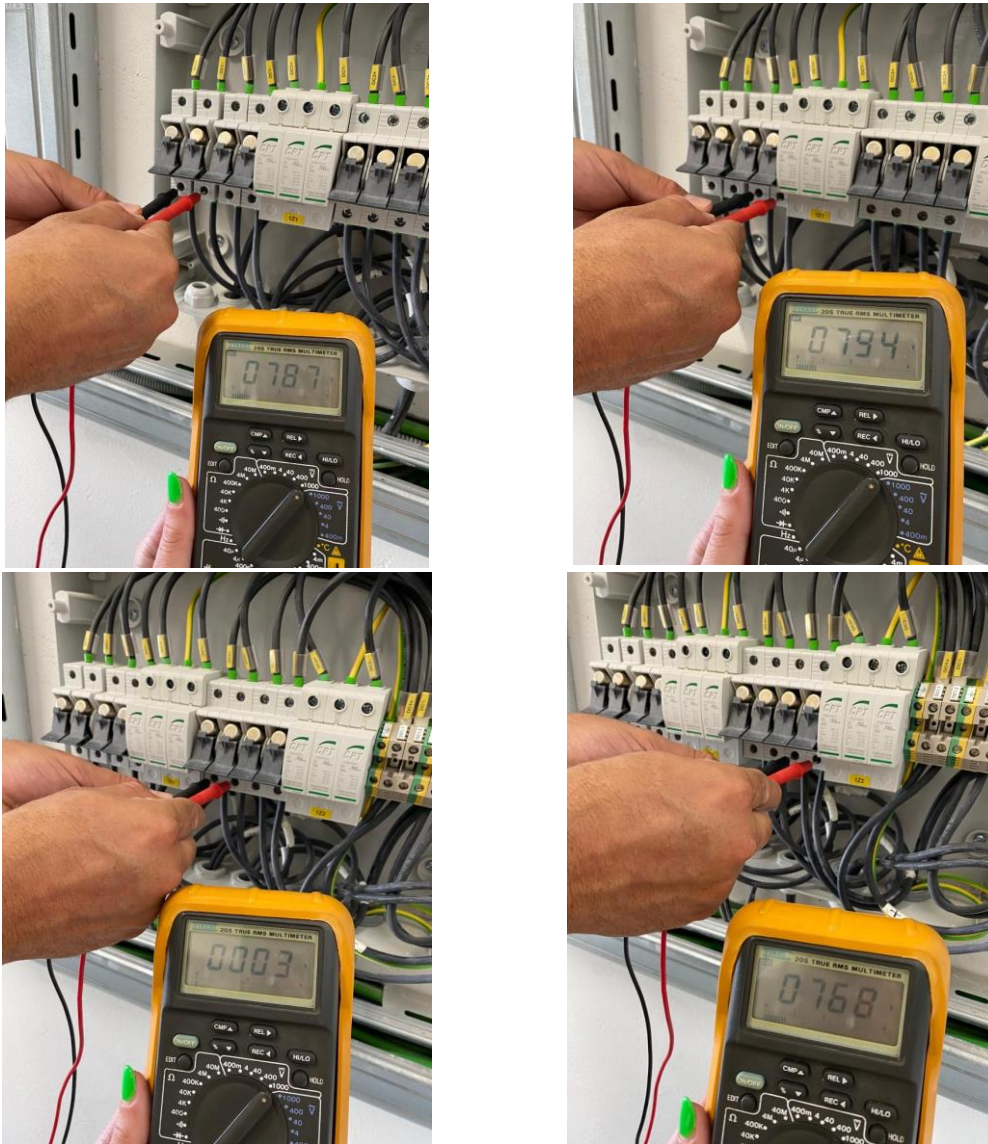


Figura 50 – Càlcul de tensió de circuit obert amb string contigu desconnectat. Inversor 2.

Una vegada enumerats 23 mòduls, es desconnecta el contigu. Així com es suposava, la cadena de color groc pertany al string següent, el número 3.

Així doncs, és com s'ha procedit a la determinació de cada bateria de panells. Com s'ha comentat, gràcies al diagrama de blocs facilitat per Circutor, es tenia constància de la quantitat de mòduls que composava cada string, però, es desconeixia la ubicació de cada un d'ells.

A continuació es comprova matemàticament que els strings i el nombre de captadors de cadascun d'ells sigui correcte i compatible amb cada inversor.

#### 4.3.2. Resolució matemàtica per determinació de strings

Les característiques del captador, segons la fitxa tècnica no coincideix amb les dades a l'anvers del mòdul físic. El supòsit de la diferència és l'antiguitat de la instal·lació i la millora recent dels panells. Es realitzen els càlculs segons les característiques provinents del captador, tal i com mostra la Figura 51.



Figura 51 – Característiques tècniques del captador instal·lat a planta.

Es recullen les dades en la taula següent:

$U_{oc}$	38,6 V
$I_{sc}$	9,07 A
$U_{MPP}$	31,1 V
$I_{MPP}$	8,68 A
$C_U$	-0,32 %/°C

Taula 11 – Recull de dades tècniques del captador instal·lat a planta.

#### Per inversor ECO 25.0-3-S

Les dades tècniques més rellevants per el càlcul de l'equip inversor Fronius ECO 25.0-3-S, s'observen a la següent taula. Es pot visualitzar la fitxa complerta a l'Annex 4 del DOCUMENT N°3 ANNEXOS.

$P_{m\grave{a}x.DC}$	37,8 kWp
$U_{m\grave{a}x.DC}$	1000 V
$U_{MPP \text{ m}\acute{i}n./m\grave{a}x.}$	580 – 850 V
$I_{sc \text{ MPP}}$	71,6 A
$I_{m\grave{a}x.DC}$	44,2 A
Nombre seguidors MPPT	1
Nombre entrades DC	6

Taula 12 – Recull de dades tècniques de l'inversor ECO 25.0-3-S.

L'inversor corresponent, té tan sols un nombre de seguidor MPPT. Així doncs, tots els strings condueixen al mateix. En total està compost per 93 mòduls, distribuïts en 4 bateries de 23 panells.

Tanmateix, les proteccions fusibles del respectiu equip, compta amb 4 diferents. Més endavant al punt 4.5, es pot apreciar aquesta darrera observació.

El primer pas, és verificar que la potència pic total de mòduls no supera la potència màxima d'entrada a l'inversor:

$$P_{PV} < P_{m\grave{a}x.DC} \rightarrow \frac{270 \text{ W} * 92 \text{ mòduls}}{1000} = 24,84 \text{ kWp} < 37,8 \text{ kWp}$$

La distribució és correcte segons potència.

Seguidament es comproven els màxims i mínims de tensió que pot assolir el mòdul:

$$CT(U_{oc}) = U_{oc} * \frac{C_U}{100} * 1000 = 38,6 * \frac{-0,32}{100} * 1000 = -123,52 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

$$U_{oc(-10^\circ\text{C})} = U_{oc} - \frac{CT(U_{oc})}{1000} * (25 - (-10)) = 38,6 - \left(\frac{-123,52}{1000}\right) * 35 = 42,92 \text{ V}$$

$$U_{MPP(70^\circ\text{C})} = U_{MPP} + \frac{CT(U_{oc})}{1000} * (70 - 25) = 31,1 + \left(\frac{-123,52}{1000}\right) * 45 = 25,54 \text{ V}$$

$$U_{MPP(-10^\circ\text{C})} = U_{MPP} - \frac{CT(U_{oc})}{1000} * (25 - (-10)) = 31,1 - \left(\frac{-123,52}{1000}\right) * 35 = 35,42 \text{ V}$$

A continuació es comprova si respecten les restriccions de l'inversor:

$$U_{oc(-10^\circ\text{C})} * n_{m\grave{o}duls} < U_{m\grave{a}x.DC} \rightarrow 42,92 \text{ V} * 23 \text{ mòduls} = 987,16 \text{ V} < 1000 \text{ V}$$

$$U_{MPP(70^\circ\text{C})} * n_{m\grave{o}duls} > U_{MPP \text{ inf.}} \rightarrow 25,54 \text{ V} * 23 \text{ mòduls} = 587,45 \text{ V} > 580 \text{ V}$$

$$U_{MPP(-10^\circ\text{C})} * n_{m\grave{o}duls} < U_{MPP \text{ sup.}} \rightarrow 35,42 \text{ V} * 23 \text{ mòduls} = 814,73 \text{ V} < 850 \text{ V}$$

Es verifiquen els corrents segons el nombre de strings:

$$I_{sc} * n_{strings} < I_{sc \text{ MPP}} \rightarrow 9,07 \text{ A} * 4 \text{ strings} = 36,28 \text{ A} < 71,6 \text{ A}$$

$$I_{MPP} * n_{strings} < I_{m\grave{a}x.DC} \rightarrow 8,68 \text{ A} * 4 \text{ strings} = 34,72 \text{ A} < 44,2 \text{ A}$$

Respecta els límits de l'equip inversor.

Finalment, es realitzen els càlculs de les darreres fórmules, però amb les incògnites de “n<sub>mòduls</sub>” i “n<sub>strings</sub>” per obtenir el màxim i mínim de captadors i strings a configurar. Aquest pas no és necessari un cop verificat que la distribució és correcta. No es repetirà per al proper inversor.

$$I_{sc} * n_{strings} < I_{sc \text{ MPP}} \rightarrow n_{strings} < \frac{I_{sc \text{ MPP}}}{I_{sc}} \rightarrow n_{strings} < \frac{71,6 \text{ A}}{9,07 \text{ A}}$$

$$n_{strings} < 7,89 \text{ strings} \rightarrow n_{strings} \leq 7 \text{ strings}$$

$$I_{MPP} * n_{strings} < I_{màx.DC} \rightarrow n_{strings} < \frac{I_{màx.DC}}{I_{MPP}} \rightarrow n_{strings} < \frac{44,2 \text{ A}}{8,68 \text{ A}}$$

$$n_{strings} < 5,09 \text{ strings} \rightarrow n_{strings} \leq 5 \text{ strings}$$

L'inversor compta de 6 entrades, però segons els corrents d'operació del mòdul, es limita a 5 strings per aquesta instal·lació.

S'esbrina el nombre de captadors màxim i mínim que pot suportar cada string:

$$U_{oc(-10^{\circ}\text{C})} * n_{mòduls} < U_{màx.DC} \rightarrow n_{mòduls} < \frac{U_{màx.DC}}{U_{oc(-10^{\circ}\text{C})}} \rightarrow n_{mòduls} < \frac{1000\text{V}}{42,92 \text{ V}}$$

$$n_{mòduls} < 23,29 \text{ mòduls} \rightarrow n_{mòduls} \leq 23 \text{ mòduls}$$

$$U_{MPP(70^{\circ}\text{C})} * n_{mòduls} > U_{MPP \text{ inf.}} \rightarrow n_{mòduls} > \frac{U_{MPP \text{ inf.}}}{U_{MPP(70^{\circ}\text{C})}} \rightarrow n_{mòduls} > \frac{580 \text{ V}}{25,54 \text{ V}}$$

$$n_{mòduls} > 22,7 \text{ mòduls} \rightarrow n_{mòduls} \geq 23 \text{ mòduls}$$

$$U_{MPP(-10^{\circ}\text{C})} * n_{mòduls} < U_{MPP \text{ sup.}} \rightarrow n_{mòduls} < \frac{U_{MPP \text{ sup.}}}{U_{MPP(-10^{\circ}\text{C})}} \rightarrow n_{mòduls} < \frac{850 \text{ V}}{35,42 \text{ V}}$$

$$n_{mòduls} < 23,92 \text{ mòduls} \rightarrow n_{mòduls} \leq 23 \text{ mòduls}$$

Es conclou com una correcta distribució degut que els límits tant inferior com superior són 23 mòduls. No existeix un altre configuració, tot i que l'equip inversor s'ha demostrat que suportaria fins a 5 strings.

### **Per inversor SYMO 15.0-3-M**

Seguidament, es procedeix a realitzar els mateixos càlculs però amb els valors i nombres de strings de l'inversor Fronius SYMO 15.0-3-M. Segons la fitxa tècnica, les característiques més rellevants de l'equip són les mostrades a la Taula 12. Es pot visualitzar la fitxa completa a l'Annex 4 del DOCUMENT N°3 ANNEXOS.

$P_{\text{màx.DC}}$	22,5 kWp
$U_{\text{màx.DC}}$	1000 V
$U_{\text{MPP mín./màx.}}$	320 – 800 V
$I_{\text{sc MPP 1/2}}$	49,5 / 40,5 A
$I_{\text{màx.DC 1/2}}$	33 / 27 A
Nombre seguidors MPPT	2
Nombre entrades DC	3 / 3

Taula 13 – Recull de dades tècniques de l'inversor SYMO 15.0-3-M.

Es té constància que la planta està composta per 146 mòduls en total. Sabent que 92 d'ells van connectat amb l'inversor anterior, en aquest se li connecten els 54 panells restants. Tal i com s'ha comentat anteriorment, la distribució es basa en 3 cadenes de 18 mòduls cadascuna.

El primer pas, és de nou verificar que la potència pic del total de captadors no supera la potència màxima d'entrada a l'inversor:

$$P_{\text{PV}} < P_{\text{màx.DC}} \rightarrow \frac{270 \text{ W} * 54 \text{ mòduls}}{1000} = 14,58 \text{ kWp} < 22,5 \text{ kWp}$$

La distribució és correcte segons potència.

Es calcula la restricció de strings de cada entrada i, seguidament els mòduls per cadascun.

#### Càlculs pel límit d'entrada A:

- Segons corrent de curtcircuit per sèrie FV:

$$I_{\text{sc}} * n_{\text{strings A}} < I_{\text{sc MPP A}} \rightarrow n_{\text{strings A}} < \frac{I_{\text{sc MPP A}}}{I_{\text{sc}}} \rightarrow n_{\text{strings A}} < \frac{49,5 \text{ A}}{9,07 \text{ A}}$$

$$n_{\text{strings A}} < 5,45 \text{ strings} \rightarrow n_{\text{strings A}} \leq 5 \text{ strings}$$

- Segons corrent màxim d'entrada:

$$I_{\text{MPP}} * n_{\text{strings A}} < I_{\text{màx.DC A}} \rightarrow n_{\text{strings A}} < \frac{I_{\text{màx.DC A}}}{I_{\text{MPP}}} \rightarrow n_{\text{strings A}} < \frac{33 \text{ A}}{8,68 \text{ A}}$$

$$n_{\text{strings A}} < 3,8 \text{ strings} \rightarrow n_{\text{strings A}} \leq 3 \text{ strings}$$

#### Càlculs pel límit d'entrada B:

- Segons corrent de curtcircuit per sèrie FV:

$$I_{\text{sc}} * n_{\text{strings B}} < I_{\text{sc MPP B}} \rightarrow n_{\text{strings B}} < \frac{I_{\text{sc MPP B}}}{I_{\text{sc}}} \rightarrow n_{\text{strings B}} < \frac{40,5 \text{ A}}{9,07 \text{ A}}$$

$$n_{\text{strings B}} < 4,46 \text{ strings} \rightarrow n_{\text{strings B}} \leq 4 \text{ strings}$$

- Segons corrent màxim d'entrada:

$$I_{MPP} * n_{strings B} < I_{màx.DC B} \rightarrow n_{strings B} < \frac{I_{màx.DC B}}{I_{MPP}} \rightarrow n_{strings B} < \frac{27 A}{8,68 A}$$

$$n_{strings B} < 3,11 \text{ strings} \rightarrow n_{strings B} \leq 3 \text{ strings}$$

Segons els valors més baixos entre les dues condicions, s'observa que el seguidor MPPT A és limitat a 3 strings i, el seguidor MPPT B és limitat a 3 string. Així doncs, sabent que l'inversor de la planta compta amb 2 agrupacions de mòduls per una entrada i 1 agrupació per un altre, es conclou que la instal·lació compta amb la configuració següent:

- Seguidor MPPT A: 1 cadena de 18 mòduls en sèrie i 1 cadena de 16 mòduls en sèrie.
- Seguidor MPPT B: 1 cadena de 18 mòduls en sèrie.

Seguidament, es verifica que l'inversor en qüestió suporta el nombre de mòduls de cada string, és a dir, es verifica per al de 16 panells i per al de 18.

$$CT(U_{oc}) = U_{oc} * \frac{C_U}{100} * 1000 = 38,6 * \frac{-0,32}{100} * 1000 = -123,52 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

$$U_{oc(-10^\circ\text{C})} = U_{oc} - \frac{CT(U_{oc})}{1000} * (25 - (-10)) = 38,6 - \left(\frac{-123,52}{1000}\right) * 35 = 42,92 \text{ V}$$

$$U_{MPP(70^\circ\text{C})} = U_{MPP} + \frac{CT(U_{oc})}{1000} * (70 - 25) = 31,1 + \left(\frac{-123,52}{1000}\right) * 45 = 25,54 \text{ V}$$

$$U_{MPP(-10^\circ\text{C})} = U_{MPP} - \frac{CT(U_{oc})}{1000} * (25 - (-10)) = 31,1 - \left(\frac{-123,52}{1000}\right) * 35 = 35,42 \text{ V}$$

$$U_{oc(-10^\circ\text{C})} * n_{mòduls} < U_{màx.DC} \rightarrow 42,92 \text{ V} * 18 \text{ mòduls} = 772,56 \text{ V} < 1000 \text{ V}$$

$$U_{oc(-10^\circ\text{C})} * n_{mòduls} < U_{màx.DC} \rightarrow 42,92 \text{ V} * 16 \text{ mòduls} = 686,72 \text{ V} < 1000 \text{ V}$$

$$U_{MPP(70^\circ\text{C})} * n_{mòduls} > U_{MPP \text{ inf.}} \rightarrow 25,54 \text{ V} * 18 \text{ mòduls} = 459,72 \text{ V} > 320 \text{ V}$$

$$U_{MPP(70^\circ\text{C})} * n_{mòduls} > U_{MPP \text{ inf.}} \rightarrow 25,54 \text{ V} * 16 \text{ mòduls} = 408,64 \text{ V} > 320 \text{ V}$$

$$U_{MPP(-10^\circ\text{C})} * n_{mòduls} < U_{MPP \text{ sup.}} \rightarrow 35,42 \text{ V} * 18 \text{ mòduls} = 637,56 \text{ V} < 800 \text{ V}$$

$$U_{MPP(-10^\circ\text{C})} * n_{mòduls} < U_{MPP \text{ sup.}} \rightarrow 35,42 \text{ V} * 16 \text{ mòduls} = 566,72 \text{ V} < 800 \text{ V}$$

És correcte la distribució dels mòduls per a cada cadena de captadors.



## 4.4. Revisió de cablejat

S'aplica l'estudiat en el l'actual projecte per a la determinació del correcte dimensionat del cablejat tant del circuit de continua com del circuit d'alterna. L'estructura a seguir és similar a la del punt 3.3.

En les visites físiques a la planta, s'han pres mesures, amb l'ajuda d'un peu de rei, dels diversos conductors presents a la instal·lació. Al punt 4.4.3 es verificaran les dades obtingudes amb les dades reals de l'actual planta.

Es diferencia entre els dos inversors, ja que compten amb altres potències i per tant, la intensitat que hi circula no és la mateixa. Els valors característics de cada inversor s'especifiquen al punt 4.3.2 i, els que no han estat citats, s'esmenten seguidament a la Taula 14. La fitxa tècnica completa pot ser consultada tal i com s'ha comentat anteriorment.

ECO 25.0-3-S	$I_{m\grave{a}x.AC}$	36,1 A
SYMO 15.0-3-M	$I_{m\grave{a}x.AC}$	21,7 A

Taula 14 – Dades tècniques restants dels dos inversors.

### 4.4.1. Conductors de corrent continu

L'estudi del dimensionat del cablejat per al tram de corrent continu, el qual uneix els captadors fotovoltaics a les proteccions fins l'entrada de l'inversor, es du a terme amb les equacions i càlculs desenvolupats a l'apartat 3.3.3. Es tenen en compte les dues especificacions de selecció, per intensitat màxima admissible i per caiguda de tensió.

Com s'ha explicat, es considera per cada inversor, el string més desfavorable com al més llunyà, és a dir, el que té més tram de longitud fins al seu respectiu inversor.

#### 4.4.1.1. Circuit del string gris fins quadre DC

Es procedeix al càlcul de les seccions per als conductors del string més desfavorable que pertanyen a l'inversor ECO 25.0-3-S. Aquest és el de color gris en la Figura 45, compost per 23 mòduls i una longitud d'aproximadament 25,5 metres fins al quadre de proteccions DC.

### Càlcul de secció per intensitat màxima admissible

Aplicant el factor de correcció al corrent de curtcircuit del mòdul, s'obté una intensitat:

$$I'_{DC} = I_{sc} * 1,25 = 9,07 \text{ A} * 1,25 = 11,33 \text{ A}$$

Seguidament es consulta la Figura 28, tenint en compte els següents factors:

- Instal·lació de referència: B.
- Material del conductor: Coure.
- Nombre de conductors: 2.
- Material d'aïllament: XLPE.

Es consulta la columna número 9 i es busca el valor immediatament superior a l'obtingut, trobant un corrent de 21 A. Aquesta intensitat correspon a una secció mínima d'1,5 mm<sup>2</sup>, tal i com mostra la Figura 52.









A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR							
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR							
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC				3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC				3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared <sup>1)</sup>					3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
E		Cables multiconductores al aire libre <sup>2)</sup> Distancia a la pared no inferior a 0,3D <sup>3)</sup>						3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo <sup>4)</sup> Distancia a la pared no inferior a D <sup>5)</sup>						3x PVC		3x XLPE o EPR <sup>6)</sup>	2x XLPE o EPR <sup>6)</sup>		
G		Cables unipolares separados mínimo D <sup>5)</sup>								3x PVC <sup>6)</sup>	3x XLPE o EPR <sup>6)</sup>		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cobre			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
mm <sup>2</sup>			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,5			31	44,5	63	87,5	117	162	225	315	450	630	871
2			15	21	30	41,25	56,25	78,75	109,38	151,88	212,5	295,63	407,81
4			7,5	10,5	15	20,625	28,125	39,375	54,688	75,938	106,25	147,81	203,91
6			5	7	10	13,75	18,75	26,25	36,563	50,625	70,625	97,813	134,86
10			3,4	4,7	6,5	8,9	12,15	16,725	23,125	31,875	44,063	60,625	83,271
16			2,1	2,9	4	5,4	7,4	10,125	13,938	19,125	26,188	35,625	48,563
25			1,4	1,9	2,6	3,5	4,8	6,563	9,063	12,5	17,188	23,438	31,938
35			1	1,4	1,9	2,6	3,5	4,8	6,563	9,063	12,5	17,188	23,438
50			0,7	1	1,4	1,9	2,6	3,5	4,8	6,563	9,063	12,5	17,188
70			0,5	0,7	1	1,4	1,9	2,6	3,5	4,8	6,563	9,063	12,5
95			0,4	0,5	0,7	1	1,4	1,9	2,6	3,5	4,8	6,563	9,063
120			0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	1,9	2,6	3,5	4,8	6,563
150			0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	1,9	2,6	3,5	4,8
185			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	1,9	2,6	3,5
240			0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	1,9	2,6
300			0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	1,9

Figura 52 – Taula del RD amb secció indicada. Creació pròpia amb Autocad.

Com aquest valor no és normalitzat, la instal·lació hauria de comptar amb un cable mínim de 4 mm<sup>2</sup>. de secció.

### Càlcul de secció per màxima caiguda de tensió

Es calcula la caiguda de tensió màxima admissible per al string més desfavorable, és a dir, la cadena amb més nombre de mòduls:

$$U_{MPP \text{ string}} = U_{MPP} * n_{\text{mòduls}} = 31,1 * 23 \text{ mòduls} = 715,3 \text{ V}$$

$$\Delta U = \frac{1,5}{100} * U = \frac{1,5}{100} * 715,3 \text{ V} = 10,72 \text{ V}$$

Es considera una resistivitat de  $\rho_{\text{Cu}-70^{\circ}\text{C}} = 48 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$  per als propers càlculs.

$$S = \frac{2 * L * I_{\text{MPP}}}{\Delta U * \rho} = \frac{2 * 25,5 * 8,68}{10,72 * 48} = 0,86 \text{ mm}^2$$

Aquest valor és la secció mínima a instal·lar, així doncs, s'escull l'immediatament superior, amb l'ajuda de la Figura 28. Es troba que aquest tram ha de comptar amb una secció de  $4 \text{ mm}^2$ .

### **Mínima secció vàlida**

Ambdós mètodes limiten la secció al mateix valor. Així doncs, el conductor per al circuit de corrent continu que condueix des del string més desfavorable fins al quadre de connexió DC que pertany a l'inversor ECO 25.0-3-S ha de comptar amb una secció mínima de  $4 \text{ mm}^2$ .

#### 4.4.1.2. Circuit del string groc fins al quadre DC

Es procedeix al càlcul de seccions per als conductors del string més desfavorable de l'inversor SYMO 15.0-3-M. Aquest és el de color groc en la Figura 36, compost per 18 mòduls i una longitud d'aproximadament 9 metres fins al quadre de proteccions DC.

### **Càlcul de secció per intensitat màxima admissible**

Degut que es tracta del mateix model de mòdul, aplicant el factor de correcció al corrent de curtcircuit d'aquest, s'obté la mateixa intensitat que anteriorment per aquest càlcul. El material del conductor, de l'aïllament, la instal·lació de referència i el nombre de conductors també és el mateix. Es simplifica obtenint una secció igual a l'anterior, de  $4 \text{ mm}^2$ .

### **Càlcul de secció per màxima caiguda de tensió**

Es calcula la caiguda de tensió màxima admissible per al string més desfavorable, és a dir, la cadena amb més nombre de mòduls per al corresponent inversor:

$$U_{\text{MPP string}} = U_{\text{MPP}} * n_{\text{mòduls}} = 31,1 * 18 \text{ mòduls} = 559,8 \text{ V}$$

$$\Delta U = \frac{1,5}{100} * U = \frac{1,5}{100} * 559,8 \text{ V} = 8,39 \text{ V}$$

$$S = \frac{2 * L * I_{\text{MPP}}}{\Delta U * \rho} = \frac{2 * 9 * 8,68}{8,39 * 48} = 0,38 \text{ mm}^2$$

S'obté un valor molt similar a l'anterior, per tant es conclou que aquest circuit ha de comptar amb una secció de  $4 \text{ mm}^2$ .

### **Mínima secció vàlida**

Resulta el mateix que el càlcul per al string precedent, ambdós mètodes limiten la secció al mateix valor. El conductor per al tram de corrent continu que condueix des del string

més desfavorable fins al quadre de connexió DC que pertany a l'inversor SYMO 15.0-3-M ha de resultar amb una secció mínima de 4 mm<sup>2</sup>.

#### 4.4.1.3. Circuit del quadre DC fins a l'inversor ECO 25.0-3-S

Es calcula la secció pel conductor que abasteix des de l'agrupació dels strings en el quadre DC, fins a l'inversor ECO 25.0-3-S. Es procedeix a fer el càlcul igual que anteriorment. S'aproxima una longitud entre el quadre de connexió del generador a l'inversor, d'1 metre.

##### **Càlcul de secció per intensitat màxima admissible**

Al tractar-se de strings connectats en paral·lel a l'entrada de l'inversor, la intensitat és multiplica segons la quantitat de cadenes que contingui cada entrada. En aquest cas, connecten dues per entrada, per tant, el càlcul es realitza una sola vegada.

$$I'_{DC} = I_{sc} * n^{\circ} \text{ strings per 1 MPPT} * 1,25 = 9,07 * 2 * 1,25 = 22,675 \text{ A}$$

Mirant la taula com a la Figura 52, es conclou el mateix. La secció segons taula és de 2,5 mm<sup>2</sup> però, segons normativa per fotovoltaica, el correcte és una secció de 4 mm<sup>2</sup>.

##### **Càlcul de secció per màxima caiguda de tensió**

La caiguda de tensió es manté igual que anteriorment en aquest inversor, degut que els strings agrupats són els mateixos. Aquesta és de 10,72 V.

El mateix passa en aquest cas, la intensitat es multiplica pel nombre d'agrupacions de cadenes de mòduls que es realitzen.

$$S = \frac{2 * L * I_{MPP} * n^{\circ} \text{ strings per 1 MPPT}}{\Delta U * \rho} = \frac{2 * 1 * 8,68 * 2}{10,72 * 48} = 0,067 \text{ mm}^2$$

S'obté una secció molt petita, així doncs, també s'aproxima a 4 mm<sup>2</sup>.

##### **Mínima secció vàlida**

Segons els dos valors obtinguts, ja que són iguals, es conclou que la secció a utilitzar per al tram des de les connexions dels strings fins a l'inversor ECO 25.0-3-S és de **4 mm<sup>2</sup>**.

#### 4.4.1.4. Circuit del quadre DC fins a l'inversor SYMO 15.0-3-M

Es calcula la secció pel conductor que abasteix des de l'agrupació dels strings en el quadre DC, fins a l'inversor SYMO 15.0-3-M. El càlcul es du a terme igual que anteriorment. S'aproxima una longitud entre el quadre de connexió del generador a l'inversor, 1 metre.

En aquest cas, s'agrupen 2 strings per l'entrada MPPT "A", i 1 string per l'entrada MPPT "B". El string sol, el número 3 de color groc a la Figura 36, tindrà la mateixa secció que la calculada a prèviament, és a dir, de 4 mm<sup>2</sup>.

Els dos strings que s'agrupen, són el 1 i el 2, els quals tenen diferents potències ja que a la cadena número 2, de color vermell, li falten 2 captadors. Aquest voltatge serà la limitant a l'hora de treballar l'agrupació de mòduls, la qual es calcula per determinar la secció segons màxima caiguda de tensió.

#### **Càlcul de secció per intensitat màxima admissible**

La secció obtinguda és igual que l'antecedent, degut que el càlcul es fa amb les mateixes variables. Per tant, es determina una secció de 4 mm<sup>2</sup>.

#### **Càlcul de secció per màxima caiguda de tensió**

La caiguda de tensió es manté igual q a la anteriorment per al corresponent inversor, degut que els strings que s'agrupen són els mateixos. El seu valor és de 8,39 V.

El mateix passa en aquest cas, la intensitat es multiplica pel nombre d'agrupacions de cadenes de mòduls que es realitzen.

$$S = \frac{2 * L * I_{MPP} * n^{\circ} \text{ strings per 1 MPPT}}{\Delta U * \rho} = \frac{2 * 1 * 8,68 * 2}{8,39 * 48} = 0,086 \text{ mm}^2$$

De nou s'obté una secció mínima de 4 mm<sup>2</sup>.

#### **Mínima secció vàlida**

Segons els dos valors obtinguts els quals són els coincidents, es conclou que la secció a utilitzar per al tram des de les connexions dels strings fins a l'inversor SYMO 15.0-3-M és de **4 mm<sup>2</sup>**.

#### 4.4.2. Conductors de corrent altern

L'estudi del cablejat per al tram de corrent altern, el qual va des de la sortida de l'inversor fins a les proteccions AC i, la caixa de connexions, es du a terme amb les equacions i càlculs desenvolupats a l'apartat 3.3.3.

Des de la ubicació dels inversors fins a la caixa de unió de tots dos, es considera que hi ha 1 metre aproximadament en cada cas. El quadre de baixa tensió on va a parar aquest conductor que abasteix els dos inversors, tal i com s'observa a la Figura 44, es considera que es troba a una distància de 26,5 metres.

Es procedeix a dimensionar-ho de la mateixa forma, cercant pels dos mètodes i escollint la opció més gran. Tanmateix es diferencia entre els dos inversors.

Es cerquen les seccions de conductors per cada inversor fins la caixa de connexions. També la secció del conductor que condueix des d'aquesta fins el quadre de BT ubicat a la sala tècnica del soterrani.

## 4.4.2.1. Circuit des d'inversor ECO 25.0-3-S fins caixa de connexions

**Càlcul de secció per intensitat màxima admissible**

S'utilitza la fórmula vista a l'apartat 3.3.3 per obtenir el corrent màxim de sortida de l'inversor corregit:

$$I'_{AC} = I_{màx.AC} * 1,25 = 36,1 \text{ A} * 1,25 = 45,125 \text{ A}$$

Es consulta la Figura 28 per esbrinar la secció mínima segons els 45,125 A obtinguts, cercant el valor immediat superior. Per aquest tram, es consideren les següents característiques per la cerca:

- Instal·lació de referència: B. Es tracta de conductors unipolars.
- Material del conductor: Coure.
- Nombre de conductors: 3.
- Material d'aïllament: XLPE.

Amb aquestes dades, entrant per la columna 8, s'obté que els conductors entre l'inversor i el punt de connexió, han de tenir una secció mínima de 10 mm<sup>2</sup>. En la següent figura es pot comprovar:

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0.3D					3x PVC		2x XLPE o EPR	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D						3x PVC				3x XLPE o EPR	
G		Cables unipolares separados mínimo D									3x PVC		3x XLPE o EPR
		mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
		150				236	260	278	310	338	363	404	525
		185				268	297	317	354	386	415	464	601
		240				315	350	374	419	455	490	552	711
		300				360	404	423	484	524	565	640	821

Figura 53 – Taula del RD amb secció indicada. Creació pròpia amb Autocad.

### Càlcul de secció per màxima caiguda de tensió

En primer lloc, s'obté la caiguda de tensió màxima admissible per als conductors de corrent altern:

$$\Delta U = \frac{1,5}{100} * U = \frac{1,5}{100} * 400 = 6 \text{ V}$$

Es tracta d'una instal·lació trifàsica, així doncs la fórmula a utilitzar pel valor de la secció tenint en compte l'anterior és:

$$S = \frac{\sqrt{3} * L * I_{\text{màx.AC}} * \cos\varphi}{\Delta U * \rho} = \frac{\sqrt{3} * 1 * 36,1 * 1}{6 * 48} = 0,217 \text{ mm}^2$$

Segons la longitud del tram, la caiguda de tensió i el corrent que hi circula, s'obté un conductor de secció 0,217 mm<sup>2</sup> però, com no és un valor normalitzat, ha de contenir l'immediat superior, és a dir, 1,5 mm<sup>2</sup>. Aquest no és limitant degut que la longitud del tram és excessivament petita.

### Mínima secció vàlida

Entre ambdós valors, limita sempre la major secció. Així doncs, el conductor per al tram de corrent altern que condueix des de l'inversor fins a la caixa de connexions, per al ECO 25.0-3-S ha de comptar amb una secció mínima de **10 mm<sup>2</sup>**.

#### 4.4.2.2. Circuit des d'inversor SYMO 15.0-3-M fins caixa de connexions

### Càlcul de secció per intensitat màxima admissible

Es procedeix a la utilització de les mateixes fórmules que anteriorment per calcular la secció de l'inversor en qüestió:

$$I'_{AC} = I_{\text{màx.AC}} * 1,25 = 21,7 \text{ A} * 1,25 = 27,125 \text{ A}$$

Es consulta la Figura 28 per obtenir la secció mínima segons els 27,125 A trobats, cercant el valor immediat superior. Per aquest tram, es consideren les mateixes característiques que abans:

- Instal·lació de referència: B. Es tracta de conductors unipolars.
- Material del conductor: Coure.
- Nombre de conductors: 3.
- Material d'aïllament: XLPE.

A la següent figura s'aprecia com es cerca la secció per la columna número 8. S'obté una secció mínima de 4 mm<sup>2</sup>.









A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra							3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared <sup>9)</sup>					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre <sup>9)</sup> . Distancia a la pared no inferior a 0,3D <sup>9)</sup>						3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo <sup>9)</sup> . Distancia a la pared no inferior a D <sup>9)</sup>						3x PVC			3x XLPE o EPR <sup>1)</sup>		
G		Cables unipolares separados mínimo D <sup>9)</sup>								3x PVC <sup>1)</sup>		3x XLPE o EPR	
Cobre	mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-	
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-	
	4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-	
	6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-	
	10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-	
	16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-	
	25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166	
	35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206	
	50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250	
	70				149	160	171	188	202	224	244	321	
	95				180	194	207	230	245	271	296	391	
	120				208	225	240	267	284	314	348	455	
150				236	260	278	310	338	363	404	525		
185				268	297	317	354	386	415	464	601		
240				315	350	374	419	455	490	552	711		
300				360	404	423	484	524	565	640	821		

Figura 54 – Taula del RD amb secció indicada. Creació pròpia amb Autocad.

### Càlcul de secció per màxima caiguda de tensió

La caiguda de tensió màxima admissible per als conductors de corrent altern és la mateixa que la precedent, ja que es treballa a mateixa tensió. Es tracta de 6 V.

L'inversor és trifàsic, per tant, la fórmula a utilitzar pel valor de la secció:

$$S = \frac{\sqrt{3} * L * I_{\max,AC} * \cos\varphi}{\Delta U * \rho} = \frac{\sqrt{3} * 1 * 21,7 * 1}{6 * 48} = 0,13 \text{ mm}^2$$

Segons la longitud del tram, la caiguda de tensió i el corrent que hi circula, s'obté un conductor de secció 0,13 mm<sup>2</sup> i, el valor immediatament superior normalitzat és 1,5 mm<sup>2</sup>. Passa igual que amb l'inversor anterior, és un tram excessivament curt i no es produeix caiguda de tensió.

### Mínima secció vàlida

El conductor per al tram de corrent altern que condueix des de l'inversor SYMO 15.0-3-M fins la caixa de connexions, ha de tenir una secció mínima de **4 mm<sup>2</sup>**, valor limitat segons la intensitat màxima admissible.



## 4.4.2.3. Circuit des de caixa de connexions fins quadre de B.T.

Càlcul de secció per intensitat màxima admissible

S'utilitza de nou la mateixa fórmula per obtenir el corrent màxim de la sortida de l'inversor corregit:

$$I'_{AC} = I_{màx.AC\ ECO+SYMO} * 1,25 = 36,1 + 21,7 A * 1,25 = 57,8 A$$

Resulta un corrent de circulació màxim dels dos inversors de 57,8 A. Per aquest tram, es consideren les següents característiques per la cerca:

- Instal·lació de referència: B. Es tracta de conductors unipolars.
- Material del conductor: Coure.
- Nombre de conductors: 3.
- Material d'aïllament: XLPE.

Amb aquestes dades, s'obté consultant la columna número 8, que el conductor entre la caixa de connexions i el quadre de baixa tensió ha de tenir una secció mínima de **10 mm<sup>2</sup>**. En la Figura 55 es pot comprovar.









A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores (directamente sobre la pared <sup>9</sup> )					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre <sup>9</sup> . Distancia a la pared no inferior a 0,3D <sup>9</sup>					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
F		Cables unipolares en contacto mutuo <sup>9</sup> . Distancia a la pared no inferior a D <sup>9</sup>					3x PVC			3x XLPE o EPR <sup>10</sup>			
G		Cables unipolares separados mínimo D <sup>9</sup>								3x PVC <sup>10</sup>		3x XLPE o EPR	
		mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cobre		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	-	106	116	123	166
		35	77	86	96	104	110	119	-	131	144	154	206
		50	94	103	117	125	133	145	-	159	175	188	250
		70			149	160	171	188	-	202	224	244	321
		95			189	194	207	230	-	245	271	296	391
120			208	225	240	267	-	284	314	348	455		
150			236	260	278	310	-	338	363	404	525		
185			268	297	317	354	-	386	415	464	601		
240			315	350	374	419	-	455	490	552	711		
300			360	404	423	484	-	524	565	640	821		

Figura 55 – Taula del RD amb secció indicada. Creació pròpia amb Autocad.

### Càlcul de secció per màxima caiguda de tensió

La caiguda de tensió màxima admissible per als conductors de corrent altern és la mateixa que l'anterior, ja que es treballa a mateixa tensió. Es tracta de 6 V. La secció s'obté de la fórmula per instal·lacions trifàsiques.

$$S = \frac{\sqrt{3} * L * I_{\text{màx.AC ECO+SYMO}} * \cos\varphi}{\Delta U * \rho} = \frac{\sqrt{3} * 26,5 * 36,1 + 21,7 * 1}{6 * 48} = 9,21 \text{ mm}^2$$

Segons la longitud del tram, la caiguda de tensió i el corrent que hi circula, s'obté un conductor de secció 9,21 mm<sup>2</sup> i, el valor immediatament superior normalitzat és 10 mm<sup>2</sup>.

### Mínima secció per conductors AC des de inversors a quadre B.T.

El conductor per al tram de corrent altern que condueix des de la caixa de connexió dels dos inversors i baixa fins al quadre de baixa tensió, ha de tenir una secció mínima de **10 mm<sup>2</sup>** segons ambdós mètodes.

Es conclou, un cop realitzats els càlculs, que el mètode limitador sol ser per intensitat màxima admissible.

#### 4.4.3. Comparativa de resultats

En la planta s'han pres mesures dels diversos conductors que componen la instal·lació.

Per al circuit de contínua, tots ells, incloent la unió de strings, han resultat ser un conductor de secció **6 mm<sup>2</sup>**. S'observa a la Figura 56 i es determina el diàmetre exterior amb la secció segons l'Annex 4 del DOCUMENT N°3 ANNEXOS. La mínima per normativa i mitjançant els dos mètodes de càlcul, ha de ser de 4 mm<sup>2</sup>, així doncs, es considera correcte el dimensionat d'aquests conductors.



Figura 56 – Mesura amb peu de rei diàmetre de conductor DC.

Per al circuit d'alterna, es diferencien segons inversor i connexió.

Per a l'inversor SYMO 15.0-3-S, en la visita a la planta, s'ha mesurat en el tram des de la sortida d'aquest, fins a la caixa d'unió, una secció de **4 mm<sup>2</sup>**, tal i com mostra la següent figura i comprovant-la segons diàmetre exterior amb l'Annex 4 del DOCUMENT Nº3 ANNEXOS. Amb l'ajuda dels càlculs, aquesta correspon a la secció mínima, així que es determina com correcte.



Figura 57 – Mesura amb peu de rei diàmetre de conductor AC.

Per a l'inversor ECO 25.0-3-M, en la visita a la planta, es mesura el mateix tram i s'obté amb l'ajuda del peu de rei, una secció de **6 mm<sup>2</sup>** mentre que, la secció mínima calculada és de 10 mm<sup>2</sup>. Així doncs, es procedeix a revisar la intensitat màxima admissible i la caiguda de tensió que existirà.

### **Càlcul per intensitat màxima admissible**

Segons la secció de 6 mm<sup>2</sup>, observant la Figura 28 i la columna 8, s'obté que la intensitat màxima admissible per a les condicions expressades anteriorment en aquest cas, és de 44 A.

Segons la condició d'elecció de la secció del conductor per aquest mètode, no compleix, degut que, per aquest conductor, hi pot circular com a màxim una intensitat de 45,125 A.

### **Càlcul per màxima caiguda de tensió**

S'avalua la caiguda de tensió amb un conductor de 6 mm<sup>2</sup>:

$$S = \frac{\sqrt{3} * L * I_{m\grave{a}x.AC} * \cos\varphi}{\frac{U * 1,5}{100} * \rho} \rightarrow U = \frac{\sqrt{3} * L * I_{m\grave{a}x.AC} * \cos\varphi * 100}{S * \rho}$$

$$= \frac{\sqrt{3} * 1 * 36,1 * 1 * 100}{6 * 48} = 0,14\%$$

Per caiguda de tensió no és restringit aquest conductor, ja que no supera l'1,5 % que estableix la normativa. És correctament dimensionat per aquest mètode.

El mètode limitant és la intensitat màxima admissible del conductor. La col·locació d'un cable de menor secció, implica que la intensitat màxima de conducció per ell serà també menor. La diferència és tan sols d'un amper, així doncs no és quelcom alarmant, però en cas que la instal·lació funcionés en condicions òptimes i a màxim rendiment, és a dir, gairebé ideal, podria suposar un perill per al conductor i per tant, per els elements que connecta. Es conclou que el cable d'aquest tram hauria de ser substituït per un de 10 mm<sup>2</sup>.

Entre la caixa de connexió dels dos inversors i el quadre de baixa tensió, s'ha comprovat a planta que els conductors existents tenen una secció de **16 mm<sup>2</sup>**, tal i com es pot veure a la figura següent. S'ha pogut visualitzar a través del cable directament. Aquest valor és immediatament superior al obtingut segons normativa, per tant, es considera que està sobredimensionat. Tot i així és correcte.



Figura 58 – Conductor AC amb secció indicada.

## 4.5. Estudi de proteccions

La verificació de l'existència de les proteccions obligatòries en el present estudi de la planta, es classifica en:

- Circuit de corrent continu, les quals cobreixen el tram des del camp de captació fins les entrades dels inversors
- Circuit de corrent altern, les quals cobreixen el tram des de la sortida dels inversors fins al quadre de baixa tensió.

Per a la determinació, durant la visita a la instal·lació, s'han pres mesures amb aparells com multímetre, metro, peu de rei, entre d'altres. L'actual punt es divideix tenint en compte cada inversor segons la protecció a tractar, així com les conjuntes. A continuació es mostra un esquema multifilar del que resulta la instal·lació. Es presenta al Plànol número 3 del DOCUMENT N°4 PLÀNOLS per una millor observació.

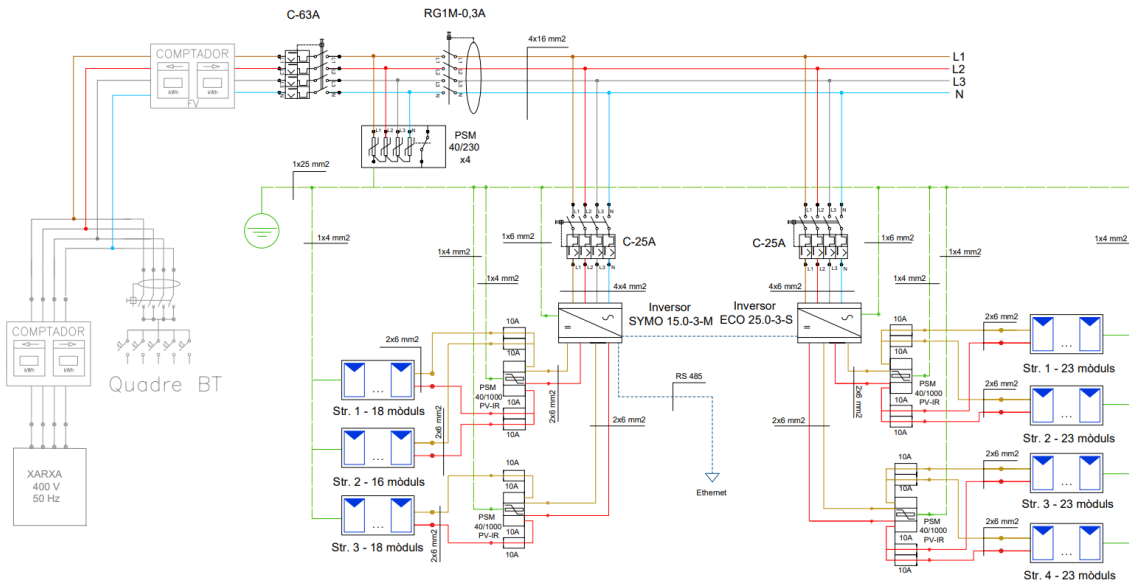


Figura 59 – Esquema multifilar de la instal·lació. Creació pròpia amb Autocad.

L'aparell de mesura al qual condueix el cable RS 485, a la Figura 59, no és contemplat en el present estudi. És degut que els resultats des de l'aplicació del fabricant no són coincidents amb els càlculs físics realitzats a través del multímetre. Es tracta d'una falla del mateix aparell.

Com es pot observar en la darrera imatge, anteriorment era d'obligació col·locar un comptador específic per la instal·lació fotovoltaica. Actualment aquesta norma ja no es troba vigent.

Es procedeix a seguir l'ordre que haurien de tenir segons connexió, començant des del generador i acabant per la xarxa.

#### 4.5.1. Proteccions circuit DC

Les proteccions del circuit de corrent continu, com s'ha esmentat al punt 3.4, ha de constar de sobretensions i fusibles. Així sembla estar format el quadre de la planta a simple vista, tal i com mostra la Figura 60. A la part inferior, hi ha el quadre DC de l'entrada de l'inversor ECO 25.0-3-S i, el superior correspon al quadre DC de l'entrada de l'inversor SYMO 15.0-3-M.



Figura 60 – Quadres DC de la planta fotovoltaica.

A continuació es mostra el detall de cadascun d'ells.

La Figura 61 mostra el quadre de corrent continu del circuit des del generador fins a l'entrada de l'inversor ECO 25.0-3-S.

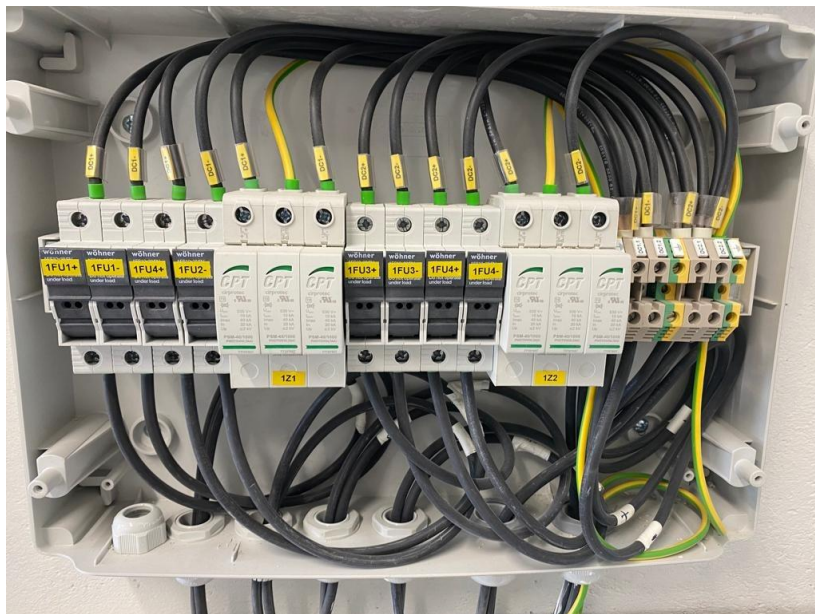


Figura 61 – Quadre DC per Inversor ECO 25.0-3-S.

La Figura 62 mostra el quadre de corrent continu del circuit des del generador fins a l'entrada de l'inversor SYMO 15.0-3-M.



Figura 62 – Quadre DC per Inversor SYMO 15.0-3-M.

Es procedeix a l'estudi de cada element.

#### 4.5.1.1. Fusibles

##### **Inversor ECO 25.0-3-S**

Segons la Figura 61, es pot observar com cada string compta amb els fusibles necessaris, un per al conductor positiu i un altre per al conductor negatiu. A l'actual inversor li arriben 4 strings, per tant, és correcte que hi hagi 8 fusibles, 2 per cada un d'ells.

Per al dimensionament d'aquesta protecció, es consulta l'explicat a l'apartat 3.4.2, on indica la fórmula:

$$I_b < I_n < I_z$$

Es coneix el següent:

- $I_b = I_{sc} = 9,07 \text{ A}$
- $I_z = 49 \text{ A}$

Es coneix  $I_z$  per la determinació de la secció en aquest tram. Aquesta és de  $6 \text{ mm}^2$  i, observant la Figura 52, en la columna 9, es troba el valor de la intensitat màxima admissible del conductor.

Aplicant els factors de correcció, es determinen els límits.

- S'examina el límit inferior:

$$I_f \leq 1,45 * I_z \rightarrow I_f \leq 1,45 * 49 \rightarrow I_f \leq 71,05 \text{ A}$$

$$I_n \geq 1,25 * I_b \rightarrow I_n \geq 1,25 * 9,07 \rightarrow I_n \geq 11,33 \text{ A}$$

Es comparen la primera fórmula emparada amb les obtingudes:

$$I_b < I_n \rightarrow 9,07 \text{ A} < I_n$$

$$11,33 \text{ A} \leq I_n$$

Mirant la Taula 3, el valor mínim normalitzat de proteccions fusibles que satisfà la condició és el de **16 A**.

- S'examina el límit superior:

Segons el mínim obtingut, s'escull segons la Taula 4, un criteri de protecció de  $I_f = 1,6 * I_n$ . També es realitza la prova amb un criteri de  $I_f = 1,9 * I_n$  donat que els 16 A poden pertànyer a tots dos coeficients.

Agrupant les expressions trobades:

$$I_f \leq 71,05 \text{ A}$$

$$16 \text{ A} \leq I_n$$

$$1. \quad I_f = 1,6 * I_n \rightarrow 71,05 \geq 1,6 * I_n \rightarrow \frac{71,05}{1,6} \geq I_n \rightarrow 44,4 \text{ A} \geq I_n$$

Consultant la Taula 3, el valor mínim normalitzat de protecció fusible que satisfà aquesta condició és **40 A**.

$$2. \quad I_f = 1,9 * I_n \rightarrow 71,05 \geq 1,9 * I_n \rightarrow \frac{71,05}{1,9} \geq I_n \rightarrow 37,39 \text{ A} \geq I_n$$

Consultant la Taula 3, el valor mínim normalitzat de protecció fusible que satisfà aquesta condició és **35 A**.

Com a resultat, s'agrupen els dos límits obtinguts i s'obté:

$$16 \text{ A} \leq I_n \leq 35 \text{ A}$$

El valor dels fusibles hauria d'estar entre aquest interval. El valor real d'aquests a la instal·lació és de 10 A cadascun tal i com mostra la Figura 63.

El valor del fusible real compleix amb la condició de la primera fórmula, però no respecta els coeficients de seguretat.





Figura 63 – Fusibles de la instal·lació.

**Inversor SYMO 15.0-3-M**

Segons la Figura 62, es pot observar com hi ha un total de 4 fusibles. No és lògic degut que les entrades del corresponent inversor compta amb 3 strings. El fusible número 4, tan sols està connectada la part negativa. No hi ha tensió i per tant, no es té en compte, és a dir, no està en ús. Per als strings restants, compleix la normativa de col·locació per cada pol i cada string.

Aquest tram del circuit de continua té la mateixa secció que l'anterior. S'enllesteix la mateixa conclusió, el valor d'aquests fusibles hauria d'estar entre l'interval:

$$16 \text{ A} \leq I_n \leq 35 \text{ A}$$

No és el cas degut que tots els fusibles de les dues caixes de proteccions DC són exactament iguals. Tenen un valor de 10 A, així doncs, haurien de ser substituïts.

## 4.5.1.2. Sobretensions

**Inversor ECO 25.0-3-S**

Aquest inversor compta amb una entrada MPPT a la qual se li connecten els 4 strings. Es procedeix a utilitzar les fórmules esmentades al punt 3.4.1.1.

$$U_{oc} = \text{núm. mòduls str.} * U_{oc} = 23 * 38,6 = 887,8 \text{ V}$$

Les instal·lacions fotovoltaïques, han de tenir els circuits de corrent continu protegits per sobretensions de tipus 2 com a mínim. Aquestes han de disposar de 3 pols per la connexió del conductor positiu, el negatiu i el terra. Ha de complir amb una màxima intensitat de descàrrega de 40 kA i 20 kA d'intensitat nominal per normativa. També una tensió de protecció mínima d'1,5 kV.

Per a la determinació d' $U_c$ , s'observa el valor de tensió de circuit obert del string. Aquest és de 887,8 V, així doncs, el valor de tensió de servei ha de ser superior a aquest.

Segons la Figura 64, es comprova que els fusibles d'aquest tram compleixen amb les característiques esmentades.



Figura 64 – Proteccions Sobretensions DC.

Tot i observar que es compta amb 2 sobretensions tenint 4 strings, aquests poden agrupar-se ja que al treballar en paral·lel, el voltatge  $U_{oc}$  per dimensionar la protecció no varia.

#### **Inversor SYMO 15.0-3-M**

En aquest cas, els valors requerits són els mateixos que en l'anterior inversor. Ara, la tensió de circuit obert en un string és la següent:

$$U_{oc} = \text{núm. mòduls str.} * U_{oc} = 18 * 38,6 = 684,8 \text{ V}$$

Degut que les proteccions per al corresponent inversor són les mateixes que les de la Figura 64, es conclou que estan correctament dimensionades.

#### 4.5.2. Proteccions circuit AC

Les proteccions del circuit de corrent altern, com s'ha esmentat al punt 3.4, ha de constar de sobretensions, magnetotèrmics i diferencial. Així sembla estar format el quadre de la planta a simple vista, tal i com mostra la Figura 65.



Figura 65 – Quadre AC de la planta fotovoltaica.

Els diversos aparells de mesura que hi figuren, no són contemplats. És degut que no estan connectats a xarxa i per tant, no s'extreu cap tipus d'informació de la planta.

Es procedeix a l'estudi de cada element.

#### 4.5.2.1. Sobretensions

El quadre presenta proteccions de sobretensions. Tota instal·lació ha de comptar amb una protecció mínima de tipus 2, connexió trifàsica entre les tres fases i el neutre i, el valor de tensió nominal del dispositiu ha de ser igual a la de la sortida de l'inversor.

La  $I_{m\grave{a}x.}$  de l'aparell a protegir, en aquest cas, la sortida dels inversors, ha de ser inferior al valor de la intensitat màxima de la protecció.



Figura 66 – Proteccions Sobretensions AC.

Com s'aprecia a la Figura 66, hi ha una protecció de sobretensions per cada cable unipolar, degut a la tipologia de connexió existent. Així doncs, és correcte que per cada fase s'utilitzi una  $U_n=230$  V.

Es tracta d'un model PSM-40/230 T2. Aquesta tipologia compleix amb la mínima reglamentària i, consta d'una  $I_{màx.}$  de 40 kA.

Segons la recerca d'aquest model, s'ha donat amb la fitxa tècnica, la qual es pot consultar a l'Annex 4 del DOCUMENT N°3 ANNEXOS. Segons les característiques que s'hi expliquen, es determina:

- M indica que és un protector contra sobretensions transitòries tipus 2.
- 40 indica  $I_{màx.}$  en kA. Aquest valor ha de ser superior a la suma dels dos equips:

$$I_{màx.AC} = I_{màx.AC \text{ INV } 1} + I_{màx.AC \text{ INV } 2} = 36,1 + 21,7 = 57,8 \text{ A}$$

Es conclou una correcta dimensió de la protecció de sobretensions per al circuit d'alterna.

#### 4.5.2.2. Magnetotèrmics e IGA

El magnetotèrmic és una protecció obligatòria la qual ha de situar-se a la sortida dels inversors. La instal·lació pot constar també d'un IGA que protegeixi tan sols la instal·lació fotovoltaica, és a dir, que abasteixi únicament els elements d'aquesta. Tal i com mostra la Figura 67, la planta conté un magnetotèrmic per cada aparell i, un Interruptor General Automàtic.



Figura 67 – Magnetotèrmics quadre AC.

El detall de la protecció dels presents elements és:

- Interruptor magnetotèrmic C25: Inversor SYMO 15.0-3-S.
- Interruptor magnetotèrmic C40: Inversor ECO 25.0-3-M.
- Interruptor General Automàtic C63: Ambdós inversors.

La corba de dispar de tots ells és l'anomenada Corba C, quelcom correcte ja que és la utilitzada per a l'ús industrial.

### Inversor ECO 25.0-3-S

Segons normativa, el valor del magnetotèrmic ha de complir amb l'equació:

$$I_{\text{màx.AC}} \leq I_N \leq I_z$$

Les dades de les quals es disposa són:

$I_{\text{màx.AC}}$ : 36,1 A

$I_z$ : El valor que hauria de tenir si la secció fos correcte i es tractés d'un cable 1x16 mm<sup>2</sup>, seria de 60 A. Degut que aquesta, en la realitat és de 1x10 mm<sup>2</sup>, la intensitat màxima admissible del conductor és de 44 A. Es pot trobar a la Figura 28.

El rang d'amperatge que ha d'abastir el magnetotèrmic és:

$$36,1 \text{ A} \leq I_N \leq 44 \text{ A}$$

Segons el corrent màxim del conductor i la intensitat nominal de circulació, per al corresponent inversor, s'ha de comptar amb un interruptor magnetotèrmic immediatament per sobre del valor obtingut. És a dir, ha de ser de **40 A**. Es poden contemplar els valors normalitzats a la Taula 5.

Per a la correcta protecció davant de sobrecàrregues s'estableix el coeficient de seguretat:

$$I_f \leq 1,45 * I_z \rightarrow I_f \leq 1,45 * 44 = 63,8 \text{ A}$$

Junt amb la Taula 6, seguint la norma d'homologació dels magnetotèrmics, es diferencia entre l'ús industrial i l'ús per a habitatges i locals:

- Ús industrial:  $C_{dt} = 1,3$

$$\frac{I_f}{I_N} = C_{dt} \rightarrow C_{dt} * I_N = I_f \rightarrow 1,3 * 40 = 52 \text{ A}$$

Es comprova que compleixi amb el coeficient de seguretat aplicat anteriorment:

$$I_f = 52 \text{ A}$$

$$I_f \leq 63,8 \text{ A}$$

$52 \text{ A} \leq 63,8 \text{ A} \rightarrow$  És correcte l'elecció per a l'ús industrial.

Es conclou que la protecció magnetotèrmic de l'inversor ECO 25.0-3-S de 40 A està ben dimensionat.

### Inversor SYMO 15.0-3-M

Es realitzen els mateixos càlculs per a l'inversor restant.

$$I_{\text{màx.AC}} \leq I_N \leq I_z$$

Les dades de les quals es disposa són:

$$I_{m\grave{a}x.AC}: 21,7 \text{ A}$$

$$I_z: 34 \text{ A.}$$

El rang d'amperatge que ha de complir el magnetotèrmic és:

$$21,7 \text{ A} \leq I_N \leq 34 \text{ A}$$

Segons els valors normalitzats dels magnetotèrmics, dins del rang es troben el de 25 A i el de 32 A. El més òptim és posar l'immediatament superior, és a dir, el de 25 A.

Establint el coeficient de seguretat:

$$I_f \leq 1,45 * I_z \rightarrow I_f \leq 1,45 * 34 = 49,3 \text{ A}$$

Com s'ha mencionat anteriorment, es tracta d'una instal·lació d'ús industrial, així doncs, ha de complir amb una Caiguda de tensió d'1,3.

$$\frac{I_f}{I_N} = C_{dt} \rightarrow C_{dt} * I_N = I_f \rightarrow 1,3 * 25 = 32,5 \text{ A}$$

Es comprova que compleixi amb el coeficient de seguretat aplicat:

$$I_f = 32,5 \text{ A}$$

$$I_f \leq 49,3 \text{ A}$$

$32,5 \text{ A} \leq 49,3 \text{ A} \rightarrow$  És correcte l'elecció per a l'ús industrial.

Es conclou que aquesta protecció està perfectament dimensionada.

### **Interrupctor General Automàtic**

L'elecció de l'IGA es basa en la intensitat dels dos equips a protegir, els quals al treballar en paral·lel, es sumen les intensitats màximes de sortida de cadascun. Aquest és ubicat passada la caixa de connexions.

Ha de continuar satisfent:

$$I_{m\grave{a}x.AC} \leq I_N \leq I_z$$

Però, en aquest cas, canvien les variables.  $I_{m\grave{a}x.AC}$  és la intensitat màxima de circulació pel cable la qual serà la suma dels dos corrents màxims de sortida de cada inversor i,  $I_z$ , la intensitat màxima admissible del conductor que condueix des de la caixa de connexions a la xarxa. S'ha comprovat que és de  $16 \text{ mm}^2$ .

$$I_{m\grave{a}x.AC}: 57,8 \text{ A}$$

$$I_z: 80 \text{ A}$$

Així doncs, el rang que ha d'adquirir el magnetotèrmic es situa:

$$57,8 \text{ A} \leq I_N \leq 80 \text{ A}$$

Per aquest rang d'amperatge hi valdrien els magnetotèrmics de 60 A i el de 80 A. El REBT, a l'apartat final de notes consultives realitzades per indústria, s'indica que l'IGA ha de ser dimensionat immediatament per sobre la intensitat màxima de circulació pel cable. Això és degut que, a l'hora de legalitzar les instal·lacions, hi ha empreses que sobre aquest valor, re-calculen la potència i l'alcen amb aquesta justificació. Així doncs, és correcte que la planta compti amb un Interruptor General Automàtic de 63 A.

#### 4.5.2.3. Diferencial

Quan es tracta de instal·lacions amb magnetotèrmics superiors a 63 A, és comú utilitzar toroidals amb relés diferencials. És el cas de la present instal·lació. A continuació, s'exposen els dos elements dels que disposa:

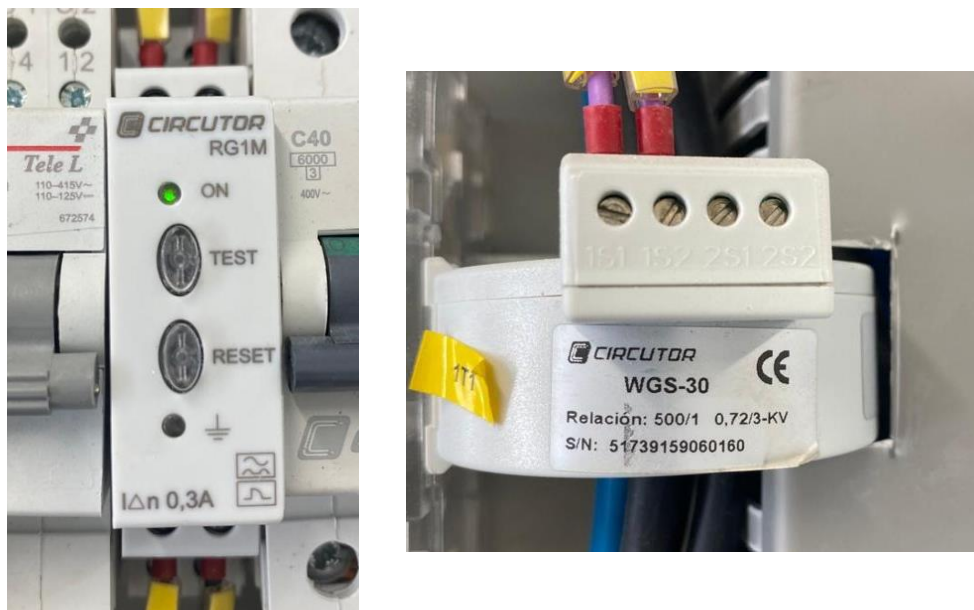


Figura 68 – Diferencial quadre AC.

A la Figura 68, l'element de l'esquerra és el relé electrònic de protecció diferencial RG1M de Circutor i, l'element de la dreta és el transformador toroidal extern WGS-30 de la mateixa marca. Junts permeten una completa protecció diferencial.

Els transformadors diferencials presenten una millor immunitat davant les puntes de corrent de tipus transitoris que provoquen dispars de la protecció. Per un correcte funcionament, el relé necessita el toroidal.

Segons la fitxa tècnica, la qual es pot consultar a l'Annex 4 del DOCUMENT N°3 ANNEXOS, es tracta d'una protecció tipus A de 300 mA, valor obligat en usos industrials.

Es determina que el circuit està correctament protegit per contactes directes o indirectes davant de descàrregues elèctriques.

#### 4.5.2.4. Interconnexió

Les proteccions d'interconnexió per a la connexió-desconnexió automàtica de la instal·lació fotovoltaica en cas de pèrdua de voltatge o freqüència de la xarxa, ve donada a l'interior dels inversors, tal i com es pot observar en la següent figura.

Medición del aislamiento CC	Sí
Comportamiento de sobrecarga	Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia
Seccionador CC	Sí
Protección contra polaridad inversa	Sí

Figura 69 – Fitxa tècnica inversors. Detall proteccions.

Per la protecció de màxima i mínima freqüència, s'estableix a l'hora de realitzar la posada en marxa de la instal·lació. Quan es configura el amb el servidor web o datalogger, s'estableix la freqüència segons la xarxa elèctrica del país. S'observa una correcta configuració en la visita a la planta, tal i com mostra la Figura 70.

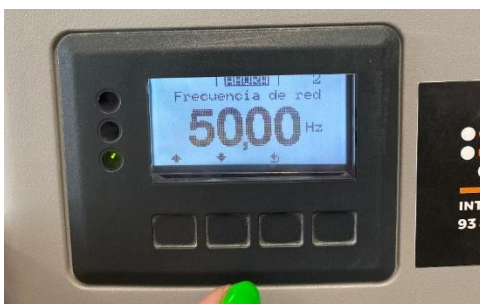


Figura 70 – Comprovació per pantalla freqüència de l'inversor.

#### 4.5.3. Protecció presa de terra

Per conèixer el dimensionat dels connectors de terra, es recull la informació adquirida de les seccions dels diversos circuits a continuació.

<b>Cablejat DC</b>	
ECO 25.0-3-S	$S = 6 \text{ mm}^2$
SYMO 15.0-3-M	$S = 6 \text{ mm}^2$
<b>Cablejat AC</b>	
ECO 25.0-3-S - Caixa de connexió	$S = 6 \text{ mm}^2$
SYMO 15.0-3-M - Caixa de connexió	$S = 4 \text{ mm}^2$
Caixa connexió - xarxa	$S = 16 \text{ mm}^2$

Taula 15 – Recull de seccions de conductors.



Segons la secció recollida dels conductors de fase a la instal·lació, tal i com indica la Taula 9, la secció mínima del conductor de protecció ( $S_p$ ), ha de ser la indicada a continuació segons el tram. Es realitza la comprovació de les mesures preses amb el peu de rei i el valor obtingut segons normativa.

### Cablejat DC

ECO 25.0-3-S:  $S = 6 \text{ mm}^2 \rightarrow S_p = 6 \text{ mm}^2$

SYMO 15.0-3-M:  $S = 6 \text{ mm}^2 \rightarrow S_p = 6 \text{ mm}^2$

La mesura presa per els dos circuits, correspon amb la Figura 71. Segons la tipologia de cable, amb nomenclatura HO7Z1-K (AS), es determina la secció per el diàmetre exterior. Pot consultar-se la fitxa tècnica a l'Annex 4 del DOCUMENT N°3 ANNEXOS.



Figura 71 – Mesura amb peu de rei diàmetre de conductor terra DC.

El valor obtingut de diàmetre correspon a una secció de  $1 \times 4 \text{ mm}^2$ . Com s'ha comentat, la secció en aquests dos trams podria ser perfectament de  $4 \text{ mm}^2$ , però el conductor instal·lat és de  $6 \text{ mm}^2$ . Segons normativa, el cable de terra hauria de satisfer la mateixa secció que el conductor actiu, però, el fet de que sigui de la secció obtinguda, no representarà cap perill.

### Cablejat AC

ECO 25.0-3-S fins caixa de connexió:  $S = 6 \text{ mm}^2 \rightarrow S_p = 6 \text{ mm}^2$



Figura 72 – Mesura amb peu de rei diàmetre de conductor terra DC. Inversor 1.

Realitzant la conversió del diàmetre obtingut en la mesura, tal i com mostra l'anterior figura, s'obté una secció de  $6 \text{ mm}^2$ , conductor que coincideix amb la normativa. Es determina com a correcte.

SYMO 15.0-3-M fins caixa de connexió:  $S = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow S_p = 4 \text{ mm}^2$

El conductor terra és el mateix que amb l'anterior inversor, correspon a una secció de  $6 \text{ mm}^2$ . Està sobredimensionat, hauria de ser de  $4 \text{ mm}^2$ .



Figura 73 – Mesura amb peu de rei diàmetre de conductor terra DC. Inversor 2.

Connexió fins xarxa:  $S = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow S_p = 16 \text{ mm}^2$

En aquest cas, no s'ha necessitat l'ajuda de cap eina ja que el cable indica la secció. Tal i com es pot veure en la Figura 74, es tracta del circuit que arriba a la xarxa amb un conductor terra de  $25 \text{ mm}^2$ . No és necessari tant elevat, hauria de ser de  $16 \text{ mm}^2$ .



Figura 74 – Conductor terra amb secció indicada.

Per últim, la resistència de protecció, adjuntat al CIEBT, indica que té un valor de  $7 \Omega$ , tal i com mostra la Figura 75.

Resistència de terra de protecció	7	$\Omega$
Resistència d'aïllament	>0,5	$M\Omega$

Figura 75 – Retall del CIEBT de la planta.

Es comprova seguidament que sigui correcte:

$$R_t \leq \frac{V}{I} \rightarrow 7 \leq \frac{24}{0,3} = 7\Omega \leq 80\Omega$$

- 24 V màxim per a emplaçaments humits (instal·lació a la intempèrie).
- 300 mA és la intensitat de defecte d'actuació del sistema de protecció diferencial indicat en l'anterior apartat.

La resistència de protecció és correctament dimensionada.

Durant les observacions de la planta seguint els conductors de terra, s'han observat diverses falles. Els equips generadors, a l'igual que les estructures de suport, no estan connectades a terra. Com s'ha explicat a l'apartat 3.4.6., és necessari que les parts metàl·liques dels captadors i els respectius suports, tinguin una presa a terra que produeixi continuïtat entre uns i altres. En tot el camp de captació, tan sols s'ha observat un conductor de terra, el qual condueix fins a un sol mòdul.



Figura 76 – Únic conductor de terra a la planta.

Aquest pas, és correcte. No és necessària la col·locació d'un cable a terra per a cada captador individual. Una alternativa, com en el cas de la present planta fotovoltaica, és disposar de pinces que generen ponts entre mòduls per crear una ruta elèctrica a terra. Aquestes han de disposar d'una platina, sota l'element d'unió amb dents, que trenquen l'anoditzat i permeten la conducció.



Figura 77 – Pinça conductora entre panells.

Quan el cargol és forçat, la peça conductora amb “dents”, s’adhereixen al metall conductor. Aquestes dents, polsen una regió d’alumini anoditzat, el qual és el que s’encarrega d’assegurar la continuïtat d’electricitat. Com s’observa en la Figura 77, tota la instal·lació té les mateixes pinces i, la regió no hi és.



Figura 78 – Safates de la instal·lació.

En aquesta imatge es pot veure que no hi ha constància de més conductors de terra.

La manca de connectar a terra el camp de captació és molt greu. La presa a terra es considera una protecció més, la qual és regulada per la normativa del Reial Decret 1663/2000. L’element en qüestió, té la finalitat de limitar la tensió i assegurar l’actuació de les proteccions davant de falla. També disminueix el risc d’averia en els materials elèctrics. Així doncs, en cas de defecte elèctric, els captadors i els conductors podrien sofrir danys i derivar-ho als usuaris.

#### 4.6. Estudi d’ombres

L’estudi de pèrdues per ombres es du a terme segons els coneixements esmentats al punt 3.5.

En la planta que s'analitza, les ombres no semblen representar un problema. Així doncs, s'espera obtenir pèrdues insignificants aplicant l'estudi. Segons la Figura 43, es proposa per l'estudi la fila de mòduls inferior, la qual està situada un pis més avall de la coberta i és l'única que rep ombres de l'edifici del davant. A la següent imatge es pot observar.



Figura 79 – Mòduls inferiors de la planta fotovoltaica.

Com s'ha comentat, la instal·lació té una orientació de 45° sud-est i els captadors es troben inclinats 30°.

Per iniciar l'estudi, es projecta en un pla, la fila de mòduls en color rosa en forma de fil, tal i com mostra la Figura 80. En color blau, l'edifici que projecta l'ombra, amb l'alçada que va des de la punta inferior dels mòduls fins la part més superior del bastiment.

Cotes generals des del punt de vista dels mòduls solars:

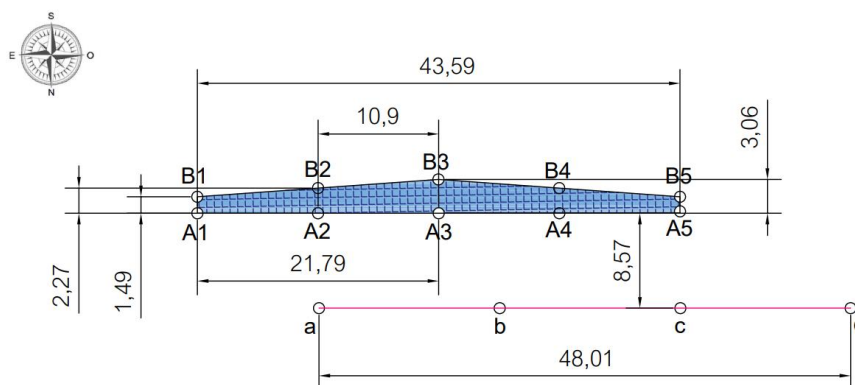


Figura 80 – Pla dels captadors i l'edifici d'ombres. Cotes generals. Creació pròpia amb Autocad.

S'estudien un total de 5 zones de l'edifici (A1, A2, A3, A4 i A5) junt amb les seves respectives alçades (B1, B2, B3, B4, i B5).

Es realitzen quatre investigacions des de diferents ubicacions dels mòduls:

- a) Punt de vista del mòdul ubicat més a l'est.

- b) Punt de vista del mòdul ubicat a la meitat del tram entre A2 i A5.
- c) Punt de vista del mòdul ubicat a la part més oest de l'edifici, davant d'A5.
- d) Punt de vista del mòdul ubicat més a l'oest sense edifici al davant.

S'explica detalladament el primer estudi. Els tres restants s'exposen a continuació però no es defineix el pas a pas donat que és repetitiu.

#### - Mesures des del punt de vista a)

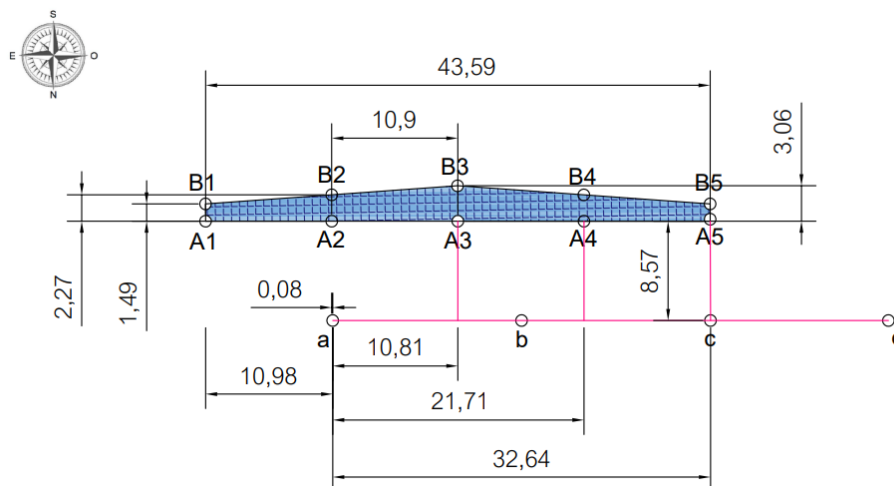


Figura 81 – Pla dels captadors i l'edifici d'ombres. Cotes punt vista A. Creació pròpia amb Autocad.

Partint des del punt a, es prenen totes les mesures de pèrdues per ombres de l'edifici blau. Des del mòdul on es realitza l'estudi, les cotes de la desviació que queden al costat esquerra, és a dir, a l'est, es consideren amb signe negatiu i, pel contrari, les cotes de la desviació que queden a la part dreta, és a dir, a l'oest, es consideren amb signe positiu. En aquest cas, A1 i B1 queden a la dreta del punt a, així doncs, a l'hora de representar-ho al diagrama, es defineixen amb valors negatius a l'eix d'abscisses (Est).

S'utilitzen les fórmules definides en la següent taula:

$A1 = \arctg\left(\frac{10,98}{8,57}\right) = 52,02^\circ$	$B1 = \arctg\left(\frac{1,49}{8,57}\right) = 9,86^\circ$
$A2 = \arctg\left(\frac{0,08}{8,57}\right) \cong 0^\circ$	$B2 = \arctg\left(\frac{2,27}{8,57}\right) = 14,83^\circ$
$A3 = \arctg\left(\frac{10,81}{8,57}\right) = 51,59^\circ$	$B3 = \arctg\left(\frac{3,06}{8,57}\right) = 19,64^\circ$
$A4 = \arctg\left(\frac{21,71}{8,57}\right) = 68,45^\circ$	$B4 = \arctg\left(\frac{2,27}{8,57}\right) = 14,83^\circ$
$A5 = \arctg\left(\frac{32,64}{8,57}\right) = 75,28^\circ$	$B5 = \arctg\left(\frac{1,49}{8,57}\right) = 9,86^\circ$

Taula 16 – Angles d'ombres per creació de diagrama. Punt de vista A.

Els angles obtinguts es plasmen en el diagrama del sol:

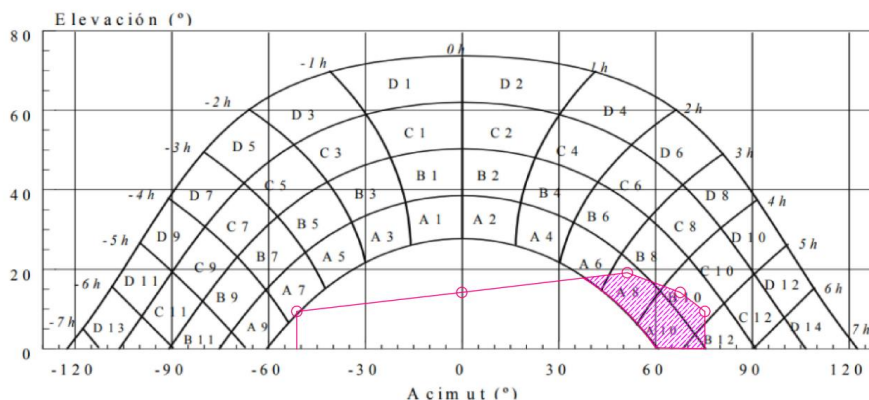


Figura 82 – Diagrama del Sol amb ombres representades. Punt de vista A. Creació pròpia amb Autocad.

Les zones ombrades es multipliquen pel factor que més es cregui convenient segons l'ocupació d'aquesta en la cel·la. S'han valorat des de la taula B.3 amb  $\beta = 35^\circ$  i  $\alpha = -60^\circ$  ja que es consideren els valors més propers segons inclinació i orientació real de la instal·lació. Els factors escollits i el resultat de les ombres parcials i total de l'estudi són:

Secció	A	B	A*B
	Taula B.3 $\beta = 35^\circ$ $\alpha = -60^\circ$	Ocupació del sector per l'obstacle	Percentatge de pèrdues parcials
A6	0,62	0,5	0,31 %
A8	0,02	0,75	0,015 %
A10	0,02	1	0,02 %
B10	0,01	0,25	0,0025 %
B12	0,04	0,5	0,02 %
<b>Pèrdues totals</b>			<b>0,3475 %</b>

Taula 17 – Resultats de pèrdues. Punt de vista A.

S'obtenen unes pèrdues per ombres totals per al mòdul de l'extrem ubicat en el punt a) d'aproximadament 0,35 %. És un valor insignificant, és a dir, en aquest sector, les ombres no són un factor que influeixi en la pèrdua d'energia en la instal·lació.

A continuació es realitza el mateix estudi per als punts b, c i d. No s'explica el procediment.

- Mesures des del punt de vista b)

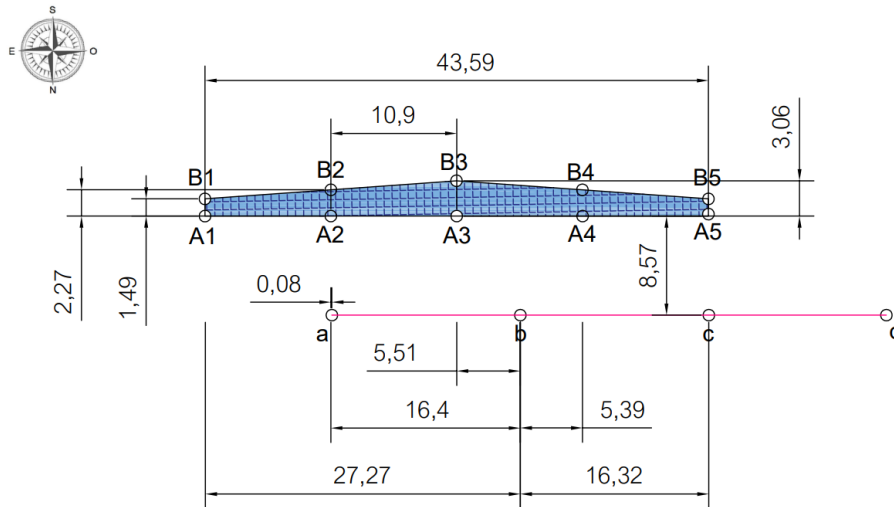


Figura 83 – Pla dels captadors i l'edifici d'ombres. Cotes punt vista B. Creació pròpia amb Autocad.

$A1 = \arctg\left(\frac{27,27}{8,57}\right) = 72,55^\circ$	$B1 = \arctg\left(\frac{1,49}{8,57}\right) = 9,86^\circ$
$A2 = \arctg\left(\frac{16,4}{8,57}\right) = 62,41^\circ$	$B2 = \arctg\left(\frac{2,27}{8,57}\right) = 14,83^\circ$
$A3 = \arctg\left(\frac{5,51}{8,57}\right) = 32,73^\circ$	$B3 = \arctg\left(\frac{3,06}{8,57}\right) = 19,64^\circ$
$A4 = \arctg\left(\frac{5,39}{8,57}\right) = 32,16^\circ$	$B4 = \arctg\left(\frac{2,27}{8,57}\right) = 14,83^\circ$
$A5 = \arctg\left(\frac{16,32}{8,57}\right) = 62,29^\circ$	$B5 = \arctg\left(\frac{1,49}{8,57}\right) = 9,86^\circ$

Taula 18 – Angles d'ombres per creació de diagrama. Punt de vista B.

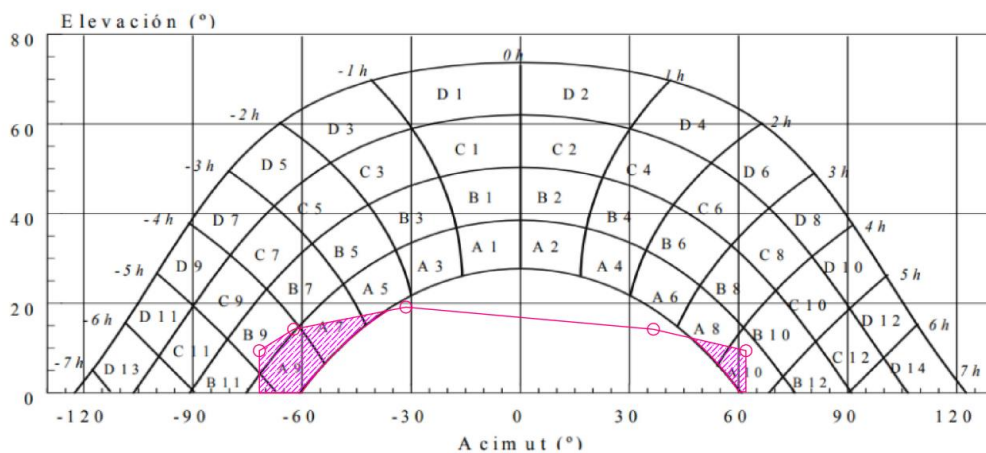


Figura 84 – Diagrama del Sol amb ombres representades. Punt de vista B. Creació pròpia amb Autocad.



Secció	A	B	A*B
	Taula B.3 $\beta = 35^\circ$ $\alpha = -60^\circ$	Ocupació del sector per l'obstacle	Percentatge de pèrdues parcials
A9	0,27	1	0,27 %
A7	1,51	0,5	0,755 %
A5	2,25	0,25	0,5625 %
A8	0,02	0,25	0,005 %
B12	0,02	0,25	0,005 %
<b>Pèrdues totals</b>			<b>1,5975 %</b>

Taula 19 – Resultats de pèrdues. Punt de vista B.

- Mesures des del punt de vista c)

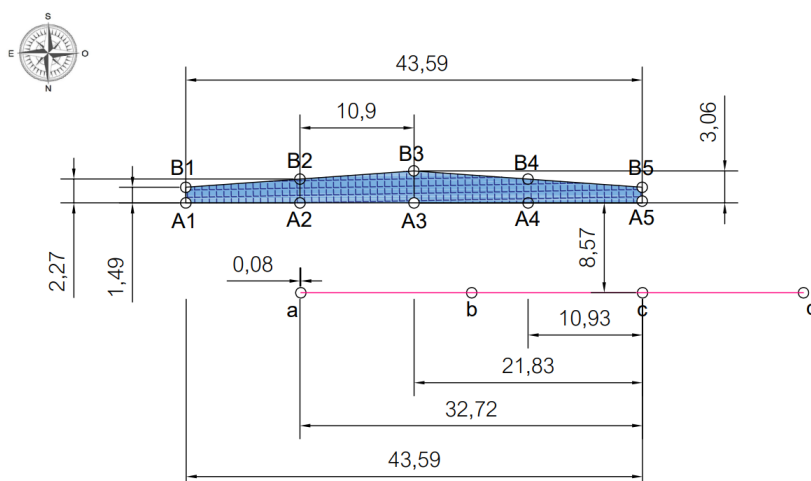


Figura 85 – Pla dels captadors i l'edifici d'ombres. Cotes punt vista C. Creació pròpia amb Autocad.

$A1 = \arctg\left(\frac{43,59}{8,57}\right) = 78,87^\circ$	$B1 = \arctg\left(\frac{1,49}{8,57}\right) = 9,86^\circ$
$A2 = \arctg\left(\frac{32,72}{8,57}\right) = 75,32^\circ$	$B2 = \arctg\left(\frac{2,27}{8,57}\right) = 14,83^\circ$
$A3 = \arctg\left(\frac{21,83}{8,57}\right) = 68,56^\circ$	$B3 = \arctg\left(\frac{3,06}{8,57}\right) = 19,64^\circ$
$A4 = \arctg\left(\frac{10,93}{8,57}\right) = 51,9^\circ$	$B4 = \arctg\left(\frac{2,27}{8,57}\right) = 14,83^\circ$
$A5 = \arctg\left(\frac{0}{8,57}\right) = 0^\circ$	$B5 = \arctg\left(\frac{1,49}{8,57}\right) = 9,86^\circ$

Taula 20 – Angles d'ombres per creació de diagrama. Punt de vista C.

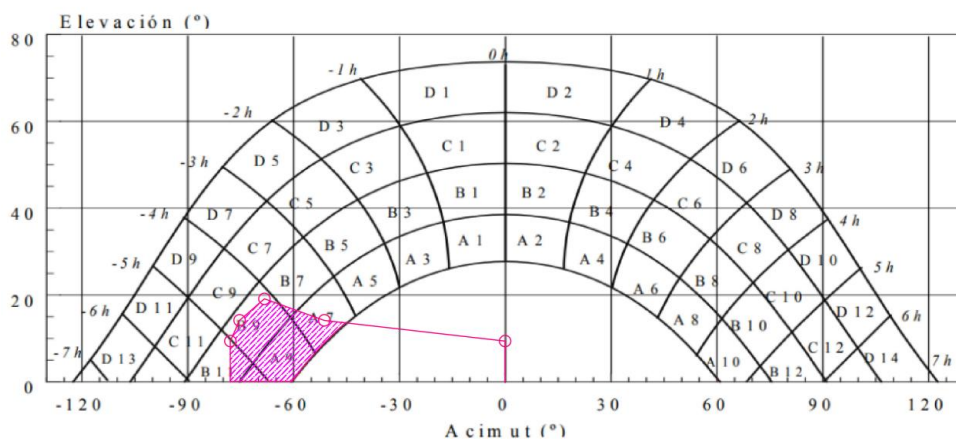


Figura 86 – Diagrama del Sol amb ombres representades. Punt de vista C. Creació pròpia amb Autocad.

Secció	A	B	A*B
	Taula B.3 $\beta = 35^\circ$ $\alpha = -60^\circ$	Ocupació del sector per l'obstacle	Percentatge de pèrdues parcials
B11	0,04	0,25	0,01 %
B9	0,91	0,75	0,6825 %
A9	0,25	1	0,25 %
A7	1,51	0,5	0,755 %
<b>Pèrdues totals</b>			<b>1,6975 %</b>

Taula 21 – Resultats de pèrdues. Punt de vista C.

- Mesures des del punt de vista d)

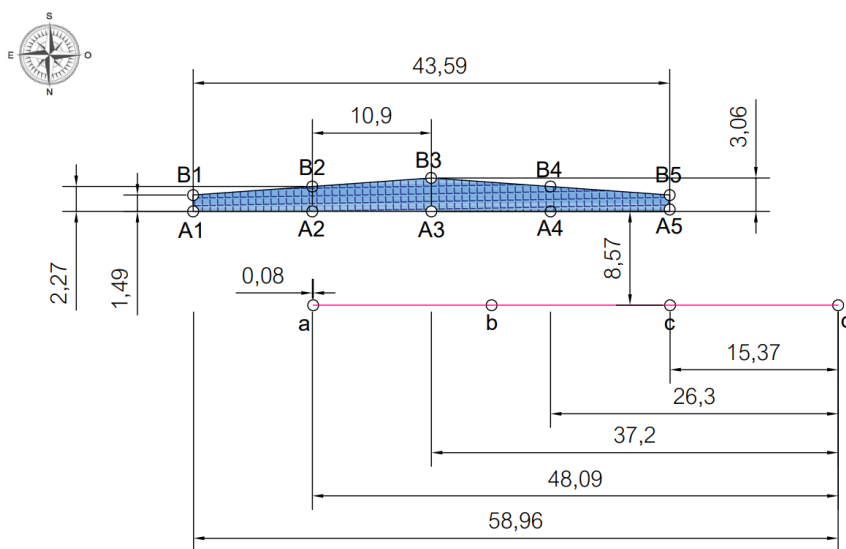


Figura 87 – Pla dels captadors i l'edifici d'ombres. Cotes punt vista D Creació pròpia amb Autocad.

$A1 = \arctg\left(\frac{58,96}{8,57}\right) = 81,73^\circ$	$B1 = \arctg\left(\frac{1,49}{8,57}\right) = 9,86^\circ$
$A2 = \arctg\left(\frac{48,09}{8,57}\right) = 79,89^\circ$	$B2 = \arctg\left(\frac{2,27}{8,57}\right) = 14,83^\circ$
$A3 = \arctg\left(\frac{37,2}{8,57}\right) = 77,02^\circ$	$B3 = \arctg\left(\frac{3,06}{8,57}\right) = 19,64^\circ$
$A4 = \arctg\left(\frac{26,3}{8,57}\right) = 71,95^\circ$	$B4 = \arctg\left(\frac{2,27}{8,57}\right) = 14,83^\circ$
$A5 = \arctg\left(\frac{15,37}{8,57}\right) = 60,85^\circ$	$B5 = \arctg\left(\frac{1,49}{8,57}\right) = 9,86^\circ$

Taula 22 – Angles d'ombres per creació de diagrama. Punt de vista D.

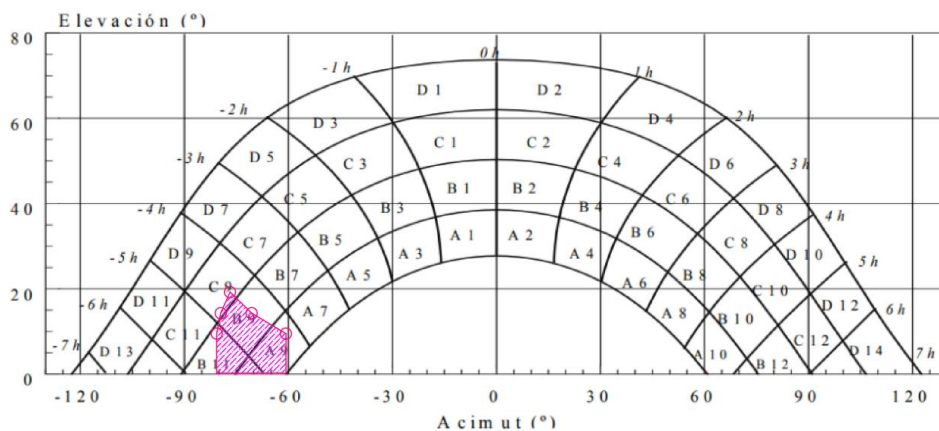


Figura 88 – Diagrama del Sol amb ombres representades. Punt de vista D. Creació pròpia amb Autocad.

Secció	A	B	A*B
	Taula B.3 $\beta = 35^\circ$ $\alpha = -60^\circ$	Ocupació del sector per l'obstacle	Percentatge de pèrdues parcials
B11	0,04	0,5	0,012 %
B9	0,91	0,5	0,455 %
A9	0,25	0,75	0,1875 %
<b>Pèrdues totals</b>			<b>0,6625 %</b>

Taula 23 – Resultats de pèrdues. Punt de vista D.

#### 4.6.1. Resultats

ECCIÓ DE FILA DE MÒDULS	PÈRDUES PER OMBRES TOTALS
a	0,3475 %
b	1,5975 %
c	1,6975 %
d	0,6625 %

Taula 24 – Resultat total de pèrdues segons tram.

El resultat de les pèrdues per ombres en l'actual instal·lació és molt baix, així doncs, es pot afirmar que la ubicació de tots els panells és encertada. No hi ha pèrdua d'irradiació solar durant les hores diürnes i, per tant, tampoc hi ha pèrdua d'energia.

Segons la Figura 79, la planta té una instal·lació de superposició on, els captadors fotovoltaics es troben sobre coberta. Té unes pèrdues inferiors a les màximes establertes per l'HE5.

#### 4.7. Revisió de tràmits legals

En el present apartat, es supervisen els tràmits legals dintre el marge accessible.

Es desconeix l'existència de diversos documents, com la comunicació d'obres i la llicència obtinguda. Tot i això, es passa al següent requeriment dins de la supervisió de tràmits legals, corresponent amb el punt 3.6.2, el CIEBT.

Hi ha constància del Certificat d'Instal·lació Elèctrica de Baixa Tensió tramitat el 7 de març de 2018. Va ser gestionat per l'empresa instal·ladora anomenada Instal·lacions Requejo S.L.U.

En ell s'esmenta que la instal·lació és destinada a generació fotovoltaica d'autoconsum i que, abasteix 238 m<sup>2</sup> de superfície. Aquest valor és correcte si es té en compte que cada captador té unes dimensions de 1640 mm d'allargada i 992 mm d'amplada, és a dir, cada un d'ells ocupa 1,62 m<sup>2</sup>.

Com a documentació tècnica s'adjunta el projecte, presentat com a tipus C, el qual no ha estat accessible. Amb la informació del punt 3.6, es verifica mínimament, que el projecte compleix amb el grup d'instal·lació. Tipus C pertany a les instal·lacions en locals humits i generadores.

Les característiques tècniques especificades al CIEBT són vàlides segons prestacions observades:

- Interruptor automàtic de tall omnipolar: 63 A.
- Potència màxima admissible: 39,42 kW.
- Potència instal·lada: 39,42 kW.

- Tensió: 3x230/400 V.
- Secció derivació individual: 4x16 mm<sup>2</sup>.
- Resistència de terra de protecció: 7Ω.
- Interruptor diferencial: Sensibilitat 300 mA.

Objecte

Instal·lació solar fotovoltaica autoconsum 39,42kWp sobre coberta edifici oficines

**Característiques tècniques de la instal·lació**

Interruptor general automàtic de tall omnipolar		63	A																				
Potència màxima admissible	39,42	kW	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Interruptors diferencials:</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>In</th> <th colspan="2">Sensibilitat</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>segons</td> <td></td> <td>A</td> <td>300 mA</td> </tr> <tr> <td>esquema</td> <td></td> <td>A</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>A</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Interruptors diferencials:				Nombre	In	Sensibilitat		segons		A	300 mA	esquema		A				A	
Interruptors diferencials:																							
Nombre	In	Sensibilitat																					
segons		A		300 mA																			
esquema		A																					
		A																					
Potència instal·lada	39,42	kW																					
Tensió	3x230/400	V																					
Secció derivació individual	4x16	mm <sup>2</sup>																					
Resistència de terra de protecció	7	Ω																					
Resistència d'aïllament	>0,5	MΩ																					

Figura 89 – Retall de característiques tècniques del CIEBT de la planta FV.

Segons l'anunciat i vist a la Figura 89, el Certificat d'Instal·lació elèctrica de baixa tensió, té un aspecte favorable.

Seguidament, segons les dades dels documents accessibles, es va procedir a una inspecció inicial prèvia realitzada per l'Organisme de Control, acreditat per ENAC amb acreditació número 01/EI004. En ella hi figura el número d'acta, d'expedient i d'instal·lació. Hi consten les mateixes dades que al CIEBT. Va ser realitzada el 16 de març del 2018 i pren validesa fins al 16 de maig del 2023. Va ser qualificada sense defectes, romanen en servei normal, és a dir, té una qualificació favorable. Pot comprovar-se en la Figura 90.



E C A

**Organisme de Control, acreditat per ENAC amb acreditació núm. 01/EI004**  
 Delegació de Barcelona (Sant Cugat del Vallès)  
 Adreça Camí Can Ametller, 34 - Edificio Bureau Veritas  
 NCP 08195 Fax 932 535 301 Telf 932 535 300

**BAIXA TENSIÓ**  
**CERTIFICAT D'INSPECCIÓ INICIAL**

Full nº 1 de 1

Número certificat :	08-08-E29-0-078925
Núm. d'expedient :	99-2018-0000010301
Nº Visat Projecte :	

En compliment del Reial Decret 842/2002, de 2 de agosto, i la seva Instrucció Tècnica Complementària BT05, així com d'acord amb la Instrucció 7/2003 de 9 de setembre de 2003 (DGEM), pel qual es regula el procediment administratiu per l'aplicació del Reglament per a baixa tensió, l'inspector que subscriu aquest CERTIFICAT ha realitzat, en la data que s'indica, les comprovacions i controls que estableix la legislació vigent, pel tipus d'inspecció marcat a la dreta, de la instal·lació elèctrica que es descriu a continuació, d'acord amb el procediment d'ECA núm. 608009.

**INSPECCIÓ INICIAL PRÈVIA A LA POSADA EN MARXA DE**
 Nova instal·lació Ampliació Reforma / modificació

Realitzada el dia: 16/03/2018

EMPLAÇAMENT INSTAL·LACIÓ	Població		Adreça			CP
	Barcelona		c/ TANGER, 66 (fotovoltaica)			08018
TITULAR O PROPIETARI	Nom				Telèfon	
	UKE IBERIA 2 SL				---	
EMPRESA INSTAL·LADORA	INSTALACIONES REQUEJO,S.L			R.A.S.I.C.		
INSTAL·LADOR AUTORIZAT				I.E. / N.I.F.		
TIPUS DE LA INSTAL·LACIÓ	Ús a que es destina			Grup	Superfície (m2)	
	90000 - INTEMPÈRIE			o	---	
CARACTERÍSTIQUES BÀSIQUES DE LA INSTAL·LACIÓ	Potència màx. admissible (kW)	Potència instal·lada (kW)	Tensió (V)	Intensitat I.G.A. (A)	Resistència terra (Ω)	Tensió contacte (V)
	39.42	39.42	3X230/400	63 (IV)	0.5	0
PROJECTE	Autor/Director d'Obra		Col·legi Oficial		Núm. Col·legiat	
	Vidal Rodríguez Rodríguez		C.E.T.I.B.		18.855	

**QUALIFICACIÓ I DICTAMEN D'INSPECCIÓ**

Qui signa aquest dictamen, inspector d'ECA, ha avaluat amb resultat FAVORABLE l'adequació de la documentació relativa a la instal·lació descrita amb els preceptes de la ITC-BT 04 del R.D. 842/2002, de 2 d'agost, pel qual s'aprova el Reglament Electrotècnic per a baixa tensió, i ha realitzat la inspecció de totes les parts controlables i visibles de la mateixa, segons consta a l'acta núm. 08-08-E29-0-078925 i a la vista dels resultats obtinguts,

**CERTIFICA**, que la instal·lació elèctrica, pel que fa a la seguretat de funcionament, mereix la següent qualificació global:  
**FAVORABLE**

L'INSPECTOR JORGE MAURO DE PEDRO AYUSO

SEGELL D'ECA

DE PEDRO  
 AYUSO JORGE DE PEDRO  
 MAURO - AYUSO JORGE  
 MAURO -

 Signatura 38140241P  38140241P

Data: 8 de maig de 2018

NOTES: Els resultats i la qualificació indicada només es refereix a la instal·lació inspeccionada. Les dades i els resultats d'aquest certificat no han de reproduir-se parcialment sense la aprovació expressa d'aquest Organisme de Control.

Figura 90 – Acta d'Inspecció inicial prèvia.

En ella s'especifica que, per qualsevol resolució d'esmena, reparació o reforma, és necessari notificar-les a l'Organisme de Control (OC). En qualsevol cas, el responsable és l'encarregat de conservar i mantenir adequadament les condicions de seguretat legalment exigibles en l'ús de la instal·lació.

Seguidament, es troba un document de presentació per part dels OC de la declaració responsable, amb data 9 de maig del 2018. En ella hi figura el codi d'inscripció al RITSIC, el qual certifica que la instal·lació és efectuada correctament.

<b>Dades de la instal·lació</b>				
Número de registre (RITSIC)				
BT-14-2085790-Q				
<b>Adreça</b>				
Tipus de via	Nom de la via			Número
Carrer	TÀNGER			66
Polígon industrial			Nau	
Bloc	Escala	Pis	Porta	Codi postal
				08018
Província			Comarca	
Barcelona			Barcelonès	
Municipi		Població	País	
Barcelona		Barcelona	Espanya	

Figura 91 – Declaració responsable on s'esmenta el codi RITSIC.

Finalment, consta un albarà de Posada en Servei facilitat i signat per Circutor. És validada en la configuració i posada en funcionament dels inversors, certifica el projecte executiu de la potència instal·lada esmentada, la direcció facultativa i el tràmit de legalització segons RD 900/2015. Aquest RD ha quedat obsolet, amb les novetats del RD 500/2019. Així doncs, els propietaris de la planta han d'encarregar-se de posar al dia les noves normatives i valorar si s'ha de modificar quelcom de tràmits legals.



VIAL SANT JORDI, S/N  
 08232 VILADECÀVALLS (BARCELONA)  
 ESPAÑA / SPAIN



Web: [www.circutor.com](http://www.circutor.com)  
 E-mail: [central@circutor.es](mailto:central@circutor.es)  
 Tel: (+34) 93 745 29 00  
 Fax: (+34) 93 745 29 14

### ALBARÁN DE ENTREGA

<b>Solicitante</b> GRUPO E. STOCKS PENEDES - 030. CARRER MERLOT 34 - 36 08734 OLERDOLA	<b>Proveedor</b> CIRCUTOR SA VIAL SAN JORDI S/N E-08232 VILADECÀVALLS
---	--

**Su pedido** -  
**Nuestra referencia** 492040

Puesta en servicio e ingeniería de proyecto de la instalación FV de autoconsumo ubicada en la calle Tanager, nº66, 08018 Barcelona.

**Puesta en servicio:**

- ✓ Configuración y puesta en marcha de los inversores FV

**Ingeniería:**

- ✓ Proyecto ejecutivo IFV 39,42 kWp / 40 kWn
- ✓ Dirección facultativa
- ✓ Trámite de legalización según RD900/2015

Figura 92 – Albarà de Posada en Servei de la instal·lació.

Amb la poca informació disponible, s'aprecia que la instal·lació va ser correctament legalitzada. El més important és legalitzar la potència pic de generació, no la de l'inversor. Aquest pas és correcte. Es té constància dels elements més importants en tot aquest procés, que són el CIEBT, el RIPRE i el RITSIC, mancant el codi RAC. És important la obtenció d'aquest, ja que quan es va realitzar l'obra encara no existia. Amb el nou RD vigent, és necessari sol·licitar-lo.

Es desconeix més documentació fins al 10 de juliol de 2018, on la planta va ser registrada com a nova instal·lació. S'anuncia al document anomenat Justificant de compliment del procediment de producció d'energia elèctrica. Es tracta d'una instal·lació inscrita al RIPRE amb modalitat d'autoconsum Tipus 2, la qual està donada d'alta correctament amb número RIPRE-000011335, per a instal·lacions Fotovoltaiques de potència nominal superior a 10 kW i fins a 100 kW.


 <b>Generalitat de Catalunya</b> Oficina de Gestió Empresarial, Departament d'Empresa i Coneixement	<b>EXPEDIENT</b> DICT08-00014989-2018 RIPRE-000011335	<b>REGISTRE D'ENTRADA</b> 0278-26180 10/07/2018 08.33.31
	Instal·lacions Fotovoltaiques de potència nominal superior a 10 kW i fins a 100 kW: Nova instal·lació UKEI TANGER SLU (B66752007) Rebut: 739228; 389,90 Euros	
<b>Justificant d'acompliment del procedime de producció d'energia elèctrica</b>		
<small>Anualitzada la documentació presentada a l'expedient a dall esmentat i en aplicació del que disposa el Reial Decret 413/2014, de 6 de juny, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus, el Reial Decret 1699/2011, de 18 de novembre, pel qual es regula la connexió a la xarxa de les instal·lacions de producció d'energia elèctrica de petita potència i el Reial Decret 900/2015, de 9 d'octubre, pel qual es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministrament d'energia elèctrica amb autoconsum, mitjançant aquest document es consideren complerts els següents tràmits, relatius a la instal·lació que s'indica més avall.</small>		
<input checked="" type="checkbox"/> Nova instal·lació <input type="checkbox"/> Ampliació d'una instal·lació existent		
1. Comunicació prèvia de les característiques de la instal·lació.		
2. Autorització d'explotació (posada en servei) <input type="checkbox"/> Provisional per a proves <input checked="" type="checkbox"/> Definitiva		
3. Comunicació / Inscripció.		
<input type="checkbox"/> Comunicació de la instal·lació d'autoconsum modalitat Tipus 1 (les instal·lacions d'Autoconsum-Tipus 1 no s'inscriuen al Registre d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica (RIPRE)).		
Número AUTOCONSUM - TIPUS 1 (a emplenar per l'OGE)		
<input checked="" type="checkbox"/> Inscripció de la instal·lació en el Registre d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica de Catalunya per a instal·lacions d'autoconsum modalitat Tipus 2 i per a la resta d'instal·lacions productores d'energia elèctrica.		
Tipus d'instal·lació: <input checked="" type="checkbox"/> Autoconsum modalitat Tipus 2 <input type="checkbox"/> Resta d'instal·lacions (No autoconsum)		
Tipus d'inscripció: <input type="checkbox"/> Prèvia <input checked="" type="checkbox"/> Definitiva		
Número RIPRE (a emplenar per l'OGE) 11335		
<input type="checkbox"/> Transmissió de titularitat de la instal·lació de producció d'energia elèctrica:		
Número RIPRE		
Número AUTOCONSUM - TIPUS 1		
<input type="checkbox"/> Baixa i cancel·lació de la inscripció al Registre d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica de Catalunya de la instal·lació		
Número RIPRE		
<input type="checkbox"/> Comunicació de baixa de la instal·lació d'autoconsum modalitat Tipus 1:		
Número AUTOCONSUM - TIPUS 1		
<b>Dades del/de la titular i domicili social</b>		
Titular de la instal·lació UKEI TANGER S.L.U		NIF B66752007
Adreça Travessera de Gràcia n°11 Planta 5		Codi postal 0 8 0 2 1
Població Barcelona	Municipi Barcelona	Província Barcelona
Telèfon fix 932.059.040	Telèfon mòbil 667.478.340	Fax Adreça de correu electrònic daniel.beltran@deerns.com
<b>Dades de l'anterior titular (només en el supòsit de canvi de titular)</b>		
Titular de la instal·lació		NIF
Adreça		Codi postal
<b>Dades de l'emplaçament de la instal·lació</b>		
Adreça Carrer Tànger n°66	Codi postal 0 8 0 1 8	Població Barcelona

Figura 93 – Justificant d'acompliment del procediment de producció d'energia on s'esmenta el RIPRE.



Es té constància que el titular de la instal·lació és UKEI TANGER S.L.U i el darrer document citat compta amb les dades d'identificació. És correctament realitzat per l'emplaçament Carrer Tànger 66, 08018, Barcelona. Hi consten les característiques observades físicament, que es tracta d'una obra de 39,42 kWp i 40 kWn, amb una tipologia fixa.

Es conclou amb aquesta informació la revisió dels tràmits legals realitzats per complir amb la normativa d'una nova instal·lació solar fotovoltaica d'autoconsum.

#### 4.8. Anàlisi de l'estat dels captadors

La present instal·lació solar fotovoltaica va ser realitzada a principis del 2018, per tant, es calculen 4 anys d'antiguitat d'aquesta.

Durant la visita a la planta, aprofitant que dos mòduls van caure de l'estructura i que, un d'ells va sortir il·lès de la precipitació, s'ha netejat i s'ha deixat escalfar al Sol durant un període de temps aproximat de 2 hores per prendre les respectives mesures. Es pot observar en la Figura 94.



Figura 94 – Mòdul amb el que realitzar proves.

L'objectiu inicial de l'actual apartat era calcular el rendiment del captador i compararlo amb la disminució d'aquest, anunciat pel fabricant a la fitxa tècnica. Finalment, el propòsit ha estat limitat, prenent solament les dades pertinents i comentant-les, ja que en el moment d'obtenció no s'han avaluat la irradiància ni la temperatura del mòdul i, per tant, no és possible la creació de la corba I-V.

S'han pres mesures de  $U_{oc}$  i de  $I_{sc}$  amb l'ajuda d'un voltímetre i un amperímetre de pinça, tal i com es pot observar en les següents figures.



Figura 95 – Proves a mòdul fotovoltaic desconnectat.

Es recullen les dades, comparant-les segons l'anvers del captador i mesures.

	Fitxa tècnica captador Condicions NOCT	Mesures físiques
$U_{oc}$	38,6 V	34,4 V
$I_{sc}$	9,07 A	8,77 A

Taula 25 – Comparativa entre dades tècniques i mesures físiques del captador.

Amb els valors obtinguts, s'estima la disminució del rendiment quatre anys més tard de la instal·lació, amb les condicions estàndard NOCT.

$$\text{Pèrdues}_U = \frac{38,6 - 34,3}{38,6} * 100 = 10,88 \%$$

$$\text{Pèrdues}_I = \frac{9,07 - 8,77}{9,07} * 100 = 3,3 \%$$

Aquests valors no són vertaderament certs, però s'hi aproximen. És degut que el dia de la visita a planta, segons web consultada, hi havia una radiació de  $893 \text{ W/m}^2$ . Les condicions en la fitxa de captadors és a  $1000 \text{ W/m}^2$ . Per aquest motiu el valor és aproximat, però no resulta la disminució definitiva.

## 4.9. Resultats

Al present apartat es desenvolupa una taula resum en forma de check-list per la determinació dels aspectes estudiats en l'actual projecte. Es presenten els detalls auditats i es verifiquen segons errors lleus, errors greus i, en cas de no esmentar res, equival a un resultat correcte.

Els inversors es presenten segons s'ha comentat al punt 4.1, l'inversor 1 serà el màster, és a dir, el SYMO 15.0-3-M i, l'inversor 2 correspon a l'esclau, l'ECO 25.0-3-S.

Aspecte	Valor	Error lleu	Error greu
<b>Configuració de planta</b>			
Nombre de captadors en sèrie Inversor 1	18		
Nombre de captadors en sèrie Inversor 2	23		
Nombre de cadenes en paral·lel Inversor 1	3		
Nombre de cadenes en paral·lel Inversor 2	4		
<b>Secció de conductors DC</b>			
String més desfavorable (Inversor 1) – Quadre DC	6 mm <sup>2</sup>	X	
String més desfavorable (Inversor 2) – Quadre DC	6 mm <sup>2</sup>	X	
Quadre DC – Inversor 1	6 mm <sup>2</sup>	X	
Quadre DC – Inversor 2	6 mm <sup>2</sup>	X	
<b>Secció de conductors AC</b>			
Inversor 1 – Caixa de connexió	4 mm <sup>2</sup>		
Inversor 2 – Caixa de connexió	6 mm <sup>2</sup>	X	
Caixa de connexió – Quadre BT	16 mm <sup>2</sup>	X	
<b>Proteccions DC</b>			
Nombre de fusibles (Inversor 1)	3		

Nombre de fusibles (Inversor 2)	4		
Amperatge de fusibles (Inversor 1)	10 A	X	
Amperatge de fusibles (Inversor 2)	10 A	X	
Nombre de sobretensions (Inversor 1)	1		
Nombre de sobretensions (Inversor 2)	1		
Tensió de sobretensions (Inversor 1)	1000 V		
Tensió de sobretensions (Inversor 2)	1000 V		

### **Proteccions AC**

Sobretensions	3 x 230 V		
Magnetotèrmic (Inversor 1)	25 A		
Magnetotèrmic (Inversor 2)	40 A		
Interruptor General Automàtic	63 A		
Diferencial	300 mA		
Interconnexió	Inversors		

### **Protecció presa de terra**

Connexió a terra mòduls			X
Connexió a terra estructures			X
Connexió a terra quadre DC			
Connexió a terra quadre AC			
Secció DC de l'Inversor 1	4 mm <sup>2</sup>		
Secció DC de l'inversor 2	4 mm <sup>2</sup>		
Secció AC de l'inversor 1	6 mm <sup>2</sup>	X	
Secció AC de l'inversor 2	6 mm <sup>2</sup>		
Secció caixa connexions – Xarxa	25 mm <sup>2</sup>	X	

Resistència de protecció	7 $\Omega$		
<b>Ombres</b>			
Pèrdues per ombres	1,6975 %		
<b>Legalització</b>			
Projecte	NO		
CIEBT	SÍ		
RITSIC	SÍ		
RAC	NO		X
Inspecció prèvia (En cas d'instal·lació > 25 kW)	SÍ		
RIPRE (En cas d'instal·lació Tipus 2)	SÍ		

Taula 26 – Taula resum de l'auditoria a la planta fotovoltaica.

Els comentaris de cada valoració, han estat realitzats al llarg de la memòria en el desenvolupament de cada punt.

Cal destacar:

- Les seccions dels conductors DC estan totes sobredimensionades. Compten amb una secció de 6 mm<sup>2</sup> quan el més òptim seria que fossin de 4 mm<sup>2</sup>.
- La secció del conductor AC de l'inversor 2 fins a la caixa de connexió, compta amb una secció de 6 mm<sup>2</sup> i hauria de correspondre amb una de 10 mm<sup>2</sup>, tal i com s'ha calculat al punt 4.4.2.1.
- La secció del conductor AC que va de la caixa de connexió al quadre BT té una secció de 16 mm<sup>2</sup> mentre que, amb un conductor de 10 mm<sup>2</sup> ja n'hi hauria suficient. Així doncs, està sobredimensionat.
- Les proteccions de fusibles DC tenen un amperatge inferior al calculat. Són de 10 A i, per respectar els coeficient de seguretat que se li apliquen al rang, haurien de satisfer un amperatge de 16 A.
- La protecció presa de terra tant de mòduls com d'estructures és fonamental i la planta no les presenta, tractant-se d'un error molt greu.
- Les seccions dels conductors de terra DC, es consideren correcte tenint en compte que les seccions dels conductors de corrent continu haurien de tenir el mateix valor, és a dir, 4 mm<sup>2</sup>.

- La secció del conductor de terra AC de l'inversor 1, hauria de ser del mateix valor que la del conductor de corrent altern d'aquest tram, és a dir, de  $4 \text{ mm}^2$ . Així doncs, es considera sobredimensionat.
- La secció del conductor de terra AC del tram entre la caixa connexions i la xarxa és de  $25 \text{ mm}^2$  quan amb un conductor de  $16 \text{ mm}^2$  hi hauria suficient.
- L'absència del codi RAC després del canvi de normativa i el nou RD (244/2019) vigent, és primordial sol·licitar-lo. Es desconeix si s'ha adquirit recentment.

Es conclou segons els resultats recollits a la Taula 26 que, els strings es troben ben distribuïts i, els conductors en general estan sobredimensionats. L'error més greu que s'ha descobert ha estat la falta de connexió a terra.

## CAPÍTOL 5: CONCLUSIONS

---

L'objectiu del present projecte és recollir en un document una guia per abastir al màxim la idea de dur a terme auditories en sistemes solars fotovoltaics d'autoconsum. Es tracta de reunir els punts més rellevants per la correcta creació o avaluació de les plantes fotovoltaïques.

Inicialment es proposa un marc teòric per posar en context al lector dels temes que es tracten, a l'igual que per ajudar a l'enteniment d'aspectes més tècnics.

Seguidament, es desenvolupa un segon capítol on es detallen els estudis a analitzar en una planta fotovoltaica. Aquest explica com s'ha de configurar adequadament segons el tipus d'instal·lació.

Es consideren les normatives per dimensionar els conductors, així com les proteccions de tot el circuit. També es planteja un estudi per no acumular un excés d'ombregat que perjudiqui la producció. Finalment, dins d'uns marges, es presenten els documents legals a tenir en ordre segons imposa la normativa.

Tot seguit, es du a terme per una planta real. S'audita una instal·lació en funcionament des del 2018, en la que s'avaluen tots els aspectes desenvolupats. Es pretén determinar l'estat i, posteriorment els possibles errors.

Finalment, es conclou si l'auditoria és apropiada amb ajuda d'una taula resum. En ella es presenten els resultats i si el dimensionament és vàlid. Cal recalcar que el projecte no abasteix totes les tipologies d'instal·lació, però pot ser útil en plantes de l'estil.

S'ha volgut crear una eina pròpia per executar els càlculs plasmats. Aquesta va ser iniciada però no s'ha finalitzat abastint tots els temes que es desitjava. Tot i així, es té un resultat positiu de la seva construcció, esperant poder ampliar-la a curt termini. Es troba al Capítol 1 del DOCUMENT N°3 ANNEXOS.

Es proposa com a principal ampliació del projecte, la contemplació del monitoratge de la planta. Cercar més informació sobre els aparells existents i comparar resultats de la producció amb programes convencionals e inclús, amb l'eina desenvolupada. La finalització d'aquesta també és considerada una futura ampliació. Es detallen al DOCUMENT N°3 ANNEXOS.

Com a conclusió general, els anàlisi realitzats ajuden a l'aprenentatge i satisfan l'oferiment d'un model per plantejar instal·lacions solars fotovoltaïques d'autoconsum i/o l'anàlisi.

Com a opinió personal, ha estat una tesi molt atractiva, a la qual se li han dedicat destacables hores en documentació i recerca, per així, poder gaudir de la visita a planta i tenir l'oportunitat d'experimentar amb tot l'estudiat. És satisfactori el resultat obtingut.

## CAPÍTOL 6: BIBLIOGRAFIES

---

### 6.1. Bibliografia Pàgines Web

- [P1] Redacción National Geographic. (2022, 4 febrero). El Sol. National Geographic. Recuperado 3 de marzo de 2022, de <https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-sol-0>
- [P2] KEPLER. (2020, 24 noviembre). 2.2 Coordenadas horizontales. GRUPO DOCENTE DE ASTRONOMÍA. Recuperado 3 de marzo de 2022, de <https://curso.auladeastronomiadefuenlabrada.com/tema-2-movimiento-de-rotacion/2-2-coordenadas-horizontales/>
- [P3] La radiación solar. (s. f.). Aros Solar Technology. Recuperado 2 de marzo de 2022, de <http://www.aros-solar.com/es/la-radiacion-solar>
- [P4] Calventus Solé, Y. (2006). Tecnología energética y medio ambiente - I. Edicions UPC. Recuperado 6 de marzo de 2022, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36818/9788498802962.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [P5] Tipos de células fotovoltaicas y sus paneles. (2018, diciembre 18). HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/tipos-de-celulas-fotovoltaicas-y-sus-paneles/>
- [P6] Tobajas, M. C. (2018). Energía Solar Fotovoltaica (1.ª ed.). Cano Pina.
- [P7] Tipos de conexión de los paneles solares y qué tener en cuenta. (s. f.). AutoSolar.es. Recuperado 18 de abril de 2022, de <https://autosolar.es/placas-fotovoltaicas/conexion-de-las-placas-solares-tipos-y-puntos-a-tener-en-cuenta>
- [P8] Naranjo, V. H. (2020, mayo 6). CÓMO INTERPRETAR CORRECTAMENTE UN INVERSOR SOLAR. Venergi PWR. Recuperado 29 de abril de 2022, de <https://www.venergipwr.com/post/c%C3%B3mo-interpretar-correctamente-un-inversor-solar>
- [P9] Preciogas. (2021, 20 octubre). Potencias normalizadas y nuevos tramos de potencia, ¿cuál contratar? preciogas.com. Recuperado 29 de abril de 2022, de <https://preciogas.com/faq/factura-luz/potencias-normalizadas>



- [P10] Lamigueiro, O. P. (2020, septiembre). ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica. Github.io. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- [P11] Noguera, D. R. (2021, septiembre). Disseny D'una Planta Fotovoltaica D'autoconsum.
- [P12] ¿Qué son los cables monofásicos y trifásicos? (s. f.). El mundo de los cables de energía. <https://propol.wordpress.com/tag/que-es-un-cable-trifasico/>
- [P13] Elección del descargador de sobretensión en instalacion fotovoltaica conectada a red. (s. f.). Solarweb.net. <https://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-conectados-red/18138-eleccion-del-descargador-sobretension-instalacion-fotovoltaica-conectada-red.html>
- [P14] Protectores sobretensiones transitorias Tipo 2 PSM PV | Cirprotec. (s. f.). cirprotec.com. Recuperado 3 de mayo de 2022, de <http://www.cirprotec.com/es/Sobretensiones/Protectores-contra-sobretensiones-transitorias-DPS/Red-electrica-segun-IEC-carril-DIN/Tipo-2-Clase-II/Formato-desenchufable/PSM-PV>
- [P15] Protectores sobretensiones transitorias Tipo 2 PSM | Cirprotec. (s. f.). cirprotec.com. Recuperado 3 de mayo de 2022, de <http://www.cirprotec.com/es/Sobretensiones/Protectores-contra-sobretensiones-transitorias-DPS/Red-electrica-segun-IEC-carril-DIN/Tipo-2-Clase-II/Formato-desenchufable/PSM-40>
- [P16] Dmytro Melnytsky. (2015, abril). Instal·lació solar fotovoltaica connectada a xarxa de 1,1 MW de potencia.
- [P17] Tudel, M. (2011, abril). Energia solar fotovoltaica (N.º 4). Quadern pràctic.
- [P18] BOE.es - BOE-A-2000-17599 Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión. (2000). boe.es <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2000-17599>
- [P19] Martín, S. (2020, octubre). Modelado y estudio del impacto de sombras sobre paneles solares fotovoltaicos. Universidad Nacional de Mar del Plata. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/441/MSilva-TFG-IEI-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [P20] ALIBAU, P. G. (2022, enero). Estudi i simulació dels efectes de l'ombrejat en un conjunt de mòduls fotovoltaics i del seu comportament en funció de la temperatura i la radiació solar. GETI.

- [P21] Pérdidas por Sombras. (2019, 1 agosto). Eficiencia Energética. <https://certificacionenergetica.info/perdidas-por-sombras/>
- [P22] Documento Básico HE Ahorro de energía. (2009, abril).
- [P23] REBT Catalunya. (s. f.). mecfi.es: empresa de instalacion industrial en barcelona. Recuperado 1 de junio de 2022, de <https://mecfi.es/rebt-catalunya>
- [P24] Instal·lació generadora d'autoconsum amb compensació d'excedents fins a 15 kW en sòl urbanitzat. (s. f.). Departament d'Empresa i Treball. Recuperado 30 de mayo de 2022, de <https://empresa.gencat.cat/ca/tramits/tramits-temes/Installacio-generadora-dautoconsum-tipus-2-fins-a-15-kW-en-sol-urbanitzat?category=75236c7c-a82c-11e3-a972-000c29052e2c>
- [P25] Instal·lacions autoconsumidores abans de la publicació del RD 244/2019. (s. f.). Departament d'Empresa i Treball. <https://empresa.gencat.cat/ca/detalls/article/Installacions-autoconsumidores-abans-de-la-publicacio-del-RD-244-2019-compliment-DT1a-RD244#bloc1>
- [P26] Garantia econòmica per sol·licitar l'accés i connexió a la xarxa. (s. f.). Departament d'Empresa i Treball. [https://empresa.gencat.cat/ca/treb\\_ambits\\_actuacio/energia-i-mines/energia-electrica/produccio-regim-especial/garantia-solicitud-acces-xarxa/](https://empresa.gencat.cat/ca/treb_ambits_actuacio/energia-i-mines/energia-electrica/produccio-regim-especial/garantia-solicitud-acces-xarxa/)
- [P27] BOE.es - BOE-A-2019-5089 Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. (2019, 5 abril). boe.es. Recuperado 5 de junio de 2022, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244>

## 6.2. Bibliografia Taules i Figures

- [I1] Equinoccio 5. (2019, 20 marzo). Sintesis Nacional. Recuperado 4 de marzo de 2022, de <https://sintesis.com.mx/2019/03/20/equinoccio-primavera-macrocosmos/equinoccio-5/>
- [I2] Barcelona, E. P. (2019, 5 marzo). Horizonte y correccion altura 2. Escola Port - Aula Náutica. Recuperado 4 de marzo de 2022, de <https://aulanautica.org/unit/calculo-de-navegacion-capitan-yate/horizonte-y-correccion-altura-2-2/>
- [I3] Múnera, S. D. (2020). DISEÑO DE SISTEMAS SOLARES PARA MICRO-REDES. Universidad de Antioquia. Recuperado 16 de marzo de 2022, de

<https://docplayer.es/209098941-Diseno-de-sistemas-solares-para-micro-redes-steven-diaz-munera.html>

- [14] Las Ventajas de los Seguidores Solares. (2015, 20 julio). Valldoreix Greenpower. Recuperado 19 de marzo de 2022, de <http://www.valldoreix-gp.com/las-ventajas-de-los-seguidores-solares/>
- [15] Noguera, D. R. (2021, septiembre). Disseny D'una Planta Fotovoltaica D'autoconsum.
- [16] La Historia De Los Paneles Solares Que No Conocías. (2020, 4 diciembre). RSOLAR. Recuperado 2 de mayo de 2022, de <https://rsolar.com.mx/la-historia-de-los-paneles-solares-que-no-conocias/>
- [17] Tipos de células fotovoltaicas y sus paneles. (2018, diciembre 18). HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/tipos-de-celulas-fotovoltaicas-y-sus-paneles/>
- [18] Dazne, A. (2019, 30 julio). Paneles fotovoltaicos con doble cara, de bSolar. IS-ARquitectura. Recuperado 27 de abril de 2022, de <https://blog.is-arquitectura.es/2012/07/08/paneles-fotovoltaicos-con-doble-cara-de-bsolar/>
- [19] La importancia del regulador de carga en una instalación fotovoltaica. (s. f.). autosolar.es. Recuperado 5 de mayo de 2022, de <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/la-curva-de-intensidad-voltaje-y-la-de-potencia-voltaje-de-un-panel-solar-el-papel-del-regulador-de-carga>
- [110] Belda, F. L. (2013). Entrenador de una instalación fotovoltaica real a escala. Universidad Politecnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/34589/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [111] Tipos de conexión de los paneles solares y qué tener en cuenta. (s. f.). AutoSolar.es. Recuperado 18 de abril de 2022, de <https://autosolar.es/placas-fotovoltaicas/conexion-de-las-placas-solares-tipos-y-puntos-a-tener-en-cuenta>
- [112] Aplitech Energy. (2020, 6 diciembre). APLITECH ENERGY. Recuperado 16 de mayo de 2022, de <https://www.aplitech-energy.com/>
- [113] Requisitos para la conexión de CC. (s. f.). sma.de. Recuperado 28 de mayo de 2022, de <https://manuals.sma.de/SBxx-1AV-41/es-ES/391157771.html>

- [I14] TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K. (2021).  
[https://www.aunadistribucion.com/uploads/renovables/fichas-tecnicas/172928\\_5601004rr100-top-ft.pdf](https://www.aunadistribucion.com/uploads/renovables/fichas-tecnicas/172928_5601004rr100-top-ft.pdf)
- [I15] Ministerio de Ciencia y Tecnología. (2002, septiembre). Guía técnica de aplicación: Instalaciones Interiores o Receptoras ITC-BT-19 (N.º 1).  
[http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/Guia\\_Tecnica\\_REBT/guia\\_bt\\_19\\_sep03R1.pdf](http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/Guia_Tecnica_REBT/guia_bt_19_sep03R1.pdf)
- [I16] UNE 20460-4-43:2003 Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 4: Protección para garantizar la seguridad. Capítulo 43: Protección contra las sobretensiones.
- [I17] Ministerio de Ciencia y Tecnología. (2002, septiembre). Instalaciones de puesta a tierra. ITC-BT-18 (N.º 1).  
[https://www.radiansa.com/docs/ITC\\_BT\\_18.pdf](https://www.radiansa.com/docs/ITC_BT_18.pdf)
- [I18] ALIBAU, P. G. (2022, enero). Estudi i simulació dels efectes de l'ombregat en un conjunt de mòduls fotovoltaics i del seu comportament en funció de la temperatura i la radiació solar. GETI.
- [I19] Martín, S. (2020, octubre). Modelado y estudio del impacto de sombras sobre paneles solares fotovoltaicos. Universidad Nacional de Mar del Plata.  
<http://rinf.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/441/MSilva-TFG-IEI-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [I20] Vinturini, M. (2022, 4 mayo). Diodos de bypass e hot spots dos módulos fotovoltaicos. Canal Solar. Recuperado 26 de mayo de 2022, de <https://canalsolar.com.br/diodos-de-bypass-e-hot-spots-dos-modulos-fotovoltaicos/>
- [I21] DS Nueva Energía. (2021, 29 junio). Diodo de derivación de la caja de conexiones fotovoltaicas para la protección del panel solar - Conocimiento - DS New Energy. Recuperado 26 de mayo de 2022, de <https://www.dsiosolar.com/info/pv-junction-box-s-bypass-diode-for-solar-panel-54221810.html>
- [I22] Documento Básico HE Ahorro de energía. (2009, abril).
- [I23] REBT Catalunya. (s. f.). mecfi.es: empresa de instalacion industrial en barcelona. Recuperado 1 de junio de 2022, de <https://mecfi.es/rebt-catalunya>

### 6.3. Bibliografia Normatives consultades

Instruccions tècniques complementaries (ITC) del REBT 2002 publicades en el suplemento del BOE núm. 224 del 18/11/02.

Ahorro de energía. (s. f.). Código Técnico de la Edificación. <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>.

Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.

Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.

Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.

Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana

Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.

Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

UNE 21123-4:2017 Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV. Parte 4: Cables con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de poliolefina.

UNE-EN 50267-2-1:1999 Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego.

UNE-EN 50265-2-1:1999 Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego.

UNE-EN 60754-1:2014/A1:2021 Ensayo de los gases desprendidos durante la combustión de materiales procedentes de los cables.

UNE-EN 50266-1:2001 Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego.

UNE-EN 61034-2:2005 Medida de la densidad de los humos emitidos por cables en combustión bajo condiciones definidas.

UNE-EN 50267-2-2:1999 Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego.

UNE-EN 60811-2-1:1996 Métodos de ensayo comunes para materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos.

UNE-EN ISO 489:2000 Plásticos.

IEC 62548:2016 Photovoltaic (PV) arrays - Design requirements.

UNE-HD 60364-5-52:2014 Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5-52: Selección e instalación de equipos eléctricos.

UNE-HD 60364-5-534:2016 Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5-53: Selección e instalación de equipos eléctricos. Aislamiento, conmutación y control. Capítulo 534: Dispositivos de protección contra sobretensiones.

UNE 20460-4-43:2003 Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 4: Protección para garantizar la seguridad. Capítulo 43: Protección contra las sobreintensidades.

UNE-EN 60947-2:2018 Aparata de baja tensión. Parte 2: Interruptores automáticos.

UNE-EN 61008-1:2013 Interruptores automáticos para actuar por corriente diferencial residual, sin dispositivo de protección contra sobreintensidades, para usos domésticos y análogos.

UNE 20460-5-54:1990 Instalaciones eléctricas en edificios. Elección e instalación de los materiales eléctricos. Puesta a tierra y conductores de protección.

UNE 20460-3:1996 Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 3: Determinación de las características generales.