

## **Treball final de màster**

**Estudi: Màster en Enginyeria Industrial**

**Títol: Adaptació d'una instal·lació solar fotovoltaica per a la cobertura de talls del subministrament elèctric en una escola d'Etiòpia.**

**Document:** Memòria i annexos

**Alumne:** Carles Adell Puigdevall

**Tutor:** Alexandre Deltell Carbonell

**Departament:** EMCI

**Àrea:** MMT

**Convocatòria (mes/any):** Juny 2020

## **AGRAÏMENTS**

En primer lloc vull mostrar el meu agraïment a l'impulsor del projecte, Dr. Jesús Planella, així com la Dra. Marianna Soler, per haver-me donat aquesta gran oportunitat, per tota l'ajuda i per haver dipositat la seva confiança en mi en tot moment. Els dos van ser excel·lents companys de viatge.

A en Joan Pujolar, gerent de l'empresa SolarCasa Energy, no tant sols per tot el que ha aportat al projecte sinó també per estar sempre disponible i ajudar-me amb els dubtes tècnics que m'han sorgit durant la realització d'aquest treball.

També vull agrair a en Gashaw, la seva ajuda en el muntatge de la instal·lació, les seves atencions i la seva paciència. Així com a en Paul, les seves gestions i el seu bon humor. Sense ells no hagués estat possible l'execució del projecte.

Vull agrair a Alexandre Deltell, tutor del projecte, la seva ajuda a l'hora d'enfocar aquest treball i el seu recolzament durant tot el transcurs del treball, donant ràpides respostes i correccions a tot el que li he anat presentant.

Finalment, vull agrair a la meva família tot el suport que sempre m'han donat i en especial als meus pares ja que sense ells res d'això hagués estat possible. També vull mostrar el meu agraïment als meus companys i companyes de casa.

## ÍNDEX

|  |    |
|--|----|
| 1. Introducció .....   | 5  |
| 1.1. Antecedents .....   | 5  |
| 1.2. Objecte.....  | 5  |
| 1.3. Abast.....  | 5  |
| 2. Anàlisi de la instal·lació pre-existent .....                     | 6  |
| 2.1. Emplaçament .....   | 6  |
| 2.2. Descripció de la instal·lació .....                             | 7  |
| 2.3. Components de la instal·lació.....                              | 10 |
| 2.3.1. Panells solars .....  | 10 |
| 2.3.2. Inversor.....   | 12 |
| 2.3.3. Comptador d'energia i sistema de monitorització .....         | 14 |
| 2.3.4. Cablejat i proteccions elèctriques.....                       | 15 |
| 2.3.5. Resum de la instal·lació existent.....                        | 16 |
| 2.4. Càlcul de producció.....  | 18 |
| 2.4.1. Obtenció de les dades de radiació solar .....                 | 18 |
| 2.4.2. Càlcul de la producció a partir de les dades de radiació..... | 22 |
| 3. Estudi energètic (anàlisi de consums).....                        | 26 |
| 3.1. Metodologia.....  | 26 |
| 3.1.1. Obtenció de les dades .....                                   | 26 |
| 3.1.2. Tractament de les dades.....                                  | 28 |
| 3.2. Resultats i conclusions .....                                   | 30 |
| 3.2.1. Talls de subministrament elèctric .....                       | 30 |
| 3.2.2. Anàlisi del consum i obtenció de les corbes diàries.....      | 31 |
| 3.2.3. Estimació d'excedents .....                                   | 33 |
| 4. Disseny del sistema híbrid amb bateries .....                     | 36 |
| 4.1. Concepte i definició del sistema .....                          | 36 |
| 4.2. Inversor/carregador .....                                       | 38 |

---

|   |    |
|---|----|
| 4.3. Bateries .....   | 41 |
| 4.3.1. Requisits previs per al dimensionament .....   | 41 |
| 4.3.2. Càlcul de la capacitat necessària .....  | 42 |
| 4.3.3. Justificació del model elegit .....  | 43 |
| 4.3.4. Càlcul del temps de vida útil de les bateries.....   | 45 |
| 4.3.5. Càlcul del temps de recàrrega de les bateries a partir de l'excedent fotovoltaic i la<br>xarxa.....  | 46 |
| 4.4. Cablejat i proteccions .....   | 48 |
| 4.4.1. Cablejat .....   | 48 |
| 4.4.2. Proteccions .....  | 50 |
| 4.4.3. Resum de la instal·lació .....   | 52 |
| 5. Anàlisi econòmica .....  | 53 |
| 5.1. Metodologia.....   | 53 |
| 5.1.1. Introducció .....  | 53 |
| 5.1.2. Paràmetres per a l'anàlisi econòmica.....  | 54 |
| 5.2. Resultats .....  | 56 |
| 5.2.1. Estudis econòmics dels projectes amb les condicions d'Etiòpia .....  | 56 |
| 5.2.2. Estudis econòmics d'una instal·lació amb les mateixes característiques que la de<br>l'escola Abay Mado, però implementada a l'estat espanyol ..... | 57 |
| 5.3. Pressupost .....   | 59 |
| 6. Conclusions .....  | 60 |
| 7. Relació de documents .....   | 61 |
| 8. Bibliografia.....  | 62 |
| A. Càlcul estimatiu de les pèrdues del sistema fotovoltaic.....   | 66 |
| B. Paràmetres i definicions de les bateries.....  | 68 |
| C. Anàlisis econòmiques – Etiòpia.....  | 71 |
| D. Anàlisis econòmiques – Espanya – Sense compensació d'excedents.....  | 74 |
| E. Anàlisis econòmiques – Espanya – Amb compensació d'excedents.....  | 77 |
| F. Esquema unifilar .....   | 83 |
| G. Documentació tècnica dels components .....   | 84 |

## 1. INTRODUCCIÓ

### 1.1. Antecedents

Aquest Treball Final de Màster (TFM) està vinculat al Projecte de Cooperació “*Projecte Abay Mado 2019: Noves metodologies per a l'aprenentatge competencial a l'escola rural d'Abay Mado (Bahir Dar, Etiòpia)*”, promogut pel Departament de Física de l'Escola Politècnica Superior de la UdG i cofinançat per l'Oficina de Cooperació de la UdG.

El Projecte de Cooperació ha volgut treballar conjuntament amb l'escola d'Abay Mado situada a la ciutat de Bahir Dar (Etiòpia). Una part d'aquest Projecte de Cooperació ha consistit en implementar una instal·lació solar fotovoltaica per tal de millorar la qualitat del seu subministrament elèctric i impulsar les energies renovables.

Aquest treball neix després d'haver participat a la primera fase del projecte al gener del 2020, en la qual es va fer el muntatge de la instal·lació fotovoltaica i es va poder conèixer de primera mà l'escola i les persones que hi treballen. El present projecte proposa una segona fase, en la que es fa l'estudi d'una solució partint del sistema instal·lat i la informació que aquest aporta.

### 1.2. Objecte

El present projecte pretén estudiar la viabilitat i donar una resposta tecnològica a un problema comú com és els talls de subministrament elèctric provinent de la xarxa pública. Com la majoria de sistemes fotovoltaics, el sistema ja instal·lat a l'escola deixa de subministrar energia quan hi ha un tall de llum. L'inversor es para per una qüestió de seguretat, doncs en el cas que l'inversor deixés anar energia a la xarxa i un operari hi estigués treballant donant per fet que aquesta està tallada, podria electrocutar-se.

Mitjançant l'estudi energètic de l'escola, es vol dissenyar una solució a mida per tal que es puguin suplir els talls d'electricitat a través d'un sistema d'emmagatzematge amb bateries.

### 1.3. Abast

L'abast del projecte inclou:

- Càlcul del potencial de generació elèctrica de la instal·lació fotovoltaica existent.
- Anàlisi del consum energètic de l'escola i dels talls de subministrament elèctric
- Estudi de solucions existents i tipologies d'instal·lació
- Dimensionament de la instal·lació (elements, conductors i proteccions corresponents)
- Anàlisi econòmica

## 2. ANÀLISI DE LA INSTAL·LACIÓ PRE-EXISTENT

### 2.1. Emplaçament

El sistema fotovoltaic està instal·lat a l'escola d'Abay Mado (Abay Mado Catholic Academy School), a la ciutat de Bahir Dar, capital de la regió Amhara situada al nord-est d'Etiòpia. La ciutat està a 1.840 metres sobre el nivell del mar. En aquesta regió la temperatura durant tot l'any és bastant estable, durant al dia arriben a uns 25-30°C i per la nit uns 15-20°C. Es distingeixen dues èpoques a l'any, una seca i una de pluges. L'època plujosa va des de maig-juny fins a setembre-octubre.

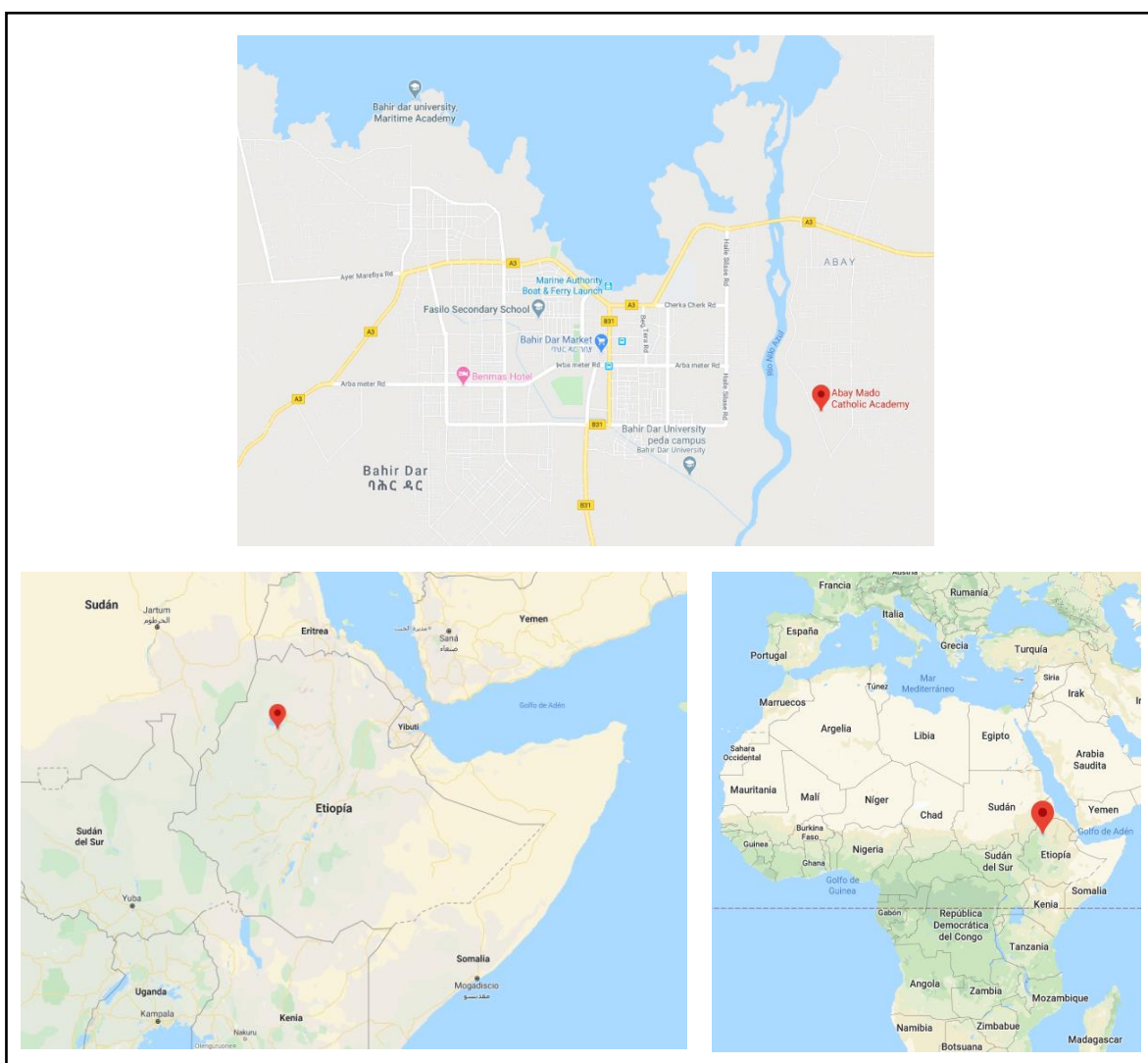


Figura 1. Emplaçament de l'escola a on es situa la instal·lació fotovoltaica

Dins l'escola, els panells solars estan col·locats a una zona del pati exterior, a uns 25m a l'est de l'edifici. La zona està lliure de ombres. L'inversor està situat a un petit magatzem al costat del comptador.



Figura 2. Imatge aèria de l'escola. Ubicació dels panells marcada en vermell.

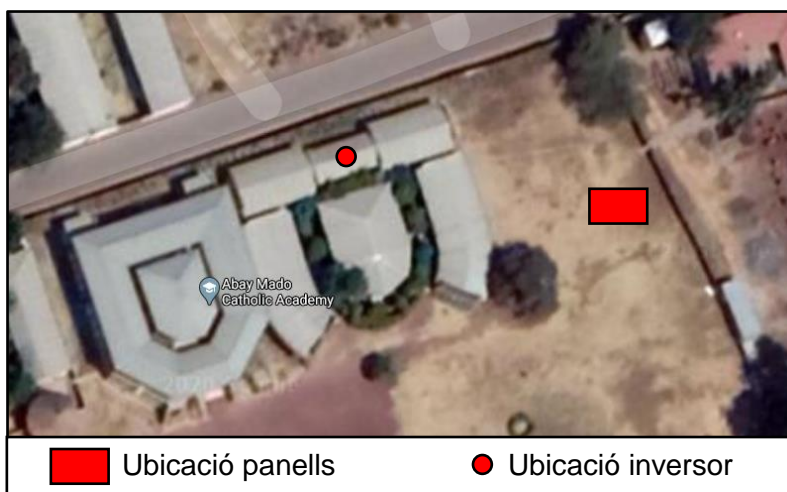


Figura 3. Ampliació de la imatge aèria amb la ubicació dels panells i l'inversor.

## 2.2. Descripció de la instal·lació

En aquest apartat es farà una descripció general del tipus de sistema instal·lat a l'escola d'Abay Mado i els diferents components. Per tal de contextualitzar i que sigui possible una millor comprensió, es fa una explicació de les diferents tipologies de sistemes fotovoltaics així com una explicació dels aspectes bàsics que cal conèixer de cada component.

De forma molt general, es poden diferenciar dos grans tipus d'instal·lacions fotovoltaiques: les instal·lacions fotovoltaiques aïllades i les que estan connectades a la xarxa. En el cas de les primeres, és imprescindible un sistema de bateries per emmagatzemar l'energia produïda pels panells, mentre que en les que estan connectades a la xarxa el sistema de bateries no és

necessari, doncs la xarxa seria la que actuaria com una gran bateria que proveeix energia a la nit i també quan el sistema fotovoltaic no és capaç d'aportar tota l'energia necessària.

Dins les instal·lacions connectades a la xarxa, es poden diferenciar dos grans tipus: les instal·lacions d'autoconsum i aquelles que són per a venda a la xarxa. Aquestes últimes solen ser grans instal·lacions fotovoltaiques productores d'electricitat per vendre a la xarxa elèctrica pública, mentre les instal·lacions d'autoconsum són instal·lacions més reduïdes i per a la producció d'electricitat pel propi consum.

En el cas del sistema instal·lat a l'escola d'Abay Mado, es tracta d'una instal·lació connectada a la xarxa per a l'autoconsum. A continuació es descriuen els principals components d'aquests tipus d'instal·lacions i aquests es poden veure a la Figura 4.

- **Mòduls fotovoltaics:** generen energia elèctrica en rebre radiació del sol.
- **Inversor:** transforma l'energia elèctrica en corrent contínua (CC) provinent dels mòduls en corrent alterna (CA).
- **Comptador d'energia:** mesura l'energia provinent de la xarxa i envia les dades al sistema de monitorització.
- **Cablejat i proteccions elèctriques.**
- **Sistema de monitorització:** permet visualitzar les dades de la instal·lació a temps real a través d'internet. En aquest cas tant l'inversor com el comptador d'energia van connectats a internet via cable Ethernet a través d'un *switch*.

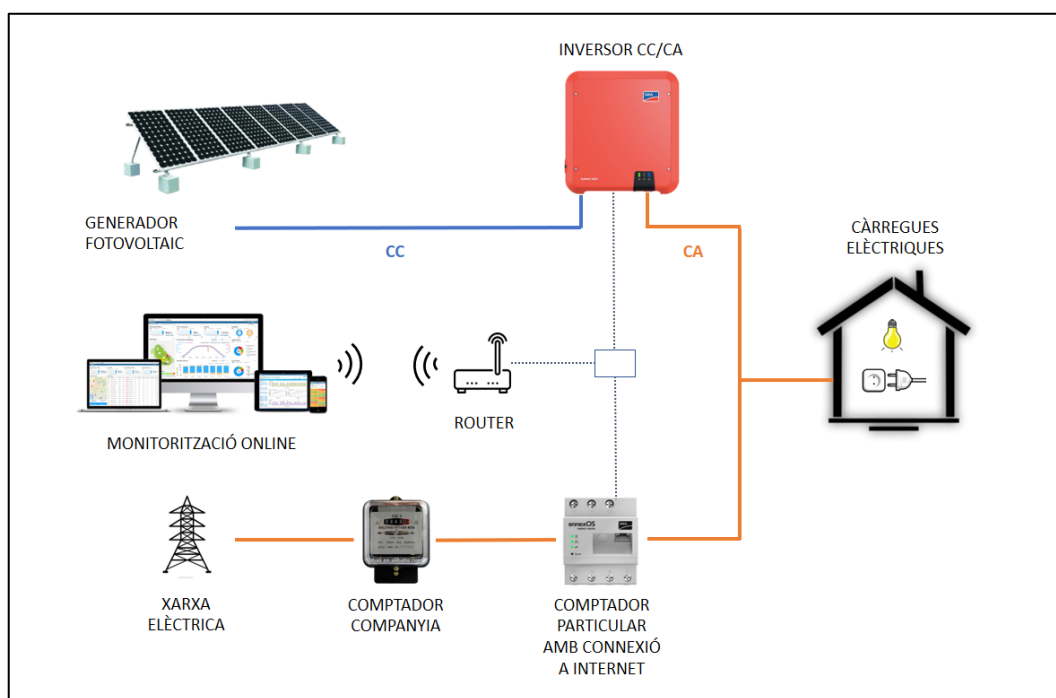


Figura 4. Esquema de la instal·lació fotovoltaica de l'escola d'Abay Mado amb els diferents components



Els sistemes d'autoconsum solen estar dimensionats en funció del consum elèctric de l'edifici on estigui instal·lat. Aquest edifici sol ser una casa, empresa, escola o centre públic. Com que tant el consum elèctric com la producció fotovoltaica variarà en funció de diversos factors, per molt ben dimensionat que estigui el sistema, la producció fotovoltaica i el consum elèctric mai estaran completament sincronitzats pel que a través de la xarxa caldrà regular l'excedent o falta d'energia.

En els moments en els que el sistema fotovoltaic no pugui generar prou energia com per a subministrar l'edifici, caldrà extreure l'energia que falti de la xarxa. En canvi, en altres moments en que la producció fotovoltaica sigui major al consum elèctric de l'edifici s'estarà generant un excedent d'energia que caldrà gestionar.

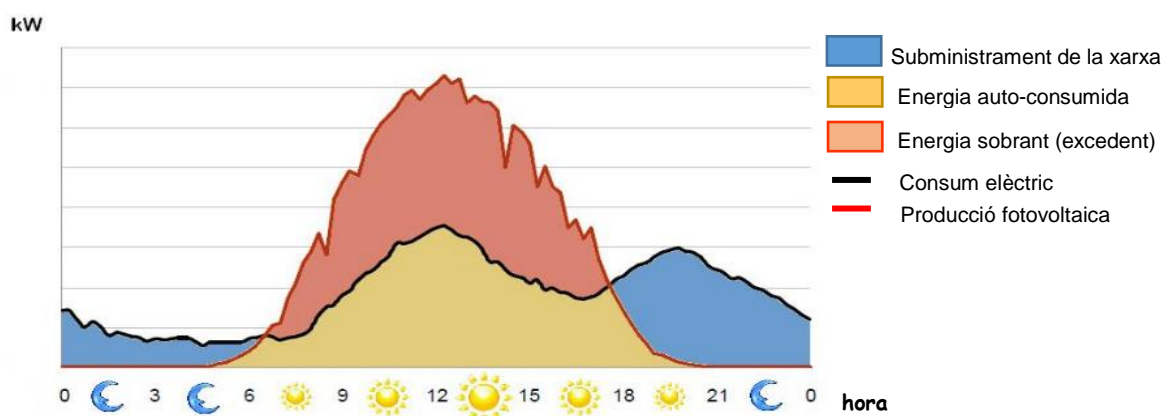


Figura 5. Gràfica de consum elèctric i producció fotovoltaica típica d'una instal·lació d'autoconsum.

En cas que es disposi d'un sistema de bateries l'excedent que es generi serviria per carregar-les, mentre que si no es disposa d'un sistema d'emmagatzematge (com és el cas) aquest excedent generat només pot ser injectat a la xarxa.

Hi ha determinats països que permeten injectar aquest excedent a la xarxa pública i fins i tot la companyia compensa econòmicament per aquesta energia alliberada a la xarxa. En canvi, en altres països (entre ells Espanya, fins a l'octubre de 2018) no es permet la injecció o és complicada administrativament. En aquests casos és convenient utilitzar un sistema d'injecció zero, a través del qual es regula la producció fotovoltaica per tal que sempre s'ajusti al consum de l'edifici i no es generi excedent que s'injecti a la xarxa.

Etiòpia és un d'aquests països on no està permès injectar l'energia sobrant a la xarxa. Probablement el motiu sigui perquè els sistemes d'autoconsum, ja sigui mitjançant fotovoltaica o altres tecnologies, no estan prou estesos com per a què la companyia elèctrica del país hagi considerat aquesta opció. Per tant ni a nivell legislatiu ni els comptadors utilitzats arreu del país ho permeten, ja que els comptadors són unidireccionals i si s'injecta energia a la xarxa

comencen a comptar enrere, pel que es podria donar el cas que durant un determinat període el consum elèctric de l'edifici sortís negatiu.

## 2.3. Components de la instal·lació

### 2.3.1. Panells solars

Els panells solars o mòduls fotovoltaics són els que capten la radiació solar i la transformen en energia elèctrica en corrent continu. Estan formats per un conjunt de cel·les fotovoltaïques, que són dispositius electrònics formats per materials semiconductors que permeten generar electricitat a partir de la radiació solar, mitjançant l'efecte fotovoltaic.

El comportament de les cel·les fotovoltaïques es representa mitjançant la corba I-V. Aquesta corba mostra els diferents punts als quals pot treballar la cel·la amb la relació entre la intensitat i el voltatge. Donat que un mòdul fotovoltaic no deixa de ser un conjunt de cel·les interconnectades entre elles, també s'utilitzen les corbes I-V per a descriure el comportament dels mòduls fotovoltaics.

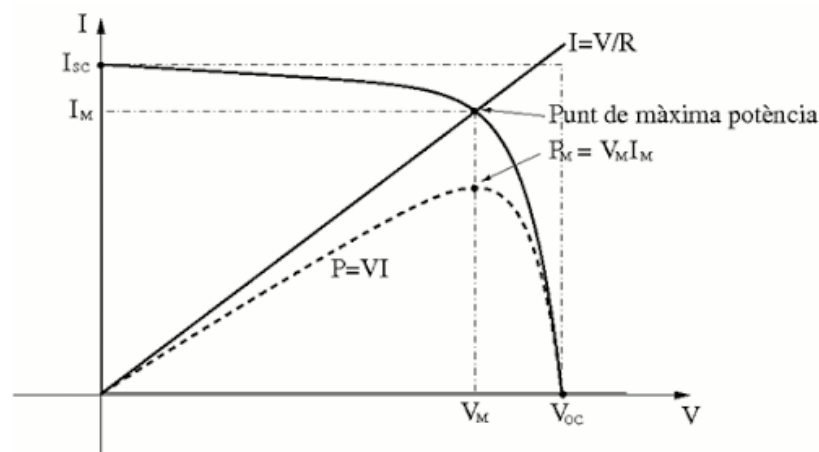


Figura 6: Corba I-V d'una cel·la fotovoltaica (Font: Institut Català de l'Energia)

En cada corba I-V s'hi defineixen una sèrie de punts característics importants a l'hora de comprendre qualsevol fulla de característiques d'un mòdul fotovoltaic.

- **Intensitat de curt-circuit ( $I_{sc}$ ):** màxima corrent generada per la cel·la o mòdul fotovoltaic. Es produeix quan el circuit extern no té resistència i per tant la diferència de voltatge és zero.
- **Voltatge de circuit obert ( $V_{oc}$ ):** màxim voltatge generat per la cel·la o mòdul fotovoltaic. Es produeix quan no es connecta cap circuit i per tant la intensitat és nul·la.

- **Punt de màxima potència (Pmp):** és la potència màxima que pot donar el mòdul i per tant és el punt on es desitja que treballi el mòdul, per extreure'n el màxim rendiment. És el producte de  $I_{mp}$  i  $V_{mp}$ .
- **Intensitat de màxima potència (Imp):** intensitat generada per la cel·la o mòdul fotovoltaic corresponent al punt de màxima potència.
- **Voltatge de màxima potència (Vmp):** voltatge en el punt de màxima potència.

Els diferents valors i característiques del panell varien en funció de factors externs com la radiació o temperatura, entre altres. És per això que els fabricants solen indicar les característiques sota unes condicions estàndard anomenades *STC (Standard Test Conditions)*. Aquestes condicions són les següents:

- Irradiància solar de  $1000 \text{ W/m}^2$ .
- Temperatura de la cel·la a  $25^\circ\text{C}$ .
- AM1.5 (espectre radio-magnètic que s'obté del traspàs de la radiació per un volum d'aire equivalent a un cop i mig l'atmosfera perpendicular al Sol).

D'aquí en sorgeix el concepte de potència pic i Watt-pic (Wp). La potència pic d'un panell fotovoltaic fa referència a la màxima potència que oferirà el panell sota condicions estàndard (STC) i el seu valor s'indica utilitzant la unitat Watt-pic (Wp).

En el cas de la instal·lació de l'Escola d'Abay Mado, hi ha un total de 11 mòduls fotovoltaics instal·lats, de 390 Wp cadascun. Per tant la potència total instal·lada és de 4.290 Wp. Els mòduls fotovoltaics instal·lats són el model SR-M672390HL de la marca SUNRISE SOLAR. A continuació es mostren les característiques principals.

| Característiques panell             | Model SR - M672390HL (STC)              |
|-------------------------------------|---|
| Eficiència                          | 19.39 %                                 |
| Potència màxima (Pmax)              | 390 W                                   |
| Voltatge en circuit obert (Voc)     | 49.17 V                                 |
| Intensitat de curt-circuit (Isc)    | 10.17 A                                 |
| Voltatge de Màxima Potència (Vmp)   | 41.13 V                                 |
| Intensitat de màxima Potència (Imp) | 9.49 A                                  |
| Tipus de cel·la                     | Silici Monocristal·lí (158.75x79.375mm) |
| Nombre de cel·les                   | 144 (6x24)                              |
| Màxim voltatge del sistema          | 1000 VDC                                |
| Coeficient de Temperatura del Voc   | -0.35 %/°C                              |
| Coeficient de Temperatura de la Isc | 0.05 %/°C                               |
| Coeficient de Temperatura de la Pm  | -0.45 %/°C                              |
| Temperatura d'operació              | -40 a 85 °C                             |
| Màxim Fusible per Sèrie             | 15 A                                    |

Taula 1. Característiques principals dels panells instal·lats al sistema fotovoltaic de l'escola d'Abay Mado.

Els panells estan disposats sobre una estructura metàl·lica fixada al terra, que els hi dóna una inclinació de 10° i orientació directament a Sud. L'estructura està feta a base de perfils d'acer inoxidable, i fixats amb morter.



Figura 7. Fotografia dels panells instal·lats a l'escola d'Abay Mado.

### 2.3.2. Inversor

L'inversor és el component que transforma l'energia en corrent contínua (CC) provinent del generador fotovoltaic en corrent alterna (CA). Hi ha diferents tipus d'inversors en funció de diversos factors. Segons el tipus de sistema fotovoltaic es diferencien els inversors en funció de si són per instal·lacions aïllades o connectades a la xarxa. Segons el tipus de xarxa elèctrica existeixen els inversors monofàsics o trifàsics.

Actualment la majoria d'inversors de connexió a xarxa tenen incorporat el regulador MPPT. Aquest és el dispositiu encarregat de fer treballar els panells al seu punt de màxima potència. Existeixen diverses tecnologies per a fer aquesta regulació, però la més estesa és la MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) pel qual a través d'un algorisme pel qual ajusta el voltatge provinent dels panells per tal de fer-los treballar al seu punt de màxima potència.

L'inversor incorporat a la instal·lació de l'escola d'Abay Mado és el model *Sunny Boy 4.0* de la marca *SMA*. A la Taula 2 es mostren les principals característiques elèctriques. L'inversor està ubicat a la sala de material, mostrada a la Figura 8. Aquesta sala és adequada perquè disposa de la ventilació suficient requerida per l'aparell i no hi té accés l'alumnat. A la Figura 9 es mostra una fotografia de l'inversor instal·lat.

| <b>Característiques inversor</b>                                       | <b>Model SMA Sunny Boy 4.0</b> |
|--|--------------------------------|
| ENTRADA (CC)   |                                |
| Potència màxima del generador FV                                       | 7500 Wp                        |
| Tensió màxima d'entrada  | 600 V                          |
| Rang de tensió del MPP   | 140 V – 500 V                  |
| Tensió nominal d'entrada   | 365 V                          |
| Tensió d'entrada min./ Tensió d'inici                                  | 100 V / 125 V                  |
| Intensitat màx. d'entrada (pels 2 MPP)                                 | 15 A                           |
| Intensitat màx. d'entrada per <i>string</i>                            | 15 A                           |
| Nombre d'entrades MPP independents / <i>Strings</i> per entrada de MPP | 2 / A:2; B:2                   |
| SORTIDA (CA)   |                                |
| Potència nominal (230V, 50Hz)  | 4000 W                         |
| Potència màx. aparent de CA  | 4000 VA                        |
| Rang de tensió   | 180 V – 280 V                  |
| Rang de freqüència de xarxa  | + - 5 Hz                       |
| Intensitat màxima de sortida   | 22 A                           |
| RENDIMENT MÀX / EUROPEU  | 97.0 % / 96.5 %                |

Taula 2. Característiques principals de l'inversor instal·lat a l'escola d'Abay Mado.

És comú instal·lar un inversor de potència nominal lleugerament inferior a la potència pic del generador fotovoltaic, com és el cas (4 kW respecte 4,29 kWp). Això és degut a que el generador fotovoltaic no acabarà mai donant la seva potència pic (o és molt difícil) degut a que no es compleixen les condicions estàndard: o hi ha menys radiació, o no està òptimament orientat, o la temperatura és major (en aquests casos disminueix el rendiment del mòdul), etc. A més, sempre hi haurà pèrdues addicionals per cablejat. És per això que sovint es sobredimensiona lleugerament el generador fotovoltaic respecte l'inversor.



*Figura 8. Sala a on està ubicat l'inversor.*



*Figura 9. Fotografia de l'inversor instal·lat a l'escola d'Abay Mado.*

### **2.3.3. Comptador d'energia i sistema de monitorització**

El comptador d'energia o *energy meter* és l'element que permet mesurar l'energia que prové de la xarxa, o s'injecta a ella. En aquest cas l'*energy meter* instal·lat també és de la marca SMA. Disposa d'un port Ethernet per a comunicar aquests valors a través d'internet i permetre que es puguin veure a través de la plataforma web de SMA (Sunny Portal).



A través de la plataforma web Sunny Portal es pot tenir accés a les dades que registra el comptador d'energia i també a totes les dades de l'inversor. L'inversor registra l'energia produïda pels panells fotovoltaics així com els diferents paràmetres elèctrics, tant del generador fotovoltaic com de la xarxa.



Figura 10. Comptador d'energia (energy meter) de la marca SMA, model instal·lat a l'escola d'Abay Mado.

#### 2.3.4. Cablejat i proteccions elèctriques

La instal·lació disposa de tots els elements de seguretat elèctrica tant per a la instal·lació com per a les persones. Abans de connectar-se a l'inversor, els panells passen pels fusibles, que protegeixen l'inversor en cas de produir-se una sobre-intensitat. També hi ha instal·lada protecció contra sobre-tensions que protegiria la instal·lació en cas que un llamp entrés a través dels panells.



Figura 11. Fotografia de la caixa de proteccions de CC de la instal·lació de l'escola d'Abay Mado.

A l'altra banda de l'inversor (CA) es disposa de un interruptor diferencial seguit d'un magneto-tèrmic. El primer faria saltar el circuit en cas que detecti una fuga a terra, que pot ser produïda per una mala connexió o bé per alguna persona que rebi una descàrrega elèctrica. El magneto-tèrmic obrirà el circuit en cas que es produeixi una sobre-intensitat, per tal de protegir els elements de la instal·lació. Els dos són de 25A d'intensitat nominal, dimensionats per l'inversor de 4kW. La sensibilitat del diferencial és de 300mA.

El cable utilitzat és de 4mm<sup>2</sup> a tota la instal·lació. El cable que connecta els panells és cable solar, que disposa de doble aïllament per millorar la seva resistència a la intempèrie i temperatures extremes.

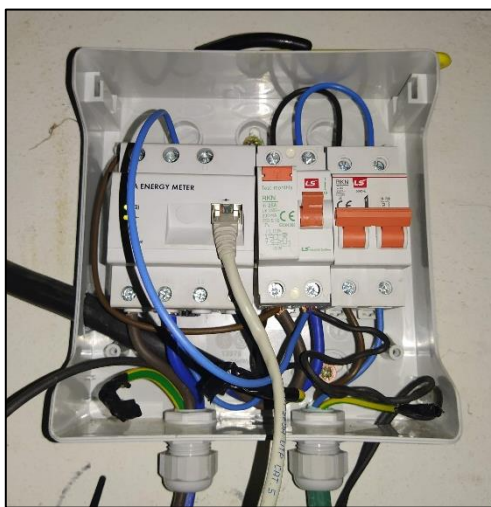


Figura 12. Fotografia de la caixa de proteccions CA de la instal·lació de l'escola d'Abay Mado.

### 2.3.5. Resum de la instal·lació existent

A continuació es fa un resum de les característiques de la instal·lació existent a l'escola, així com dels seus components. S'il·lustra també amb alguns esquemes i fotografies.

|                          |                   |
|--------------------------|-------------------|
| <b>Nombre de panells</b> | 11                |
| <b>Potència nominal</b>  | 4.290 Wp          |
| <b>Model panells</b>     | SR- M672390HL     |
| <b>Inversor</b>          | SMA Sunny Boy 4.0 |
| <b>Inclinació</b>        | 10°               |
| <b>Orientació</b>        | SUD               |

Taula 3. Resum de les característiques principals de la instal·lació fotovoltaica de l'escola d'Abay Mado.



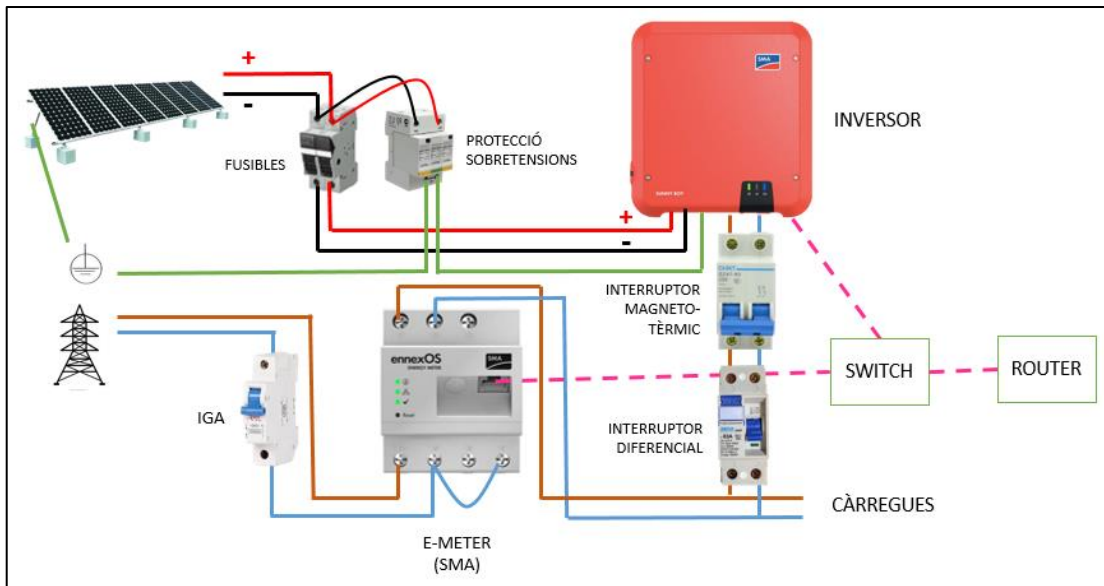


Figura 13. Esquema del sistema fotovoltaic instal·lat a l'escola d'Abay Mado.

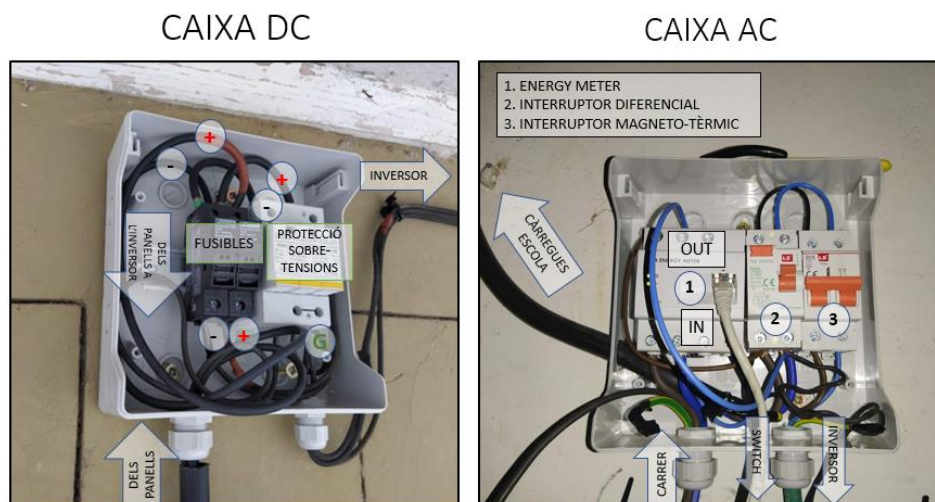


Figura 14. Fotografies de les caixes de protecció amb indicacions del connexionat corresponents.

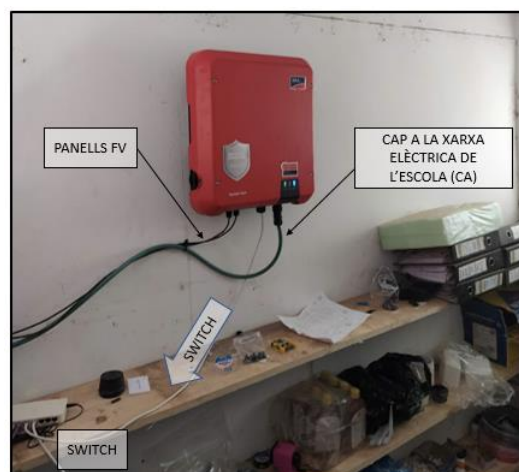


Figura 15. Connexionat de l'inversor.

## 2.4. Càlcul de producció

### 2.4.1. Obtenció de les dades de radiació solar

Sabent les característiques de la instal·lació fotovoltaica existent a l'escola d'Abay Mado, es farà una estimació de la seva producció energètica. Per fer-ho s'utilitzarà l'eina PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*), que posa a disposició el Joint Research Center de la Comissió Europea.

PVGIS proveeix accés obert i gratuït a una base de dades relacionada amb la radiació i sistemes fotovoltaics. Entre elles incorpora totes les dades referents a la radiació solar, dades meteorològiques i estimació de la producció fotovoltaica. PVGIS disposa de les dades de tot Europa i Àfrica, així com una gran part d'Àsia i Amèrica.

Es pot accedir a les dades a través de l'eina de la seva pàgina web ([https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR)). A la Figura 16 es mostra l'aparença de l'aplicació web. L'eina permet obtenir diferents dades a la localització desitjada. En aquest cas s'utilitzaran les corbes diàries per cada mes, obtingudes a partir d'una mitjana dels diferents anys dels quals disposen dades.

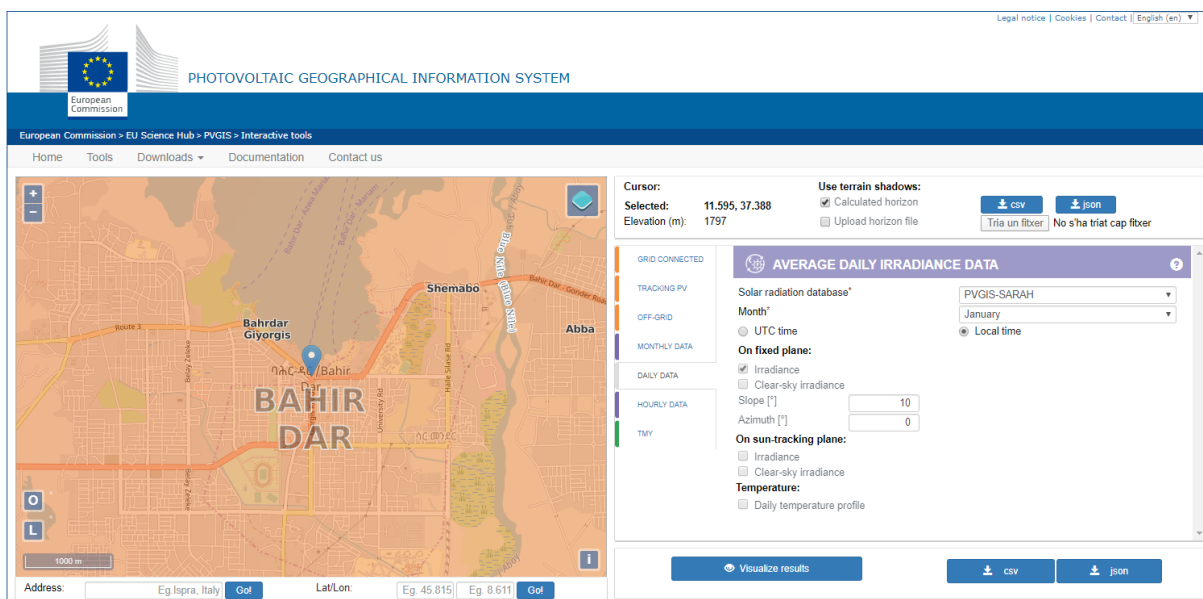


Figura 16. Panell de l'aplicació web PVGIS.

El PVGIS permet descarregar un arxiu en format csv amb les dades per cada mes. Aquest arxiu es pot tractar amb un full de càlcul i s'obté una taula amb les dades d'irradiància diàries del mes, com la que es mostra a la Taula 4.

| Column1   | Column2     | Column3 | Column4 | Column5 | Column6 | Column7 |
|---|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Latitude (decimal degrees):                       | 11.595      |         |         |         |         |         |
| Longitude (decimal degrees):                      | 37.388      |         |         |         |         |         |
| Radiation database:                               | PVGIS-SARAH |         |         |         |         |         |
| Results for:                                      | January     |         |         |         |         |         |
| Slope of plane (deg.):                            | 10          |         |         |         |         |         |
| Azimuth (orientation) of plane (deg.):            | 0           |         |         |         |         |         |
| time(UTC+3)                                       |             | G(i)    |         | Gb(i)   |         | Gd(i)   |
| 00:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 01:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 02:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 03:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 04:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 05:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 06:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 07:00   |             | 7.98    |         | 3.71    |         | 4.27    |
| 08:00   |             | 247.75  |         | 152.96  |         | 94.47   |
| 09:00   |             | 511.93  |         | 366.64  |         | 144.6   |
| 10:00   |             | 741.81  |         | 570.73  |         | 170.06  |
| 11:00   |             | 909.49  |         | 724.49  |         | 183.74  |
| 12:00   |             | 1000.55 |         | 812.2   |         | 186.96  |
| 13:00   |             | 1007.13 |         | 812.72  |         | 193.0   |
| 14:00   |             | 922.4   |         | 733.73  |         | 187.39  |
| 15:00   |             | 759.32  |         | 581.35  |         | 176.92  |
| 16:00   |             | 546.28  |         | 400.79  |         | 144.76  |
| 17:00   |             | 297.11  |         | 195.08  |         | 101.65  |
| 18:00   |             | 35.25   |         | 18.25   |         | 16.95   |
| 19:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 20:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 21:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 22:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| 23:00   |             | 0.0     |         | 0.0     |         | 0.0     |
| G(i): Global irradiance on a fixed plane (W/m2)   |             |         |         |         |         |         |
| Gb(i): Direct irradiance on a fixed plane (W/m2)  |             |         |         |         |         |         |
| Gd(i): Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m2) |             |         |         |         |         |         |
| PVGIS (c) European Communities, 2001-2020         |             |         |         |         |         |         |

Taula 4. Taula de dades d'irradiància obtinguda a partir de PVGIS.

La irradiància global ( $G(i)$ ) és la que s'utilitza, aquesta és la suma de la irradiància directe i la difusa. Per definició, la irradiància directe és la que arriba al terra sense ser atenuada per l'atmosfera mentre que la difusa és la que arriba al terra després de ser reflectida o dispersada per l'atmosfera. Es considera que la primera és la que arriba directe del Sol i la difusa és la que ve reflectida de tot el cel. La irradiància directe disminueix molt quan hi ha núvols, en aquest cas el valor que dona el PVGIS s'extreu de la mitjana de tots els dies del mes.

El tractat de les dades s'ha fet agafant les dades d'irradiància global de cada mes i ajuntant-ho en una única fulla de càlcul. A partir d'aquí s'han pogut calcular les dades màximes, mínimes i mitjana. I s'han pogut dibuixar les diferents corbes d'irradiància diària, mostrades a la Figura 17 i la Figura 18.

| Perfil diari d'irradiància Global G per cada mes |             |             |            |             |             |             |
|--|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| time(UTC+3)                                      | GEN         | FEB         | ...        | DES         | MIN         | MAX         |
| 00:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 01:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 02:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 03:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 04:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 05:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 06:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 07:00  | 8           | 11          | ...        | 46          | 8           | 95          |
| 08:00  | 248         | 255         | ...        | 301         | 157         | 343         |
| 09:00  | 512         | 522         | ...        | 552         | 329         | 595         |
| 10:00  | 742         | 767         | ...        | 762         | 527         | 806         |
| 11:00  | 909         | 945         | ...        | 912         | 684         | 954         |
| 12:00  | 1001        | 1042        | ...        | 982         | 755         | 1045        |
| 13:00  | 1007        | 1058        | ...        | 968         | 714         | 1058        |
| 14:00  | 922         | 977         | ...        | 870         | 568         | 977         |
| 15:00  | 759         | 819         | ...        | 704         | 410         | 819         |
| 16:00  | 546         | 600         | ...        | 486         | 269         | 600         |
| 17:00  | 297         | 344         | ...        | 231         | 150         | 344         |
| 18:00  | 35          | 83          | ...        | 1           | 0           | 83          |
| 19:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 20:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 21:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 22:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| 23:00  | 0           | 0           | ...        | 0           | 0           | 0           |
| <b>TOTAL</b>                                     | <b>6987</b> | <b>7423</b> | <b>...</b> | <b>6816</b> | <b>4570</b> | <b>7720</b> |

Taula 5. Mostra abreviada de la taula de dades obtinguda, en la que es mostren els valors horaris de la irradiància global per a cada mes.

A la Taula 6 es mostra la irradiància total diària màxima, mínima i mitjana.

| Irradiància Global total diària (W/m <sup>2</sup> ) |        |         |
|---|--------|---------|
| Mínima  | Màxima | Mitjana |
| 4.730   | 7.423  | 6.340   |

Taula 6. Valors d'irradiància significatius que s'han calculat.

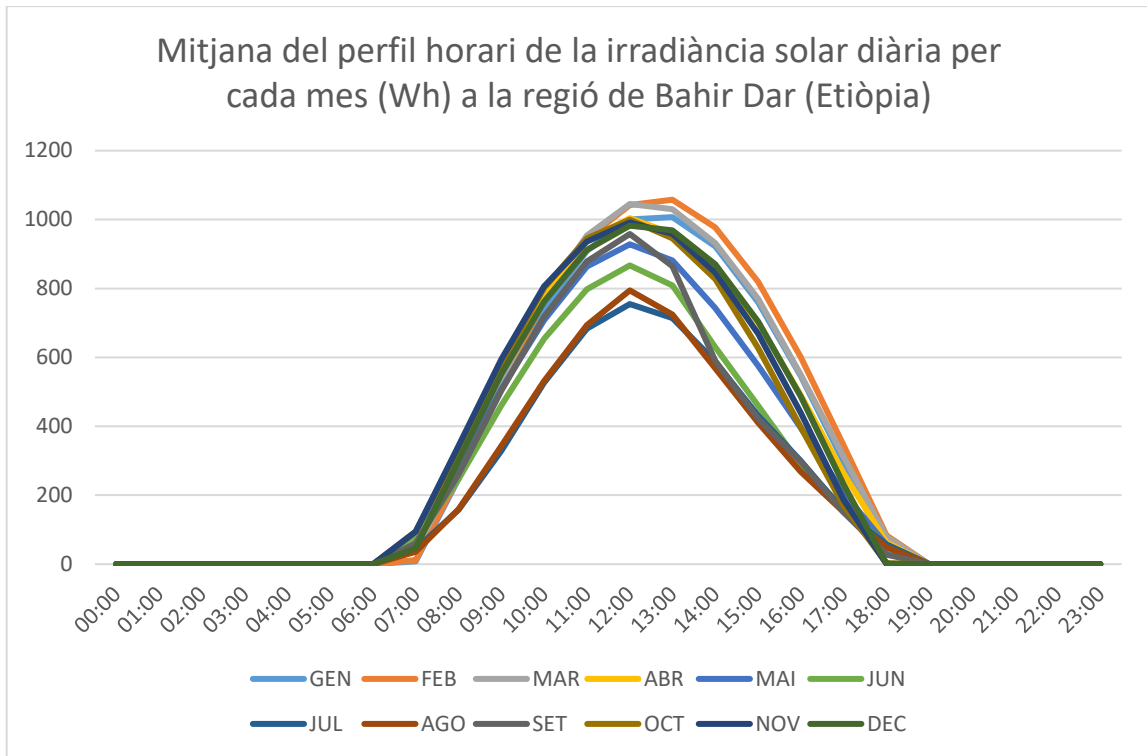


Figura 17. Corbes d'irradiància diàries, per cada mes.

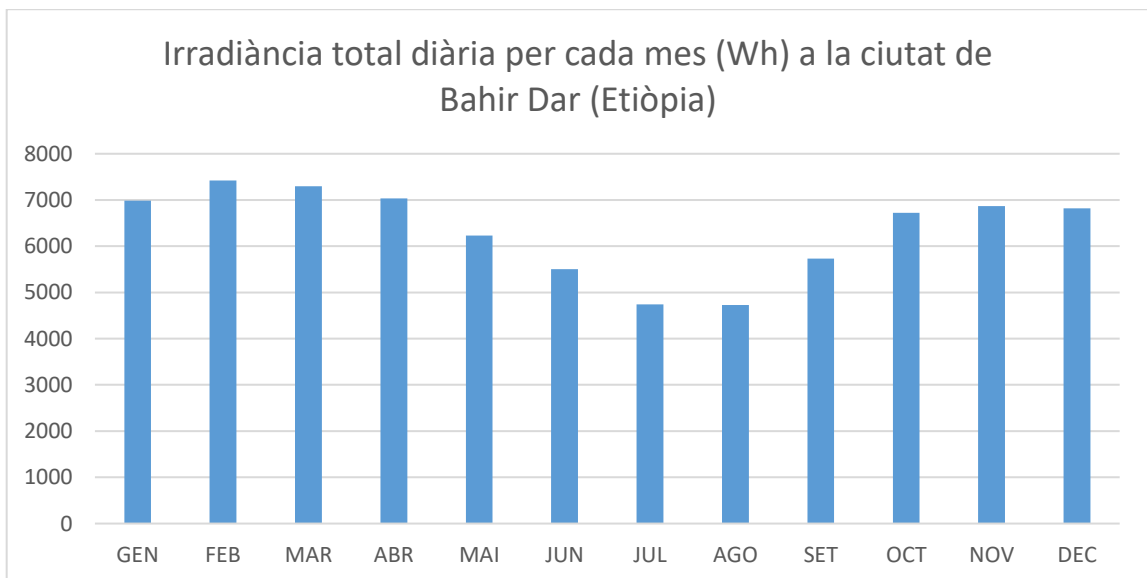


Figura 18. Valors de la mitjana d'irradiància total diària, per a cada mes.

## 2.4.2. Càlcul de la producció a partir de les dades de radiació

A partir de les dades de irradiància solar és possible calcular la corba diària de producció teòrica que tindria la instal·lació fotovoltaica a través de l'equació (Eq. 1):

$$Producció (W) = G \cdot A_p \cdot N_p \cdot \eta_{pan} \cdot PR \quad (\text{Eq. 1})$$

on:

$G$ : irradiància solar ( $W/m^2$ )

$A_p$ : àrea del panell ( $m^2$ ).

$N_p$ : nombre de panells instal·lats.

$\eta_{pan}$ : rendiment dels panells, proporcionat pel fabricant (%).

$PR$ : *Performance Ratio* (rendiment de la instal·lació)

El *Performance Ratio* (PR) està definit a la norma IEC 61724 i indica la diferència entre l'energia real que produeix el sistema respecte el màxim teòric que podria produir, en forma de rendiment. Aquesta diferència es deu a diversos aspectes els quals es descriuen a continuació:

- El rendiment dels panells depèn de la temperatura a la que es trobin i la irradiància solar, tal i com es mostra a la Figura 19. Pel que sovint serà inferior al valor nominal que indica el fabricant a la fulla de característiques i que és el que es té en compte a l'equació (Eq. 1).

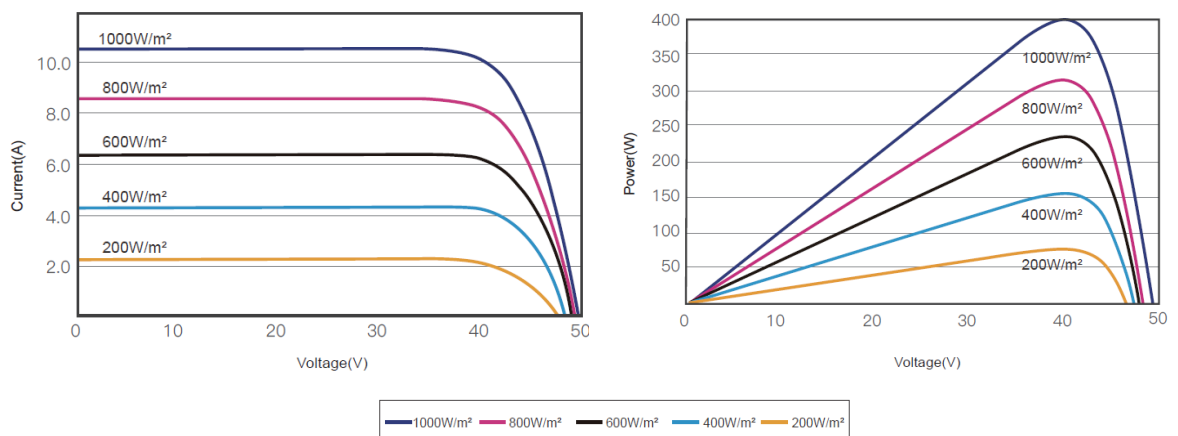


Figura 19. Gràfiques de la variació d'intensitat (esquerra) i consegüentment la potència (dreta) produïda pels panells en variar la irradiància solar.

- Pèrdues degudes a una orientació o inclinació no òptimes.
- Pèrdues elèctriques degudes al cablejat, inversor, etc.
- Els panells fotovoltaics perden al voltant del 0.5% de potència per any d'operació (Jordan D.C. and Kurtz S. R. Photovoltaic Degradation Rates—an Analytical Review Prog. Photovolt. Res. Appl.2013, 21, 12-29). Amb una vida útil estimada de 20 anys això representa que al final del 20è any la potència estarà al voltant d'un 90%. Per tant de mitjana la potència durant els 20 anys serà del 95% respecte la potència nominal.

Es fa difícil saber amb exactitud el que representen aquestes pèrdues, sovint representen entre un 20-30% pel que es podria aproximar que el rendiment del sistema o la *Performance Ratio* estigués entre un 70-80% ( $PR \approx 75\%$ ).

A banda de poder fer el càlcul com s'ha descrit, el PVGIS també permet fer càlcul estimatiu de la producció fotovoltaica a partir de diferents paràmetres. Té l'avantatge que és capaç d'estimar les pèrdues amb més precisió, ja que té en compte les pèrdues que puguin haver degut a la variació de l'angle d'incidència, efectes espectrals i la temperatura i irradiància de l'emplaçament de la instal·lació.

A la Taula 7 es mostren els diferents paràmetres que cal entrar per a fer el càlcul de la producció i el valor per tal de fer el càlcul per a la instal·lació de l'escola d'Abay Mado. A la Figura 20 es mostra com s'han introduït els paràmetres a l'aplicació web del PVGIS.

| Paràmetre                              | Valor   |
|--|---|
| Localització                           | 11.582687, 37.416034<br>(coordenades de l'escola) |
| Tipus de tecnologia fotovoltaica       | Cel·les de silici cristal·lí                      |
| Potència instal·lada (kWp)             | 4,29  |
| Pèrdues del sistema (%) <sup>[1]</sup> | 14 <sup>[4]</sup>                                 |
| Posició de muntatge <sup>[2]</sup>     | Posició lliure                                    |
| Inclinació (°)                         | 10  |
| Azimut (°) <sup>[3]</sup>              | 0   |

Taula 7. Resum dels paràmetres necessaris a introduir al PVGIS.

[1] Aquestes pèrdues fan referència a la pèrdua de rendiment dels mòduls amb el pas del temps i a les que es produeixen des de la sortida dels mòduls fins a la connexió amb la xarxa, que són principalment les pèrdues per cablejat i inversor.



[2] Del sistema de muntatge en depèn que pugui circular aire per darrere els panells o no, pel que afecta directament a la temperatura dels mòduls, i per tant al seu rendiment.

[3] 0° per orientació a Sud, -90° Est i 90 Oest.

[4] És el valor recomanat pel PVGIS. Després de fer un càlcul estimat de les diferents pèrdues del sistema s'ha cregut convenient mantenir aquest valor per defecte. El càlcul realitzat es mostra a l'annex A..

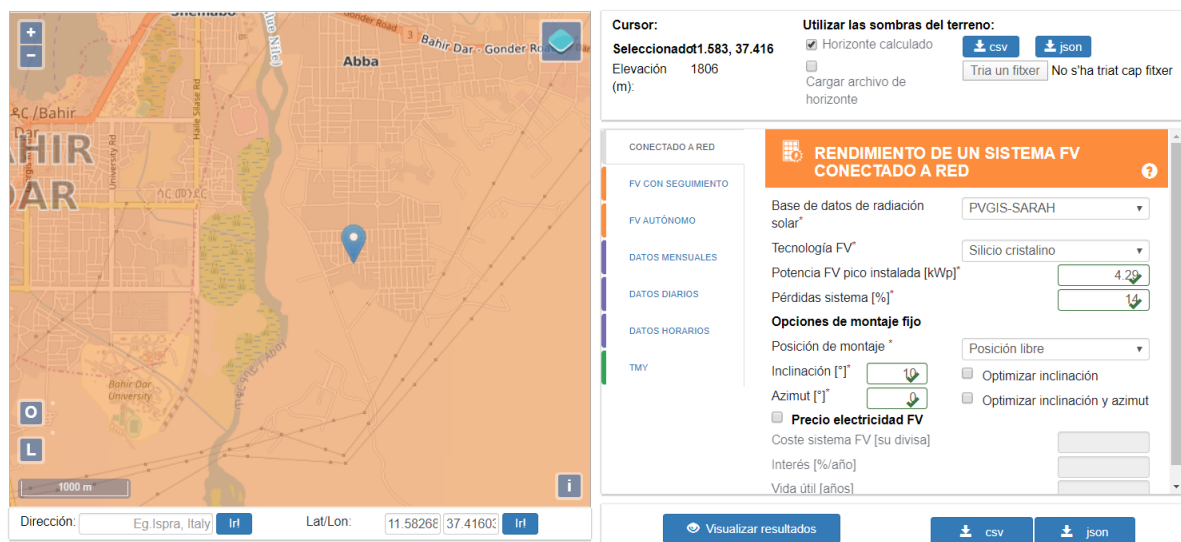


Figura 20. Introducció de dades al PVGIS.

Amb això s'obtenen els resultats mostrats a la Taula 8.

| Estimació de producció del sistema fotovoltaic per mesos a partir de PVGIS (kWh) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | GEN   | FEB   | MAR   | ABR   | MAI   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OCT   | NOV   | DES   |
| <b>Ed</b>  | 22,44 | 23,24 | 22,49 | 21,63 | 19,47 | 17,58 | 15,5  | 15,48 | 18,54 | 21,81 | 21,5  | 22    |
| <b>Em</b>  | 695,7 | 650,6 | 697,2 | 648,9 | 603,7 | 527,5 | 480,6 | 479,8 | 556,2 | 676,1 | 645,0 | 682,0 |

Taula 8. Valors estimats de producció del sistema fotovoltaic instal·lat a l'escola d'Abay Mado. Ed: mitjana d'energia produïda diàriament pel sistema fotovoltaic. Em: mitjana d'energia produïda mensualment pel sistema fotovoltaic.

| Valors de producció anuals (kWh) |       |
|----------------------------------|-------|
| <b>Ed mitjana anual</b>          | 20,12 |
| <b>Em mitjana anual</b>          | 611,9 |
| <b>Producció anual total</b>     | 7343  |

Taula 9. Valors de producció anual calculats. Ed: mitjana d'energia produïda diàriament pel sistema fotovoltaic. Em: mitjana d'energia produïda mensualment pel sistema fotovoltaic.



Les pèrdues calculades pel PVGIS són les que es mostren a la Taula 10.

| <b>Pèrdues per:</b>              | <b>Valor (%)</b> |
|----------------------------------|------------------|
| Angle d'incidència               | -2,43            |
| Efectes espectrals               | -0,84            |
| Temperatura i baixa irradiància  | -10,68           |
| <b>Pèrdues totals combinades</b> | <b>-13,58</b>    |

Taula 10. Taula resum de totes les pèrdues calculades pel PVGIS.

Com s'observa, el PVGIS proporciona el càlcul de producció global mensual o diari, però no permet extreure la corba de producció diària. És per això que es generaran les corbes de producció diàries per cada mes a partir de l'expressió mostrada a l'equació (Eq. 2), que és la mateixa que la que s'ha descrit a l'inici d'aquest apartat.

$$Producció (W) = G \cdot A_p \cdot N_p \cdot \eta_{pan} \cdot PR \quad (\text{Eq. 2})$$

Sent *PR* el *Performance Ratio* (rendiment de la instal·lació) calculat com

$$PR = \eta_{sist} \cdot \eta_{perdues\ comb.} = (1 - pèrdues\ sist.) \cdot (1 - pèrdues\ comb.) \quad (\text{Eq. 3})$$

Com s'ha descrit anteriorment, les pèrdues del sistema són d'un 14% i pèrdues combinades d'un 13,58%. Per tant  $PR = 74,32\%$ .

Aplicant l'equació (Eq. 2) amb cada valor d'irradiància de les corbes d'irradiància diàries, s'aconsegueixen les corbes de producció diàries, per a cada mes. Al gràfic de la Figura 21 es mostra la corba de producció diària pels mesos de màxima i mínima irradiància diària. En aquest cas la ubicació de la instal·lació és a l'hemisferi sud, pel que el mes de màxima irradiància és el febrer i el de mínima irradiància és l'agost.

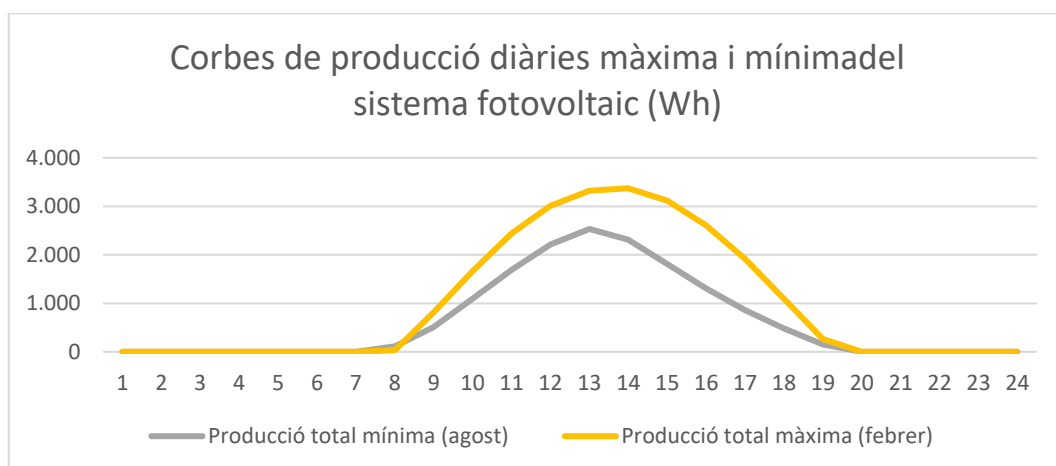


Figura 21: Corbes de producció diàries, pels mesos de mínima i màxima irradiància diària

### 3. ESTUDI ENERGÈTIC (ANÀLISI DE CONSUMS)

#### 3.1. Metodologia

##### 3.1.1. Obtenció de les dades

S'han pogut obtenir les dades de consum real gràcies al comptador d'energia instal·lat i a la plataforma de monitorització Sunny Portal de SMA ([www.sunnyportal.com](http://www.sunnyportal.com)). Aquesta plataforma permet monitoritzar la instal·lació fotovoltaica a temps real i extreure'n l'històric de dades.

A través del Sunny Portal s'ha obtingut un arxiu de dades (.csv) de cada dia. Cada arxiu conté la següent informació:

1. Energia subministrada internament (energia auto-consumida del generador FV).
2. Energia subministrada externament (energia provinent de la xarxa)
3. Consum total (és la suma de les dues anteriors)
4. Injecció a xarxa (en aquest cas el valor serà nul ja que l'inversor està configurat degudament per evitar injectar a la xarxa).
5. Autoconsum (en aquest cas proporciona la mateixa informació que el primer punt)
6. Producció fotovoltaica (en cas de no ser un sistema d'injecció zero, la producció hauria de ser la suma de la injecció i l'autoconsum, punt 4 i 5 respectivament).

A la Figura 22 es mostra un gràfic proporcionat pel Sunny Portal corresponent al dia 27/02/2020. Es poden observar els diferents valors esmentats anteriorment: l'energia subministrada internament (auto-consumida) en verd, la que és provinent de la xarxa en vermell i el consum total és la suma de les dues anteriors. L'energia injectada a xarxa es mostraria en groc, en aquest cas no es veu ja que el seu valor és nul.

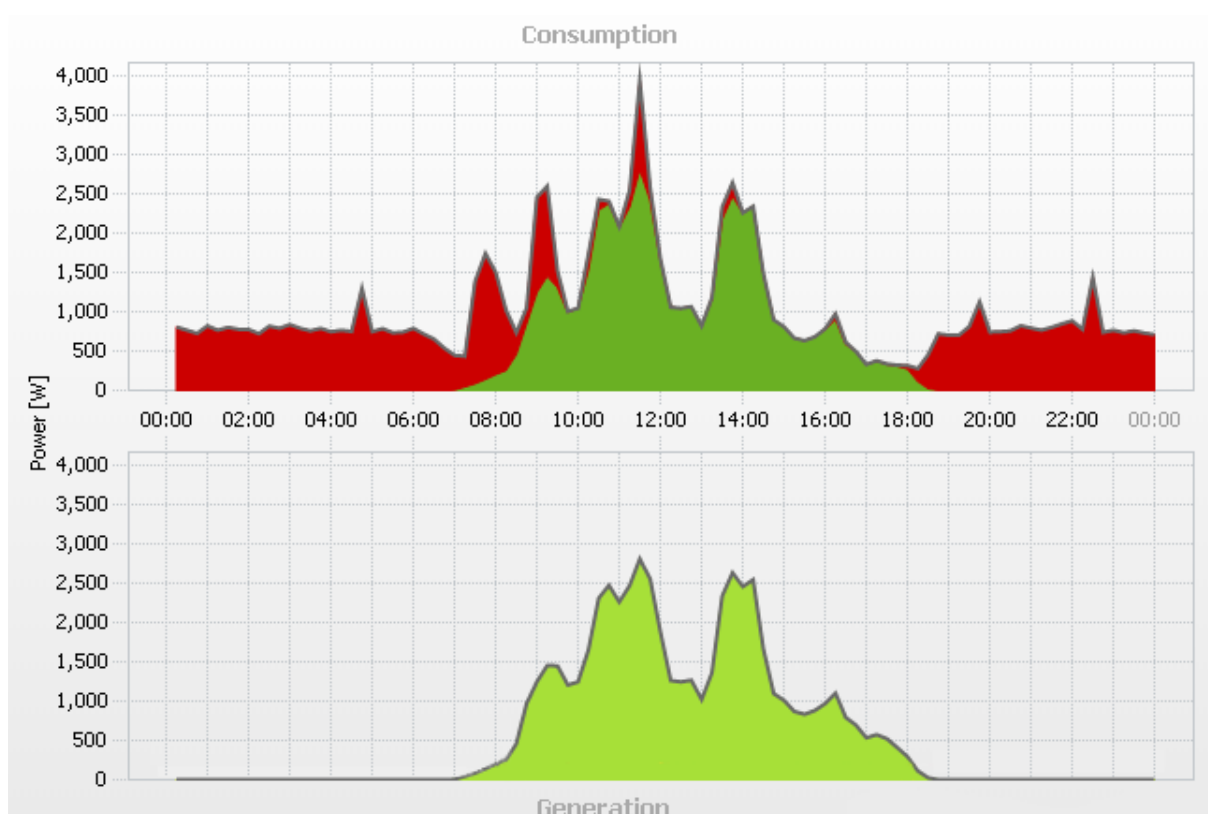


Figura 22. Gràfic del balanç energètic de l'escola d'Abay Mado el dia 27/02/2020. (Font: SMA Sunny Portal)

S'observa també en el gràfic de la Figura 22 que l'energia produïda mai supera el consum, sinó que en el moment en que el sistema començaria a produir més del necessari aquest es comença a ajustar produint el mateix que es consumeix en tot moment, perdent la forma típica de l'energia produïda per un sistema fotovoltaic. Aquest és l'efecte del sistema d'injecció zero configurat.

Per tant, en aquest cas l'energia produïda no és la que potencialment podria generar el sistema fotovoltaic, sinó que està limitada pel consum de cada moment. A la Figura 23 es mostra el mateix gràfic anterior però amb la corba d'estimació de la producció pel mes de febrer sobreposada (calculada a l'apartat 2.4.2.) . Aquesta corba indica l'energia total que pot produir el sistema i permet veure de forma gràfica l'excedent que es generaria i que es podria aprofitar per carregar un sistema de bateries.

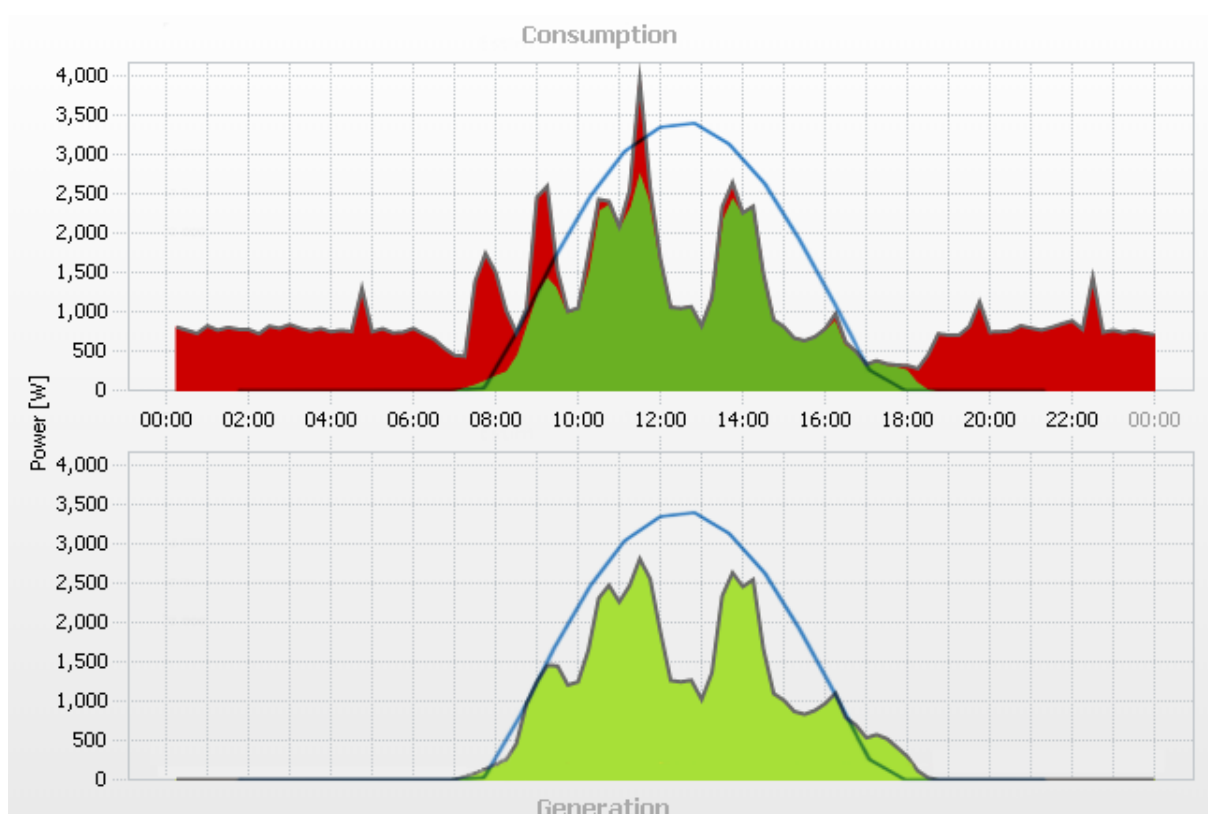


Figura 23. Gràfic del balanç energètic de l'escola d'Abay Mado el dia 27/02/2020 amb la corba de l'estimació de producció sobreposada. (Font: SMA Sunny Portal)

De totes les dades que es poden obtenir a través del Sunny Portal, en aquest cas interessa només el consum total, ja que a partir d'aquest i de l'estimació de producció fotovoltaica serà suficient per a realitzar els diferents càlculs.

S'han obtingut les dades des del dia 7/01/2020 (primer dia sencer en que estava en funcionament la instal·lació) fins al dia 29/02/2020 (dia en que es va iniciar el tractament de les dades). Per tant es disposen de dades d'un total de 54 dies.

Les dades es mostren en Watts (W) i cada 15 minuts, de tal manera que el sistema calcula la potència mitjana durant els 15 minuts. Multiplicant la potència per l'interval de temps es pot obtenir l'energia.

### 3.1.2. Tractament de les dades

Hi ha varis dies els quals no es disposen de totes les dades i en un determinat espai de temps els valors són nuls. Això en la majoria de casos és degut a que la xarxa externa falla, i per tant

l'inversor s'apaga. Per tant, en un inici s'han extret tots els dies amb falta de dades per tal de mantenir només els dies dels quals es disposa de totes les dades.

Dels arxius dels dies amb talls de subministrament s'ha pogut extreure la informació de la freqüència dels talls de llum i la seva durada mitjana, l'estimació de la qual s'ha fet a partir del nombre de dades en blanc.

Un cop fet això, s'han separat els dies en lectius i festius, ja que el consum de l'escola és totalment diferent un dia en que es faci classes respecte els caps de setmana. Per tant, no tindria sentit agrupar i fer mitjanes sobre totes les dades ja que en resultarien valors distorsionats i poc reals.

Quan s'han tingut separats els dies lectius i festius, s'ha fet la mitjana de cada un d'ells. Amb això s'ha aconseguit les corbes diàries de consum de l'escola en un dia lectiu i un dia festiu.

Per tal de poder contrastar les dades de consum respecte la producció estimada, s'han agrupat les dades de consum de quatre en quatre, de tal manera que la freqüència passi a ser de cada hora en comptes de cada 15 minuts. Per fer-ho, s'ha fet la mitjana de potència de quatre en quatre, per tal d'obtenir la mitjana de potència de tota la hora.

A la Figura 24 s'intenta il·lustrar el procés de tractament de dades descrit fins ara.

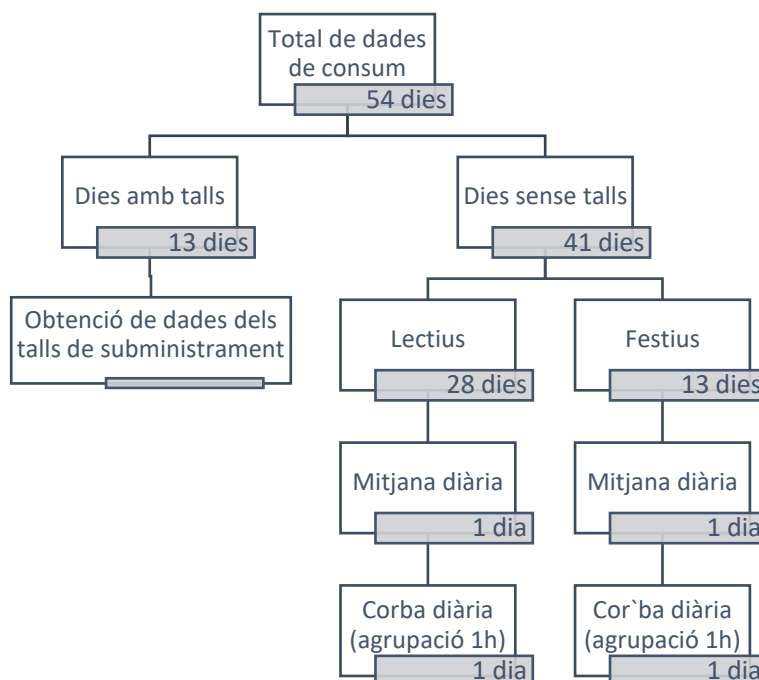


Figura 24. Esquema del procés de tractament de dades.

Finalment, a partir de les dades dels consums reals obtingudes del Sunny Portal i les dades de producció estimades obtingudes a través de PVGIS, s'ha pogut fer una estimació de l'energia sobrant (excedent) que pot produir el generador fotovoltaic sense que es consumeixi. Aquesta energia és la que pot utilitzar-se en un futur per a carregar un sistema de bateries.

S'han calculat els excedents mínims i màxims de la mateixa manera que en el moment d'estimar la producció s'ha calculat la mínima i la màxima. Per obtenir els diferents valors s'ha fet amb el càlcul que es mostra a l'equació (Eq. 4).

$$\text{Excedent } (W) = \text{Consum} - \text{Producció} \quad (\text{Eq. 4})$$

## 3.2. Resultats i conclusions

### 3.2.1. Talls de subministrament elèctric

S'han detectat un total de 13 dies amb talls de subministrament elèctric durant el període analitzat, repartits com es mostra a la Figura 25.

|               | DL | DM | DC | DJ | DV | DS | DG |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>GENER</b>  |    | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
|               | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|               | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|               | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1  | 2  |
| <b>FEBRER</b> | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|               | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|               | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|               | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |    |

Figura 25. Esquema dels talls de subministrament elèctric. En els dies marcats és on hi ha hagut talls de subministrament.

Dels arxius dels dies corresponents se n'han extret la informació de la durada dels talls i s'ha pogut extreure la durada màxima i mitjana. També s'ha estimat la freqüència amb la qual es produeixen talls de llum. Els diferents valors obtinguts es mostren a la Taula 11 i Taula 12.

|               | Durada del tall (h) |
|---------------|---------------------|
| <b>Dia 1</b>  | 1,25                |
| <b>Dia 2</b>  | 1                   |
| <b>Dia 3</b>  | 0,25                |
| <b>Dia 4</b>  | 0,25                |
| <b>Dia 5</b>  | 2,5                 |
| <b>Dia 6</b>  | 2,75                |
| <b>Dia 7</b>  | 1                   |
| <b>Dia 8</b>  | 0,5                 |
| <b>Dia 9</b>  | 0,25                |
| <b>Dia 10</b> | 0,75                |
| <b>Dia 11</b> | 0,5                 |
| <b>Dia 12</b> | 0,25                |
| <b>Dia 13</b> | 2,5                 |

Taula 11. Dades de la durada dels talls de llum per cada dia avaluat que hagi patit un tall.

|  |                      |
|--|----------------------|
| <b>Durada màxima d'un tall de subministrament elèctric</b>   | 2,75 h               |
| <b>Durada mitjana dels talls de subministrament elèctric</b> | 1,06 h               |
| <b>Nombre de dies amb talls durant el període estudiat</b>   | 13                   |
| <b>Nombre de dies del període estudiat</b>                   | 54                   |
| <b>Percentatge de dies amb talls</b>                         | 24%                  |
| <b>Freqüència</b>  | 1-2 cops per setmana |

Taula 12. Paràmetres calculats dels talls de subministrament elèctric que pateix l'escola d'Abay Mado.

### 3.2.2. Anàlisi del consum i obtenció de les corbes diàries

Al gràfic de la Figura 26 es mostren les corbes diàries de consum obtingudes. S'observa, com era d'esperar, que el consum és major durant els dies lectius en que es fan classes. No obstant la diferència no és tan gran com es podria esperar. Probablement la raó sigui perquè sota el mateix comptador també s'alimenta la casa a on resideixen els directius de l'escola. Aquesta continua en funcionament durant el cap de setmana i és per això que la diferència no és tant gran com si l'escola estigués tancada per complet.

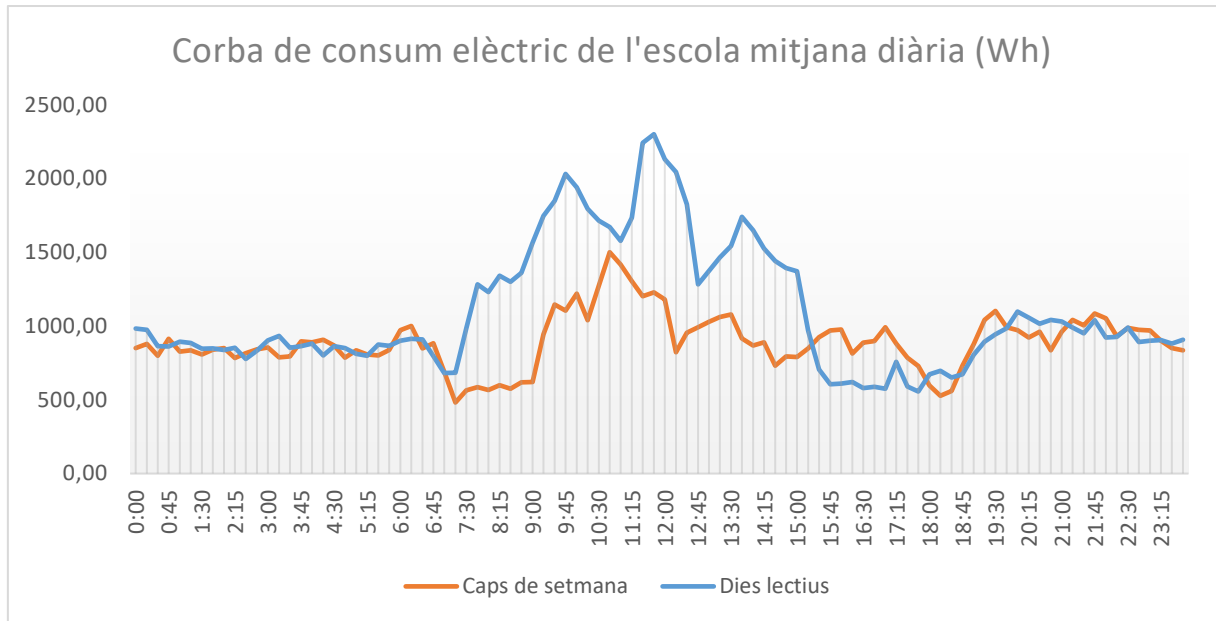


Figura 26. Corbes diàries de consum. Mitjana dels dies lectius en vers la mitjana dels dies festius (caps de setmana)

|   |          |
|---|----------|
| <b>Mitjana del consum diari total d'un dia lectiu</b> | 26,3 kWh |
| <b>Mitjana del consum diari total d'un dia festiu</b> | 21,5 kWh |

Taula 13. Valors mitjans del consum diari de l'escola.

A la Figura 27 es mostra un gràfic comparatiu de la producció màxima i mínima estimada i el consum mitjà calculat en dies lectius i festius. En funció d'aquestes quatre casos l'excident generat serà major o menor.

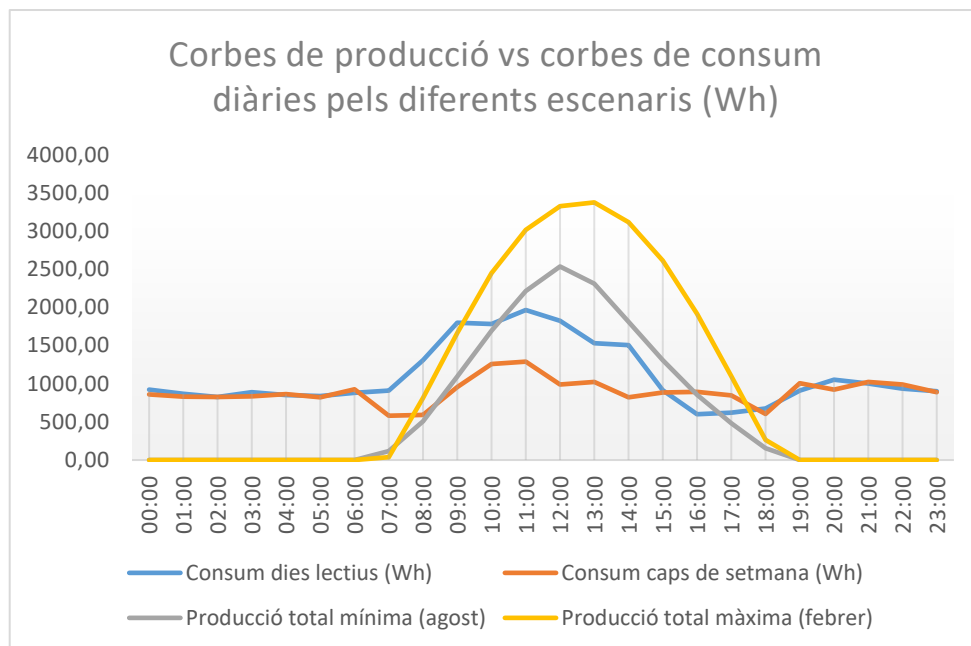


Figura 27. Corbes diàries de producció i de consum pels diferents escenaris avaluats.



### 3.2.3. Estimació d'excedents

A la Taula 14 es mostren els resultats obtinguts del càlcul de l'energia excedent pels diferents escenaris avaluats:

- Dia lectiu en període de baixa irradiància solar (agost)
- Dia lectiu en període d'alta irradiància solar (febrer)
- Dia festiu en període de baixa irradiància solar (agost)
- Dia festiu en període de baixa irradiància solar (febrer)

| EXCEDENT MIN LECTIUS | EXEDENENT MAX LECTIUS | EXCEDENT MIN FESTIUS | EXCEDENT MAX FESTIUS | EXCEDENT REAL MIN LECTIUS | EXCEDENT REAL MAX LECTIUS | EXCEDENT REAL MIN FESTIUS | EXCEDENT REAL MAX FESTIUS |
|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| -921                 | -921                  | -861                 | -861                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -869                 | -869                  | -828                 | -828                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -826                 | -826                  | -824                 | -824                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -889                 | -889                  | -834                 | -834                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -850                 | -850                  | -863                 | -863                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -838                 | -838                  | -820                 | -820                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -881                 | -881                  | -927                 | -927                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -793                 | -872                  | -465                 | -544                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -801                 | -497                  | -82                  | 222                  | 0                         | 0                         | 0                         | 222                       |
| -705                 | -133                  | 141                  | 712                  | 0                         | 0                         | 141                       | 712                       |
| -87                  | 665                   | 435                  | 1.187                | 0                         | 665                       | 435                       | 1.187                     |
| 249                  | 1.050                 | 925                  | 1.726                | 249                       | 1.050                     | 925                       | 1.726                     |
| 712                  | 1.501                 | 1.546                | 2.335                | 712                       | 1.501                     | 1.546                     | 2.335                     |
| 779                  | 1.843                 | 1.289                | 2.352                | 779                       | 1.843                     | 1.289                     | 2.352                     |
| 309                  | 1.613                 | 991                  | 2.295                | 309                       | 1.613                     | 991                       | 2.295                     |
| 396                  | 1.700                 | 425                  | 1.729                | 396                       | 1.700                     | 425                       | 1.729                     |
| 257                  | 1.315                 | -38                  | 1.020                | 257                       | 1.315                     | 0                         | 1.020                     |
| -137                 | 477                   | -364                 | 250                  | 0                         | 477                       | 0                         | 250                       |
| -518                 | -408                  | -449                 | -339                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -907                 | -907                  | -1.004               | -1.004               | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -1.054               | -1.054                | -923                 | -923                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -1.003               | -1.003                | -1.023               | -1.023               | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -933                 | -933                  | -987                 | -987                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| -899                 | -899                  | -890                 | -890                 | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| <b>-11.206</b>       | <b>-2.615</b>         | <b>-6.427</b>        | <b>2.164</b>         | <b>2.703</b>              | <b>10.163</b>             | <b>5.752</b>              | <b>13.828</b>             |

Taula 14. Resultat dels càlculs d'energia excedent pels diferents escenaris avaluats

En un primer pas s'ha calculat l'excedent total, tenint en compte també les hores nocturnes. En aquest cas el resultat total diari sempre surt negatiu. Això indica que la instal·lació no generarà mai el total de l'energia que necessita l'edifici.

No obstant, en determinades hores durant el dia, sí que l'excedent és positiu. És a dir, en aquests moments la producció és major que el consum. Per tant en aquests moments sí que es genera un excedent que si no s'emmagatzema s'injectaria a la xarxa.

Així doncs en el següent pas s'han obviat les hores nocturnes per tal d'obtenir l'excedent real que pot generar el sistema fotovoltaic i que pot servir per carregar les bateries.

Com era d'esperar, s'observa que el mínim excedent es produirà durant els dies lectius en un període de baixa irradiància solar, mentre que el màxim excedent es produirà durant els dies festius durant el període d'alta irradiància solar.

A la Figura 28 s'il·lustren els números exposats de forma gràfica, sobreposant les corbes diàries del consum de l'escola i la producció estimada del sistema fotovoltaic pels quatre escenaris avaluats.

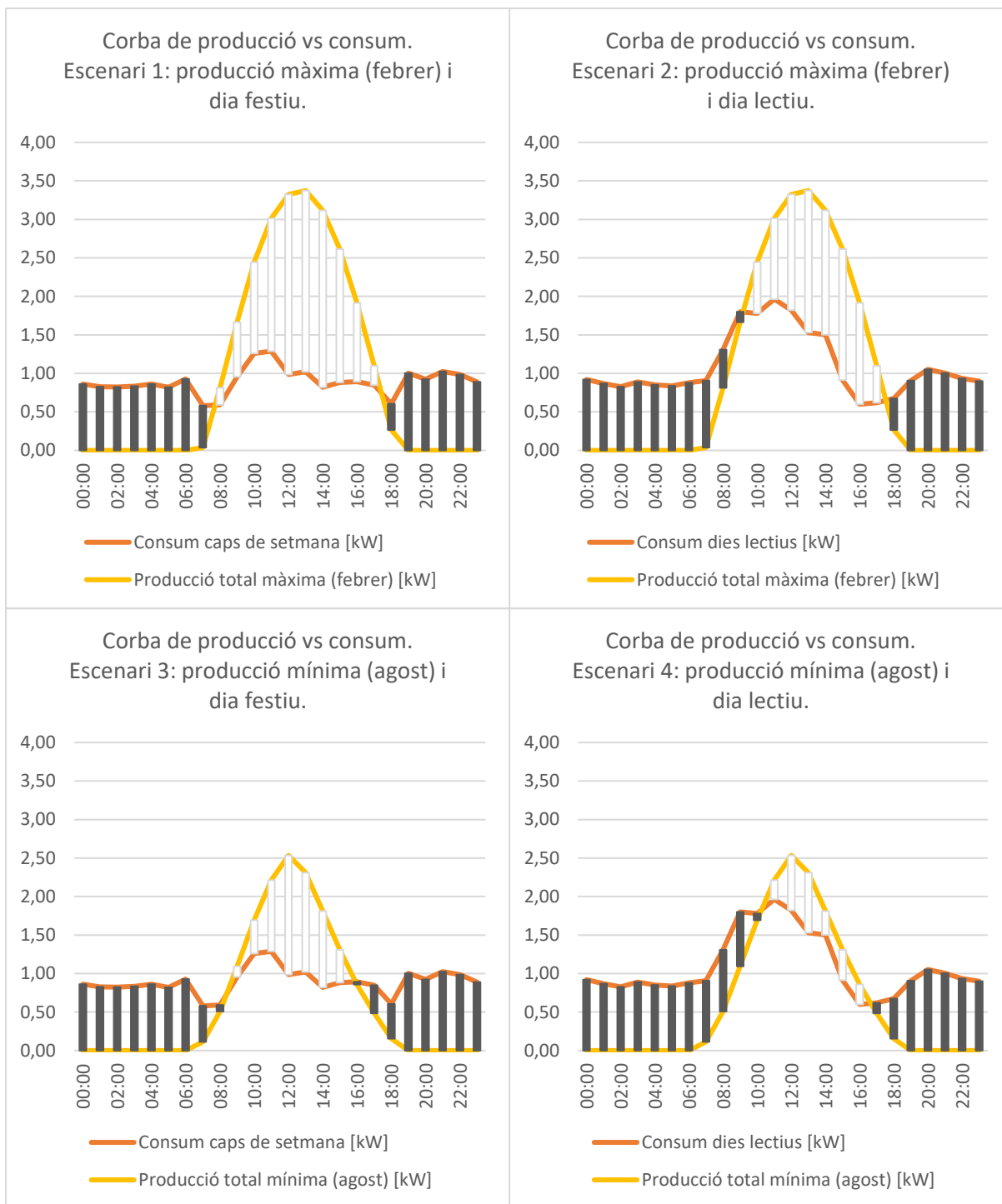


Figura 28. Gràfics de les corbes diàries de producció en vers les corbes de consum, pels quatre escenaris estudiats. L'energia que s'ha d'extreure de la xarxa està pintada amb barres blaves mentre que les barres blanques indiquen l'energia excedent que pot produir el sistema fotovoltaic.

## 4. DISSENY DEL SISTEMA HIBRID AMB BATERIES

### 4.1. Concepte i definició del sistema

El sistema fotovoltaic que hi ha actualment instal·lat a l'escola d'Abay Mado està connectat a la xarxa elèctrica, com s'ha anat comentant anteriorment. En aquest tipus d'instal·lacions l'inversor s'apaga en cas d'una fallada en el subministrament elèctric i la instal·lació deixa de funcionar. Es vol doncs, afegir un sistema de bateries que supleixi la xarxa elèctrica quan aquesta caigui.

Aquests sistemes s'anomenen sistemes de *backup* o de recolzament. Hi ha diferents configuracions o maneres d'implementar-los. En aquest cas es parteix amb el requisit de que es vol aprofitar l'inversor fotovoltaic ja existent. No s'entrarà, doncs, en estudiar altres alternatives que hi ha i que també es podrien implementar però que no permetrien aprofitar l'inversor ja instal·lat.

A diferència d'un sistema aïllat, en el cas d'un sistema *backup* la bateria no estarà dimensionada per a poder aguantar uns quants dies sinó que només haurà de funcionar durant l'estona que duri el tall de subministrament elèctric. És per això que la capacitat de la bateria podrà ser molt menor.

També és comú afegir bateries a un sistema connectat a la xarxa amb l'objectiu d'optimitzar l'autoconsum, de tal manera que l'excedent d'energia produït durant el dia es pugui aprofitar a la nit. Aquests, però, no sempre es poden considerar sistemes de *backup* ja que sovint segueixen sent incapaços de seguir funcionant en cas d'un tall de subministrament elèctric si no disposen dels elements adequats.

Per tal que el sistema fotovoltaic pugui seguir funcionant en cas d'una fallada de la xarxa, cal que es desconnecti automàticament tota la instal·lació de la xarxa elèctrica i es pugui reestablir el sistema a partir de les bateries. D'aquesta manera es crea l'equivalent a un sistema aïllat on el sistema de bateries substitueix la xarxa elèctrica pública.

En aquest cas, per tal d'aprofitar l'inversor fotovoltaic existent, cal implementar un sistema pel qual els diferents elements estan connectats a través de corrent alterna. Aquest mètode s'anomena *AC-coupling*.

Les bateries funcionen amb corrent contínua (CC), pel que serà necessari un inversor per a les bateries que converteixi la corrent contínua en corrent alterna (CA). També és necessari un carregador de les bateries que els proporciona l'energia necessària en cada moment

segons el seu cicle de càrrega. En la majoria de casos, un mateix dispositiu fa la funció d'inversor i carregador.

Existeixen principalment dues configuracions diferents per tal d'implementar un sistema *backup* amb el mètode *AC-coupling* que permeti aprofitar l'inversor existent. Aquestes es mostren a la Figura 29 i la Figura 30 respectivament.

En el primer cas, tota l'energia provinent de la xarxa entra a l'inversor/carregador i seguidament passa a alimentar les càrregues. En cas de fallada de la xarxa l'inversor/carregador commuta automàticament la font d'energia per tal que les bateries passin a actuar com a font d'alimentació.

En la segona configuració, en canvi, l'energia provinent de la xarxa va directament a les càrregues. L'inversor/carregador està connectat en paral·lel de tal manera que a través seu només hi circula l'energia intercanviada amb les bateries. En cas de fallada de la xarxa, un interruptor automàtic serà l'encarregat de desconnectar-se de la xarxa elèctrica.

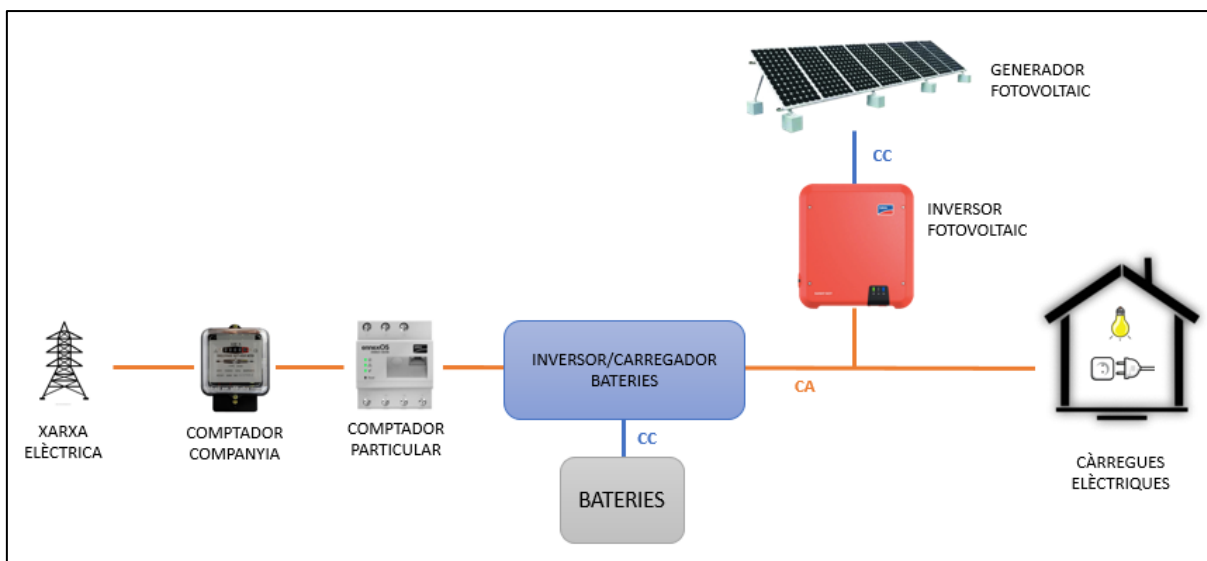


Figura 29. Esquema corresponent a la configuració 1 d'un sistema backup, en el que tota l'energia passa per l'inversor/carregador i aquest commuta la font d'energia entre la xarxa o el sistema de bateries

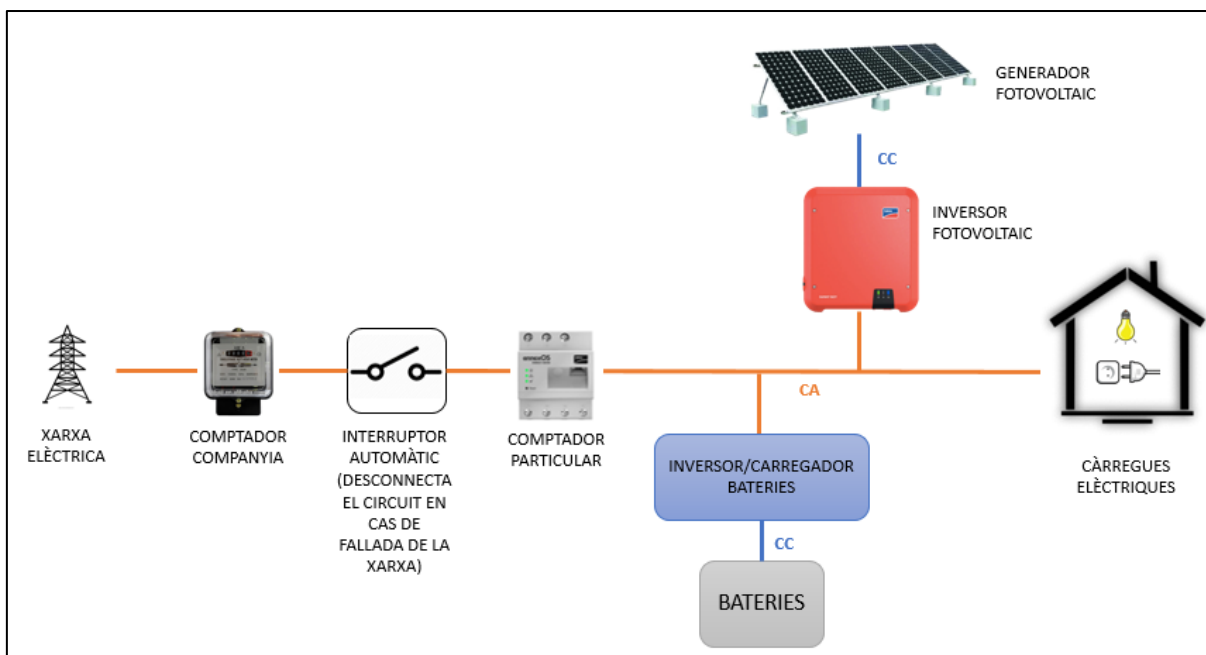


Figura 30. Esquema corresponent a la configuració 2 d'un sistema backup. En aquest per l'inversor/carregador només hi passa l'energia intercanviada amb les bateries i hi ha un interruptor a part encarregat de desconectar la xarxa elèctrica quan aquesta falli.

Una de les diferències a tenir en compte a l'hora d'implementar una configuració o una altra és la potència de l'inversor/carregador. Amb la configuració 1, la potència màxima de l'edifici estarà limitada per l'inversor/carregador ja que tota l'energia passa a través seu.

En canvi, en el segon cas, el consum màxim de l'edifici només quedarà limitat per la potència de l'inversor en cas que hi hagi una fallada de la xarxa elèctrica, però si la xarxa funciona bé el límit estarà imposat per l'IGA. És per això que la potència de l'inversor/carregador en aquest cas pot ser menor, ajustada a la capacitat de les bateries. No obstant en aquest cas és necessari disposar d'un sistema automàtic que desconnecti la xarxa quan aquesta falli.

## 4.2. Inversor/carregador

Després de fer una anàlisi de mercat avaluant diferents opcions i configuracions, s'ha optat per a incorporar l'inversor/carregador Victron Multiplus-II GX. Als annexos es troba el full de característiques complet.

El dispositiu incorpora dins una mateixa carcassa compacta un inversor sinusoïdal, un carregador per la bateria i un commutador automàtic. Els motius pels quals s'ha escollit aquest respecte altres opcions són els següents:

- Victron és una marca molt consolidada i fiable, que s'ha implantat molt a tot el continent Africà i per tant facilitarà el procés d'adquirir el producte des d'Etiòpia.
- Integració amb el sistema actual gràcies a la funció de regulació de freqüència que permet regular la potència l'inversor fotovoltaic existent.
- Els inversors/carregadors de Victron ofereixen àmplies possibilitats de configuració del sistema que permeten adaptar a un funcionament òptim en cada cas.
- Preu més econòmic que altres opcions similars.
- Capacitat de monitorització remota gràcies a la incorporació de la targeta GX.

El dispositiu disposa d'una entrada CA on s'hi connecta la xarxa pública i dues sortides CA (AC-out-1 i AC-out-2). La primera funciona sempre mentre que la segona es desconnecta en cas de detectar una fallada en la xarxa pública.

Diverses configuracions de connexió són possibles amb el Victron Multiplus-II. En aquest cas s'opta per a la configuració 1 descrita a l'apartat 4.1, en el qual es connecta la xarxa a l'entrada CA de l'inversor/carregador (AC-in) i totes les càrregues a la sortida principal (AC-out-1). En cas de fallada de la xarxa, el commutador automàtic que porta incorporat desconnectarà la xarxa i connectarà les bateries perquè alimentin les càrregues. A la Figura 31 s'hi mostra l'esquema de connexió proporcionat pel propi fabricant.

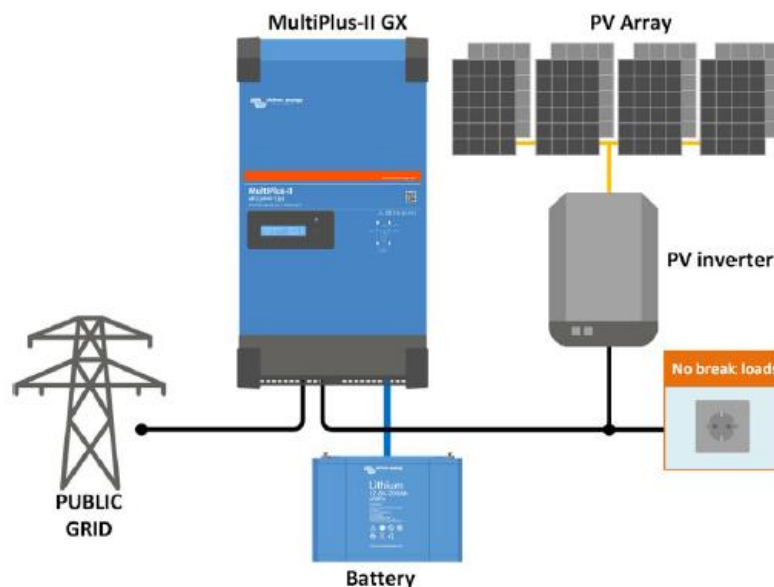


Figura 31. Esquema de connexió de l'inversor/carregador Victron Multiplus-II-GX (font: Victron Energy)

L'inversor fotovoltaic ja instal·lat (SMA Sunny Boy 4.0) va connectat en paral·lel a la sortida, com si es tractés d'una càrrega més, tal i com s'observa a la Figura 31. Quan hi hagi excedent

fotovoltaic, el Multiplus l'utilitzarà per a carregar les bateries. En cas que aquestes ja estiguin carregades i continuï havent-hi excedent, per tal d'evitar injectar excedent a la xarxa, el Multiplus augmenta lleugerament la freqüència de CA per a reduir la sortida de l'inversor solar.

Amb la configuració descrita és necessari que la potència del Victron MultiPlus-II-GX sigui igual o superior a la potència nominal del sistema fotovoltaic ([https://www.victronenergy.com/live/ac\\_coupling:start](https://www.victronenergy.com/live/ac_coupling:start)). El MultiPlus-II-GX està disponible amb dues potències nominals, de 3000 VA i 5000 VA. Com que la potència de l'inversor solar és de 4 kW caldrà incorporar el model de 5000 VA. A la Taula 15 s'especifiquen les seves característiques.

| CARACTERÍSTIQUES  | VICTRON MULTIPLUS-II-GX 48/5000   |
|---|---|
| <b>Commutador de transferència i intensitat màxima d'entrada CA</b> | 50 A  |
| <b>Proteccions</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Curtcircuit de sortida</li> <li>- Sobrecàrrega</li> <li>- Tensió de la bateria massa alta</li> <li>- Tensió de la bateria massa baixa</li> <li>- Temperatura massa alta</li> <li>- 230 V CA a la sortida de l'inversor</li> <li>- Ondulació de la tensió d'entrada massa alta</li> </ul> |
| <b>Dimensions (altura, amplada, profunditat)</b>                    | 565 x 323 x 148 mm  |
| <b>Connexió de la bateria</b>                                       | Perns M8  |
| <b>Connexió CA</b>  | Borns de 13 mm <sup>2</sup>   |
| <b>Interfícies</b>  | VE.Can, USB, Ethernet, VE.Direct, Wi-Fi   |
| <b>INVERSOR</b>   |   |
| <b>Rang de tensió d'entrada</b>                                     | 38 – 66 V   |
| <b>Rang de tensió de sortida</b>                                    | 230 V CA ± 2%   |
| <b>Freqüència de sortida</b>  | 50 Hz ± 0.1%  |
| <b>Potència continua de sortida a 25 °C</b>                         | 4000 W  |
| <b>Potència continua de sortida a 40 °C</b>                         | 3700 W  |
| <b>Potència continua de sortida a 65 °C</b>                         | 3000 W  |
| <b>Pic de potència</b>  | 9000 W  |
| <b>Rendiment màxim</b>  | 96 %  |
| <b>CARREGADOR</b>   |   |
| <b>Rang de tensió d'entrada CA</b>                                  | 187 – 265 V CA  |
| <b>Rang de freqüència d'entrada</b>                                 | 45 – 65 Hz  |
| <b>Tensió de càrrega d'absorció</b>                                 | 57,6 V  |
| <b>Tensió de càrrega de flotació</b>                                | 55,2 V  |
| <b>Mode d'emmagatzematge</b>  | 52,8 V  |
| <b>Màxima intensitat de càrrega de la bateria</b>                   | 70 A (a 25°C T <sup>a</sup> ambient)  |
| <b>Sensor de temperatura de la bateria</b>                          | Sí  |
| <b>RENDIMENT MÀX / EUROPEU</b>                                      | 97.0 % / 96.5 %   |

Taula 15. Recull de característiques més rellevants de l'inversor/carregador Victron Multiplus-II-GX 48/5000



Un paràmetre important que s'ha tingut en compte és el de la intensitat màxima d'entrada CA, de 70A. Això indica que la potència de l'edifici pot ser fins a 16,1 kW ( $230V \cdot 70A$ ). Aquesta és molt superior a la potència requerida per les càrregues actualment per tant la potència disponible no quedarà limitada quan funcioni la xarxa.

En canvi la potència total de les càrregues sí que estarà limitada quan funcioni com un sistema aïllat a través de les bateries, sent la potència continua màxima admissible de 4000W (a 25°C), tal i com es mostra a la taula de característiques. No obstant, aquest valor és adequat ja que segons les dades que es disposen el consum total no sol sobrepassar els 3000 W.

Pel que fa al carregador de bateries, aquest funciona a 48 V pel que s'haurà de tenir en compte que el sistema de bateries haurà de funcionar al mateix voltatge.

L'inversor/carregador anirà connectat via cable Ethernet al Switch existent per tal que disposi de connexió a internet. D'aquesta manera es podrà monitoritzar el sistema des de qualsevol lloc a través del portal web gratuït del fabricant (<https://vrm.victronenergy.com/landingpage>).

## 4.3. Bateries

### 4.3.1. Requisits previs per al dimensionament

La tendència actual pel que fa a les bateries en l'àmbit de l'energia solar està en l'ús de bateries de Liti, ja que ofereixen millor rendiment i major durabilitat. No obstant, encara s'utilitzen molt les bateries de plom-àcid, ja que són més econòmiques i poden ser adequades per a petites instal·lacions.

En aquest cas s'optarà per instal·lar bateries de plom-àcid. El principal motiu és perquè a Etiòpia no és possible (o és molt difícil) adquirir bateries de liti. L'única manera seria importar-les i això representa un procés complicat burocràticament, llarg i costós.

Per tal de dimensionar les bateries, s'ha tingut en compte l'energia que caldrà que subministrin per a suplir un tall de subministrament de la xarxa elèctrica. Per fer-ho s'ha calculat la mitjana del consum de l'escola en un dia lectiu durant les hores lectives (de 8h a 15h). S'ha fet així ja que l'important és que el sistema pugui suplir durant les hores lectives perquè es pugui seguir amb l'activitat educativa. Aquesta potència consumida mitjana resulta ser d'uns 1500 W.

Cal tenir en compte que la instal·lació solar continuarà funcionant encara que hi hagi un tall de subministrament i que, per tant, en tal cas inclús és possible que amb el sistema fotovoltaic

sigui suficient per suplir les càrregues i no calgui extreure energia de les bateries. No obstant, per a fer els càlculs no s'ha considerat l'energia que pot proveir el sistema solar, per si es dona el cas que hi ha un tall de llum en un dia que plou i per tant els panells no produeixen.

A l'annex B es fa una explicació dels diferents conceptes relacionats amb les bateries que s'empraran en apartats posteriors.

#### 4.3.2. Càlcul de la capacitat necessària

Tal i com s'ha descrit a l'apartat 3.2.2, la durada mitjana d'un tall de subministrament elèctric és de 1 hora aproximadament, mentre que la durada màxima registrada és de 2,75 hores. Amb això podem calcular la capacitat necessària del sistema de bateries com

$$E_{bat}(Wh) = \frac{P_{demanda} \cdot t \cdot}{DOD \cdot \eta} \quad (\text{Eq. 5})$$

On la  $P_{demanda}$  és de 1500 W tal com s'ha descrit anteriorment,  $t$  és el temps en hores, DOD és la profunditat de descàrrega (*Depth Of Discharge*) (%) i  $\eta$  el rendiment que aquest es considera del 80% ja que és un valor típic per les bateries de plom-àcid.

S'ha calculat l'energia necessària per als dos casos de temps ( $t=1$  h i  $t=2,75$  h) i per a diferents valors de DOD. Per a les bateries de plom-àcid no es recomana un DOD per sobre de 50% ja que es poden malmetre, per això s'ha considerat aquest valor màxim.

A la Taula 16 s'hi pot veure les capacitats del sistema de bateries que s'han calculat segons l'equació (Eq. 17), en Wh.

|              | <b>Capacitat sistema bateries (Wh)</b> |         |         |         |
|--------------|--|---------|---------|---------|
| <b>t (h)</b> | DOD 20%                                | DOD 30% | DOD 40% | DOD 50% |
| <b>1</b>     | 9.375                                  | 6.250   | 4.688   | 3.750   |
| <b>2,75</b>  | 25.781                                 | 17.188  | 12.891  | 10.313  |

Taula 16. Capacitat necessària del sistema de bateries en funció del temps de tall de subministrament i el DOD en Wh

Tenint en compte que el sistema de bateries ha de treballar a 48 V degut a l'inversor/carregador escollit, tal i com s'ha comentat a l'apartat 4.2, es fa el càlcul de la capacitat en Ah segons l'equació (Eq. 6). A la Taula 17 es mostren els resultats.

$$E_{bat}(Ah) = \frac{E_{bat}(Wh)}{\text{Voltatge de treball (V)}} \quad (\text{Eq. 6})$$

| <i>t</i> (h) | Capacitat sistema bateries (Ah) |         |         |         |
|--------------|---------------------------------|---------|---------|---------|
|              | DOD 20%                         | DOD 30% | DOD 40% | DOD 50% |
| 1            | 195                             | 130     | 98      | 78      |
| 2,75         | 537                             | 358     | 269     | 215     |

Taula 17. Capacitat necessària del sistema de bateries en funció del temps de tall de subministrament i el DOD en Ah

#### 4.3.3. Justificació del model elegit

Finalment s'ha optat per incorporar 4 bateries en sèrie de 12V cadascuna i 200Ah. Segons la Taula 17 amb aquesta capacitat supliria el tall de 1h descarregant-se només un 20% i en cas que el tall durés 2,75h, les bateries es descarregarien al voltant del 50%, que és el màxim que s'assumeix perquè no es malmetin les bateries.

Hi ha diverses marques que disposen de bateries amb aquestes característiques. A mode d'exemple es proposa la del fabricant RITAR model RA12-200, però podria ser un model similar en funció de la disponibilitat del mercat a la zona.

| CARACTERÍSTIQUES                       | BATERIA AGM VRLA RITAR RA12-200                                  |
|--|--|
| <b>Cel·les per unitat</b>              | 6  |
| <b>Voltatge per unitat</b>             | 12 V   |
| <b>Capacitat</b>                       | 200Ah C10 a 1,8V per cel·la                                      |
| <b>Màxima intensitat de descàrrega</b> | 2000 A (5 seg.)  |
| <b>Rangs de temperatures</b>           | Descàrrega i emmagatzematge: -20°C – 60°C<br>Càrrega: 0°C – 50°C |
| <b>Voltatge de càrrega de flotació</b> | 13,6 – 13,8 V DC / unitat, mitjana a 25°C                        |
| <b>Equalització i Servei de Cicle</b>  | 14,6 – 14,8 V DC / unitat, mitjana a 25°C                        |
| <b>Terminal</b>                        | F10  |

La capacitat de la bateria és de 200 Ah a C10, això indica que la bateria es descarregaria per complet si es consumeixen 20A durant 10 hores. Cal tenir en compte, però, que la capacitat de la bateria varia en funció de si es descarrega més o menys ràpidament. És per això que el fabricant també especifica la capacitat real en funció del temps de descàrrega, tal i com es mostra a la Figura 32.

| Constant Current Discharge Characteristics: A (25°C) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F.V/Time   | 5MIN  | 10MIN | 15MIN | 30MIN | 1HR   | 2HR   | 3HR   | 4HR   | 5HR   | 8HR   | 10HR  | 20HR  |
| 9.60V  | 569.6 | 426.7 | 344.7 | 200.9 | 124.8 | 77.07 | 52.38 | 42.23 | 35.06 | 23.09 | 20.81 | 11.02 |
| 10.0V  | 553.2 | 406.0 | 337.6 | 198.4 | 123.2 | 75.52 | 51.41 | 41.63 | 34.75 | 23.00 | 20.61 | 10.81 |
| 10.2V  | 536.8 | 391.7 | 332.3 | 195.3 | 122.0 | 74.72 | 50.95 | 41.22 | 34.52 | 22.79 | 20.40 | 10.61 |
| 10.5V  | 482.0 | 361.4 | 316.4 | 190.0 | 120.5 | 73.74 | 50.50 | 40.61 | 34.23 | 22.59 | 20.20 | 10.40 |
| 10.8V  | 435.1 | 329.6 | 291.7 | 183.7 | 118.8 | 73.14 | 49.91 | 39.22 | 34.06 | 22.50 | 20.02 | 10.30 |
| 11.1V  | 371.5 | 294.6 | 261.6 | 176.7 | 116.0 | 70.20 | 48.93 | 38.65 | 33.81 | 22.32 | 19.78 | 9.88  |

Figura 32. Taula proporcionada pel fabricant (RITAR) que indica la intensitat de descàrrega constant en funció del temps de descàrrega i voltatge de flotació

Per saber la capacitat real de la bateria es mirarà en funció de la demanda que es preveu en cas que hi hagi un tall de subministrament, en Amperes (A), calculada com

$$Demanda (A) = \frac{Demanda (W)}{Voltatge (V)} \quad (Eq. 7)$$

On la demanda en W s'estima de 1500 W i el voltatge és de 48 V, això suposa una demanda de 31,25 A. Dividint aquest valor entre els 200 Ah nominals, s'obté que el rati C és de 0,156C. Al gràfic de la Figura 33 es pot veure que amb aquest rati les bateries es descarregaran per complet en aproximadament 5 hores. Així mateix es comprova a la Figura 32 també.

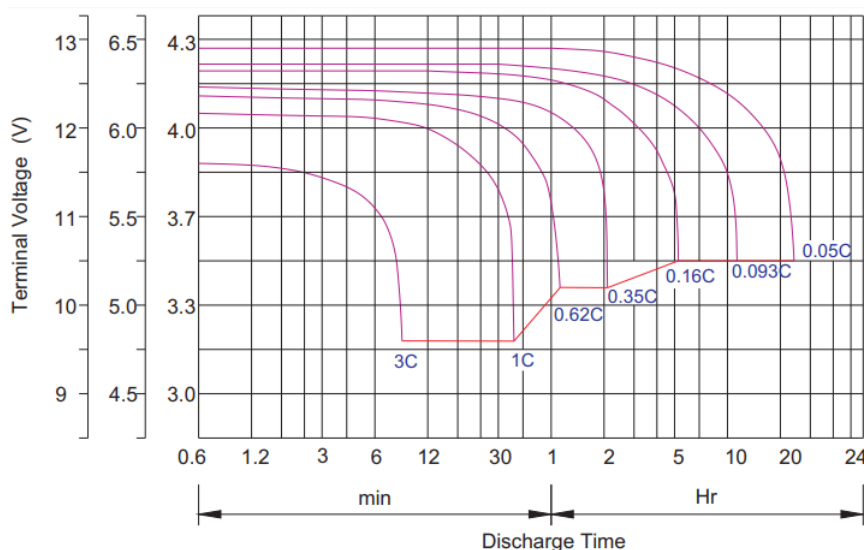


Figura 33. Corba característica de descàrrega de la bateria RITAR RA12-200 proporcionada pel fabricant

Per tant, en cas de que el tall de subministrament de llum tingui una durada de 2,75h (durada màxima registrada) les bateries es descarregaran un 55% i en el cas que durés 1 hora (durada mitjana), les bateries es descarregaran un 20%.

#### 4.3.4. Càlcul del temps de vida útil de les bateries

Sabent el DOD mitjà i el nombre de talls de llum que es produiran de mitjana, és possible estimar el nombre de cicles total que podrà aguantar la bateria i fer un càlcul aproximat del temps que duraran.

A la Figura 38 s'hi mostra el gràfic a partir del qual es pot estimar el nombre de cicles de vida que tindrà la bateria, proporcionat pel fabricant. En aquest cas que el DOD mitjà serà de 20%, per tal d'avaluar el nombre de cicles a partir del gràfic es prendrà un DOD del 30%.

Si es considera que el final de la vida útil de les bateries es produirà quan aquestes arribin a un 80% de la seva capacitat, amb un DOD del 30% poden aguantar 1000 cicles, tal i com es mostra al gràfic de la Figura 38.

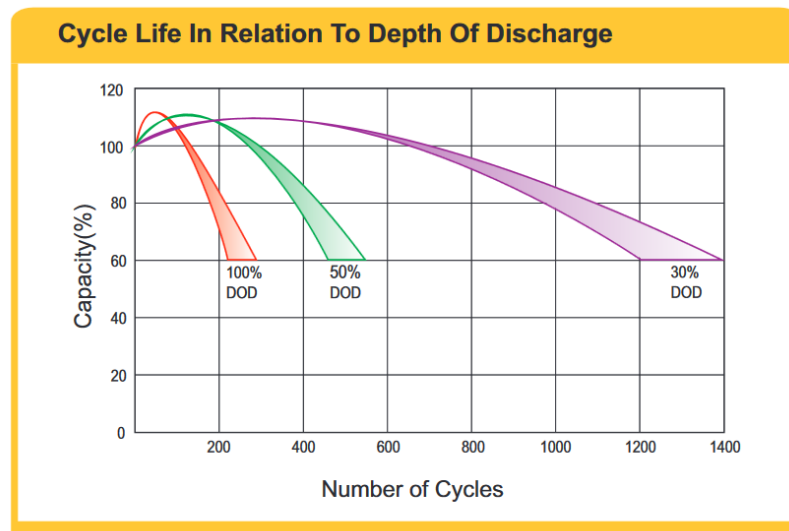


Figura 34. Nombre de cicles que aguanta la bateria en funció del DOD mitjà

Tal i com s'ha vist a l'apartat 3.2.1, els talls de llum es produeixen amb una freqüència mitjana d'entre 1 i 2 cops per setmana. Considerant que cada tall de llum representa un cicle de descàrrega, es pot calcular el temps aproximat que durarà la bateria com

$$Temps\ vida\ bateries\ (setmanes) = \frac{(N^{\circ}\ cicles\ DOD\ 30\%)}{\left(\frac{N^{\circ}\ cicles}{setmana}\right)} \quad (Eq. 8)$$

Considerant que es produeixen 1,5 cicles per setmana i que mentre el DOD sigui de 30% de mitjana la bateria pot aguantar fins a 1000 cicles, el resultat és que la bateria pot durar fins a unes 667 setmanes, que equival a **12,8 anys**.

#### 4.3.5. Càlcul del temps de recàrrega de les bateries a partir de l'excedent fotovoltaic i la xarxa

Es vol saber en quant de temps es podran recarregar les bateries després d'un tall de subministrament de durades de 1h i 2,75h respectivament, amb els excedents calculats a l'apartat 3.2.3. Per fer-ho primer es calcula l'energia que cal subministrar a les bateries com

$$E_{rb}\ (Wh) = \frac{Demanda\ (W) \cdot t_{tall}}{\eta} \quad (Eq. 9)$$

On la demanda es considera de 1500 W, el temps de tall ( $t_{tall}$ ) de 1h i 2,75h respectivament i el rendiment ( $\eta$ ) del 80%. A la

| $t\ (h)$ | Energia necessària per recarregar les bateries, $E_{rb}\ (Wh)$ |
|----------|--|
| 1        | 1875   |
| 2,75     | 5156   |

Taula 18. Energia necessària per a recarregar les bateries després d'un tall de subministrament de la xarxa, segons la durada del tall

En funció de l'època de l'any i l'activitat de l'escola hi variarà la quantitat d'energia excedent, tal i com s'ha exposat a l'apartat 3.2.3. A la Taula 19 es mostren els dies\* que tardaria en recarregar-se les bateries mitjançant l'excedent fotovoltaic, considerant l'excedent mínim i màxim per dia, segons l'època de l'any, d'un dia lectiu.

| temps tall (h) | Excedent/dia min. (2.703 Wh) | Excedent/dia màx. (10.163 Wh) |
|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1              | 0,69                         | 0,18                          |
| 2,75           | 1,91                         | 0,51                          |

Taula 19. Temps de recàrrega de les bateries en dies\*, en funció de la durada del tall i de l'excedent disponible.

\* No fa referència a dies reals (24h) si no al temps d'excedents durant un dia, que es produeix només en hores diürnes. Aquest temps és de 6 hores i 8 hores respectivament.

Considerant que quan hi ha excedent mínim aquest es produeix durant 6 hores de sol del dia, i quan hi ha excedent màxim aquest es produeix durant 8 hores de sol del dia (veure apartat 3.2.3), es fa el càlcul de les hores que es necessitaran per recarregar les bateries només amb l'excedent, multiplicant els valors de la Taula 19 pel nombre d'hores en cada cas. Els resultats es mostren a la

| temps tall (h) | Excedent/dia min. (2.703 Wh) | Excedent/dia màx. (10.163 Wh) |
|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1              | 4,16                         | 1,48                          |
| 2,75           | 1 dia i 5,45 hores           | 4,06                          |

Taula 20. Temps de recàrrega de les bateries en hores, en funció de la durada del tall i de l'excedent disponible.

Es comprova, doncs, que en general l'excedent produït seria suficient per recarregar les bateries prou ràpidament, excepte en el cas que es produeixi un tall de subministrament llarg (2,75h) a l'època de menys radiació solar durant un dia lectiu. Com es pot observar a la taula en aquest cas es tardaria quasi dos dies a recarregar les bateries.

Tot i que és un valor que es pot assumir ja que la probabilitat que hi hagi un altre tall en el període de 2 dies és baixa, si es vol evitar el risc que hi hagi un tall de llum i les bateries no estiguin del tot carregades es podria plantejar l'opció de recarregar les bateries també a través de la xarxa elèctrica.

El temps de recàrrega de les bateries, en hores, en aquest cas es pot calcular com

$$t_{recàrrega} = \frac{E_{rb}}{I_{càrrega_{màx}} \cdot V} \quad (\text{Eq. 10})$$

On  $I_{càrrega_{màx}}$  és la màxima intensitat a la qual es poden carregar les bateries (60 A, especificada pel fabricant),  $V$  és el voltatge del sistema (48 V) i  $E_{rb}$  és l'energia que cal subministrar a les bateries per a recarregar-les (5156,25 Wh en el cas que s'està avaluant, calculat a la Taula 18).

Amb això s'obté un temps de recàrrega  $t_{recàrrega} = 1,79$  hores.

## 4.4. Cablejat i proteccions

### 4.4.1. Cablejat

En aquest apartat es calcula la secció de cablejat del tram que va de l'inversor/carregador fins a les bateries. Pel que fa a la resta de la instal·lació es mantindrà el mateix cablejat ja existent, descrits a l'apartat 2.3.4, únicament caldrà afegir un petit tram de cablejat entre el *smart meter* i l'inversor/carregador Victron Multiplus (10mm<sup>2</sup> per tal d'assegurar que resisteix als 32A màxims marcats per l'interruptor general) i el conductor de connexió a terra per l'inversor/carregador, aquest serà de mínim 4mm<sup>2</sup> (especificat pel fabricant).

Pel càlcul de la secció del tram de CC, des del inversor/carregador fins a les bateries, s'utilitzarà l'equació (Eq. 11).

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

On:

- $S$  és la secció teòrica del conductor [mm<sup>2</sup>]
- $L$  és la longitud del conductor [m]. S'estima  $L = 3 \text{ m}$ , ja que les bateries es posaran a la mateixa sala on hi haurà l'inversor/carregador.
- $I$  és la intensitat màxima que hi circularà [A].
- $u$  és la caiguda de tensió màxima admissible. Es prendrà el valor  $u = 1,5\% V_{DC_{sist}}$ , especificat per el Plec de Condicions tècniques del IDAE. Per tant  $u = 0,72 \text{ V}$
- $C$  és la conductivitat del conductor. En aquest cas s'utilitza coure,  $C = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$

La intensitat màxima que hi pot circular es calcula a partir del valor de pic de potència que especifica el fabricant de l'inversor/carregador. En aquest cas especifica que el pic de potència pot ser de 9000 W, pel que segons el càlcul de l'equació (Eq. 12)  $I = 187,5 \text{ A}$ .

$$I = \frac{\text{Potència}_{max}}{V_{DC_{sist}}} \quad (\text{Eq. 12})$$

Amb això el valor resultant de la Secció teòrica és  $S = 27,9 \text{ mm}^2 \rightarrow 35 \text{ mm}^2$ .



No obstant, si es tractés de l'estat espanyol caldria fer les comprovacions corresponents per tal que compleixi amb la normativa de l'estat. Com que Etiòpia no disposa de normativa pròpia, per fer aquestes comprovacions es prendrà la normativa de l'estat espanyol ja que en el fons es basa en les normatives ISO.

La norma UNE especifica la intensitat màxima admissible en funció de la secció del cablejat i el tipus de muntatge. Els diferents valors es mostren a la taula de la Figura 35.

**TABLA C.52-1 bis (UNE-HD 60364-5-52: 2014)**  
Intensidades admisibles en amperios Temperatura ambiente 40 °C en el aire

| Método de instalación de la tabla B.52-1 | Número de conductores cargados y tipos de aislamiento |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |     |     |     |     |     |    |
|--|---|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|  | A1  | PVC 3 | PVC 2 | PVC 3  | PVC 2 | XLPE 3 | XLPE 2 | XLPE 3 | XLPE 2 | XLPE 3 | XLPE 2 | XLPE 3 | XLPE 2 |     |     |     |     |     |    |
| A2                                       | PVC 3   | PVC 2 |       | XLPE 3 |       | XLPE 3 | XLPE 2 |        |        |        |        |        |        |     |     |     |     |     |    |
| B1                                       |   |       |       | PVC 3  | PVC 2 |        |        |        | XLPE 3 | XLPE 2 |        |        |        |     |     |     |     |     |    |
| B2                                       |   |       |       | PVC 3  | PVC 2 |        |        |        | XLPE 3 | XLPE 2 |        |        |        |     |     |     |     |     |    |
| C  |   |       |       |        | PVC 3 |        |        |        | PVC 2  |        | XLPE 3 |        | XLPE 2 |     |     |     |     |     |    |
| E  |   |       |       |        |       |        | PVC 3  |        |        | PVC 2  |        | XLPE 3 | XLPE 2 |     |     |     |     |     |    |
| F  |   |       |       |        |       |        |        |        | PVC 3  |        | PVC 2  | XLPE 3 | XLPE 2 |     |     |     |     |     |    |
|  | 1   | 2     | 3     | 4      | 5a    | 5b     | 6a     | 6b     | 7a     | 7b     | 8a     | 8b     | 9a     | 9b  | 10a | 10b | 11  | 12  | 13 |
| <b>Sección mm<sup>2</sup></b>            |   |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |     |     |     |     |     |    |
| <b>Cobre</b>                             |   |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |     |     |     |     |     |    |
| 1,5                                      | 11  | 11,5  | 12,5  | 13,5   | 14    | 14,5   | 15,5   | 16     | 16,5   | 17     | 17,5   | 19     | 20     | 20  | 20  | 20  | 21  | 23  | —  |
| 2,5                                      | 15  | 15,5  | 17    | 18     | 19    | 20     | 20     | 21     | 22     | 23     | 24     | 26     | 27     | 26  | 28  | 30  | 32  | —   | —  |
| 4  | 20  | 20    | 22    | 24     | 25    | 26     | 28     | 29     | 30     | 31     | 32     | 34     | 36     | 36  | 38  | 40  | 44  | —   | —  |
| 6  | 25  | 26    | 29    | 31     | 32    | 34     | 36     | 37     | 39     | 40     | 41     | 44     | 46     | 46  | 49  | 52  | 57  | —   | —  |
| 10                                       | 33  | 36    | 40    | 43     | 45    | 46     | 49     | 52     | 54     | 54     | 57     | 60     | 63     | 65  | 68  | 72  | 78  | —   | —  |
| 16                                       | 45  | 48    | 53    | 59     | 61    | 63     | 66     | 69     | 72     | 73     | 77     | 81     | 85     | 87  | 91  | 97  | 104 | —   | —  |
| 25                                       | 59  | 63    | 69    | 77     | 80    | 82     | 86     | 87     | 91     | 95     | 100    | 103    | 108    | 110 | 115 | 122 | 135 | 146 | —  |
| 35                                       | —   | —     | —     | 95     | 100   | 101    | 106    | 109    | 114    | 119    | 124    | 127    | 133    | 137 | 143 | 153 | 168 | 182 | —  |
| 50                                       | —   | —     | —     | 116    | 121   | 122    | 128    | 133    | 139    | 145    | 151    | 155    | 162    | 167 | 174 | 188 | 204 | 220 | —  |
| 70                                       | —   | —     | —     | 148    | 155   | 155    | 162    | 170    | 178    | 185    | 193    | 199    | 208    | 214 | 223 | 243 | 262 | 282 | —  |
| 95                                       | —   | —     | —     | 180    | 188   | 187    | 196    | 207    | 216    | 224    | 234    | 241    | 252    | 259 | 271 | 298 | 320 | 343 | —  |
| 120                                      | —   | —     | —     | 207    | 217   | 216    | 226    | 240    | 251    | 260    | 272    | 280    | 293    | 301 | 314 | 350 | 373 | 397 | —  |
| 150                                      | —   | —     | —     | —      | —     | 247    | 259    | 276    | 289    | 299    | 313    | 322    | 337    | 343 | 359 | 401 | 430 | 458 | —  |
| 185                                      | —   | —     | —     | —      | —     | 281    | 294    | 314    | 329    | 341    | 356    | 368    | 385    | 391 | 409 | 460 | 493 | 523 | —  |
| 240                                      | —   | —     | —     | —      | —     | 330    | 345    | 368    | 385    | 401    | 419    | 435    | 455    | 468 | 489 | 545 | 583 | 617 | —  |
| <b>Aluminio</b>                          |   |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |     |     |     |     |     |    |
| 2,5                                      | 11,5  | 12    | 13    | 14     | 15    | 16     | 16,5   | 17     | 17,5   | 18     | 19     | 20     | 20     | 20  | 21  | 23  | 25  | —   | —  |
| 4  | 15  | 16    | 17    | 19     | 20    | 21     | 22     | 22     | 23     | 24     | 25     | 26     | 28     | 27  | 29  | 31  | 34  | —   | —  |
| 6  | 20  | 20    | 22    | 24     | 25    | 27     | 29     | 28     | 30     | 31     | 32     | 33     | 35     | 36  | 38  | 40  | 44  | —   | —  |
| 10                                       | 26  | 27    | 31    | 33     | 35    | 38     | 40     | 40     | 41     | 42     | 44     | 46     | 49     | 50  | 52  | 56  | 60  | —   | —  |
| 16                                       | 35  | 37    | 41    | 46     | 48    | 50     | 52     | 53     | 55     | 57     | 60     | 63     | 66     | 66  | 70  | 76  | 82  | —   | —  |
| 25                                       | 46  | 49    | 54    | 60     | 63    | 63     | 66     | 67     | 70     | 72     | 75     | 78     | 81     | 84  | 88  | 91  | 98  | 110 | —  |
| 35                                       | —   | —     | —     | 74     | 78    | 78     | 81     | 83     | 87     | 89     | 93     | 97     | 101    | 104 | 109 | 114 | 122 | 136 | —  |
| 50                                       | —   | —     | —     | 90     | 94    | 95     | 100    | 101    | 106    | 108    | 113    | 118    | 123    | 127 | 132 | 140 | 149 | 167 | —  |
| 70                                       | —   | —     | —     | 115    | 121   | 121    | 127    | 130    | 136    | 139    | 145    | 151    | 158    | 162 | 170 | 180 | 192 | 215 | —  |
| 95                                       | —   | —     | —     | 140    | 146   | 147    | 154    | 159    | 166    | 169    | 177    | 183    | 192    | 197 | 206 | 219 | 233 | 262 | —  |
| 120                                      | —   | —     | —     | 161    | 169   | 171    | 179    | 184    | 192    | 196    | 205    | 213    | 222    | 228 | 239 | 254 | 273 | 306 | —  |
| 150                                      | —   | —     | —     | —      | —     | 196    | 205    | 213    | 222    | 227    | 237    | 246    | 257    | 264 | 276 | 294 | 314 | 353 | —  |
| 185                                      | —   | —     | —     | —      | —     | 222    | 232    | 243    | 254    | 259    | 271    | 281    | 293    | 301 | 315 | 337 | 361 | 406 | —  |
| 240                                      | —   | —     | —     | —      | —     | 261    | 273    | 287    | 300    | 306    | 320    | 332    | 347    | 355 | 372 | 399 | 427 | 482 | —  |

Figura 35. Intensitats admissibles segons la normativa UNE-HD 60364-5-52

En aquest cas es considera el muntatge C, XLPE 2, que consisteix en dos cables unipolars sobre una paret. S'observa que en aquest cas la màxima intensitat admissible per la secció de 35mm<sup>2</sup> és de 153 A i, en canvi, hauria de poder suportar fins a 187,5 A.

Per altra banda, en el manual del Victron Multiplus es recomana una secció de 70 mm<sup>2</sup> per a una distància de fins a 5 metres. Amb totes les consideracions prèvies es considera adequat aquest valor de secció recomanat pel fabricant.

#### 4.4.2. Proteccions

Caldrà incorporar elements de protecció al circuit de les bateries i a la sortida de l'inversor/carregador AC-out-1, que és on es connecten totes les càrregues de l'escola. L'entrada de l'inversor/carregador AC-in ha d'estar protegida mitjançant un interruptor magnètic de 50 A o menor, per indicació del fabricant. En aquest cas l'interruptor existent és de 32 A pel que es mantindrà el que ja hi ha instal·lat. Pel que fa a la resta d'instal·lació també es mantindran els elements existents.

A la Figura 36 es recupera l'esquema mostrat a la Figura 29 i es mostren els punts on s'incorporaran elements de protecció els quals seguidament es descriuran amb detall.

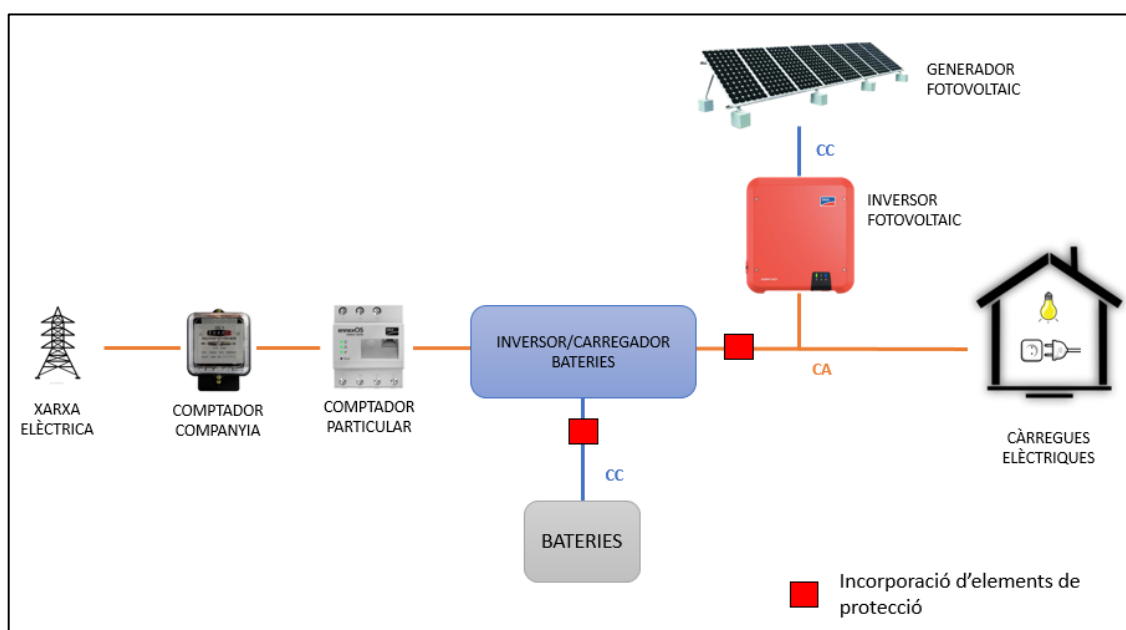


Figura 36. Indicació dels punts de la instal·lació on s'incorporaran elements de protecció

#### Tram inversor/carregador - bateries

Es protegirà el circuit de les bateries mitjançant un fusible. El fusible s'encarrega d'interrompre qualsevol intensitat de sobrecàrrega en els conductors que pugui produir un dany en aquests. Per tal de definir la intensitat del fusible ( $I_n$ ) aquesta ha de complir les següents condicions (segons la norma ITC-BT-22 del Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió):

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (\text{Eq. 13})$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad (\text{Eq. 14})$$

On:

- $I_B$  és la intensitat de treball
- $I_N$  és la intensitat nominal del dispositiu de protecció
- $I_Z$  és la intensitat màxima admissible per l'element a protegir
- $I_2$  és la intensitat convencional de funcionament del dispositiu de protecció (intensitat de fusió en el cas dels fusibles) i es pot calcular com

$$I_2 = 1,6 I_N \quad (\text{Eq. 15})$$

En aquest cas com a intensitat de treball ( $I_B$ ) es considera la màxima que pot haver-hi en un pic de potència, calculada a l'equació (Eq. 12),  $I_B=187,5 A$ . La intensitat màxima admissible del cable  $I_Z$  és  $I_Z = 243 A$  segons la norma UNE-HD 60364-5-52 (veure Figura 35). Per tant, per una banda s'ha de complir que

$$187,5 \leq I_N \leq 243 \quad (\text{Eq. 16})$$

I per l'altra  $I_2 \leq 352,35 A$ , extret de l'equació (Eq. 14). Segons l'equació (Eq. 16) es pot agafar el valor de  $I_N = 200 A$ . Amb aquest valor,  $I_2 = 320 \leq 352,35$  pel que es compleixen les dues condicions. A més, coincideix amb el valor que el fabricant recomana al manual del producte. Per tant, per tal de protegir el circuit de les bateries s'utilitzarà un fusible de **200 A**.

### Sortida AC-out-1 de l'inversor/carregador

Per a la correcta protecció de la instal·lació i tal i com indica el fabricant de l'inversor/carregador, caldrà instal·lar un interruptor diferencial per a les fugues de terra i un fusible o interruptor magneto-tèrmic per tal de protegir tota la instal·lació en cas d'una sobrecàrrega, tot col·locat en sèrie a la sortida.

La intensitat nominal d'aquests elements s'hauria de calcular en funció de la càrrega esperada i la secció de cablejat de la instal·lació. Donat que no és possible saber la secció de cablejat de la instal·lació elèctrica de l'escola, en el cas de l'interruptor magneto-tèrmic es prendrà la mateixa intensitat nominal que l'interruptor general existent, que és de  $I_n=32 A$ . Pel que fa a l'interruptor diferencial es prendrà  $I_n=40A$  ja que és molt més estàndard. La sensibilitat el diferencial serà de 300mA.

### 4.4.3. Resum de la instal·lació

Amb els components que s'han descrit als apartats anteriors (bateries, inversor/carregador i elements de protecció) s'aconsegueix finalment tenir una instal·lació híbrida amb panells solars, bateries i connectada a la xarxa, que permet suplir els talls de subministrament elèctric de l'escola. A l'esquema de la Figura 37 es mostra l'esquema de la instal·lació final i a la Taula 21 un resum dels seus components.

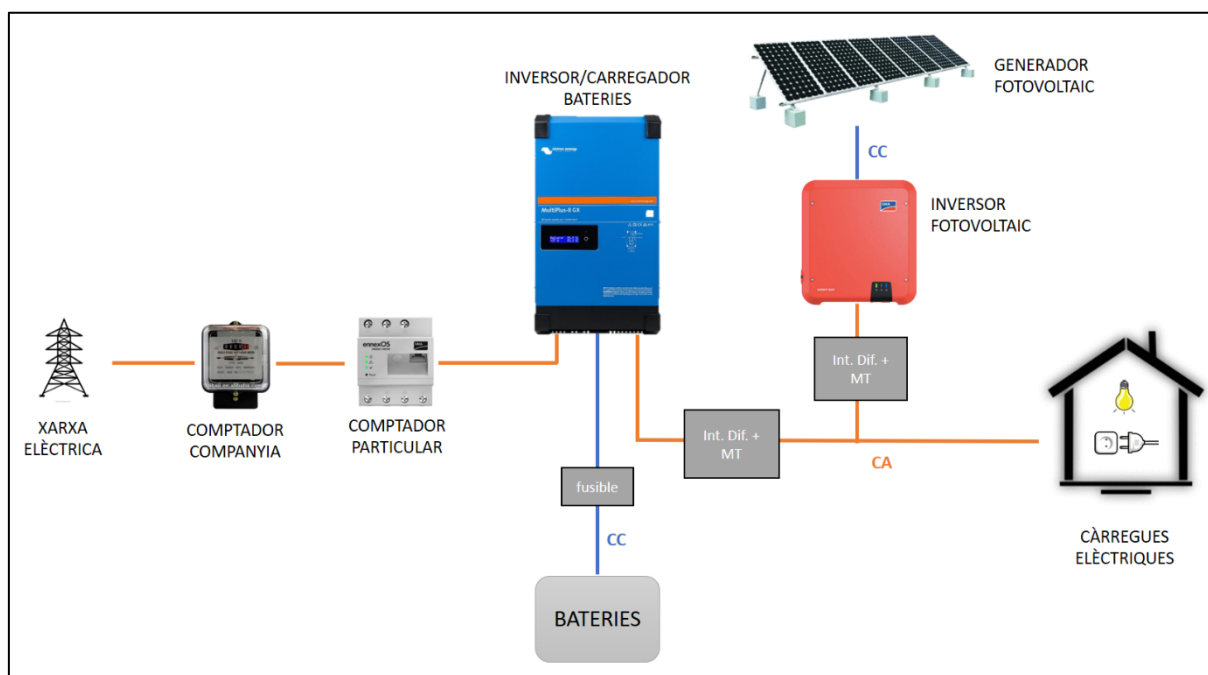


Figura 37. Esquema de la instal·lació híbrida completa

| INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA EXISTENT    |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Mòduls fotovoltaics</b>            | SUNRISE SOLAR SR- M672390HL 390Wp  |
| <b>Nº de mòduls</b>                   | 11   |
| <b>Potència generador fotovoltaic</b> | 4.290 Wp   |
| <b>Inversor fotovoltaic</b>           | SMA Sunny Boy 4.0 4kW  |
| <b>Comptador</b>                      | SMA Energy Meter   |
| <b>Elements de protecció CC</b>       | - Fusibles<br>- Protecció sobretensions  |
| <b>Elements de protecció CA</b>       | - Interruptor magneto-tèrmic 25A<br>- Interruptor diferencial 25A 300mA          |
| INCORPORACIÓ SISTEMA DE BATERIES      |  |
| <b>Inversor/carregador</b>            | Victron Energy Multiplus-II-GX 48/5000 5kVA                                      |
| <b>Bateries</b>                       | 4 x AGM VRLA RITAR RA12-200, 12V, 200Ah, connectades en sèrie. $V_{total}=48V$ . |
| <b>Elements de protecció CC</b>       | - Fusible  |
| <b>Elements de protecció CA</b>       | - Interruptor magneto-tèrmic 32A<br>- Interruptor diferencial 40A 300mA          |

Taula 21. Resum instal·lació fotovoltaica existent i incorporació del sistema de bateries

## 5. ANÀLISI ECONÒMICA

### 5.1. Metodologia

#### 5.1.1. Introducció

En aquest capítol es fa un estudi econòmic tant de la instal·lació fotovoltaica existent com de la incorporació del sistema de bateries. Es vol analitzar el cost que tenen cadascuna de les instal·lacions, la seva rendibilitat i el temps d'amortització. Per fer-ho s'avaluarà cada cas mitjançant els paràmetres TIR, VAN i *Pay-back*.

Les diferents condicions a nivell econòmic són molt diferents a Etiòpia respecte l'estat espanyol. D'entrada, el preu de l'electricitat a Etiòpia està dins els més baixos respecte la resta del món, mentre que Espanya es situa entre els 20 estats on l'electricitat és més cara ([https://www.globalpetrolprices.com/electricity\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/)). A més, des de l'abril del 2019 a Espanya es permet la compensació dels excedents injectats a la xarxa, mentre que a Etiòpia encara no és possible.

Tot això fa que els resultats d'aquests tipus d'instal·lacions a nivell d'amortització sigui molt diferent en cada cas. Per aquest motiu, es farà també l'anàlisi econòmica simulant que la mateixa instal·lació es realitzés a l'estat espanyol, amb els preus d'instal·lació habituals a Espanya. Finalment, es farà una tercera anàlisi considerant la compensació d'excedents aprovada al RD 244/2019.

S'han realitzat tres anàlisis econòmiques sobre les instal·lacions de l'escola d'Abay Mado:

- 1. Instal·lació fotovoltaica existent, sense sistema de bateries.** Tenint en compte que l'energia excedent de la instal·lació fotovoltaica no s'aprofita ja que a Etiòpia no es possible fer-ho.
- 2. Instal·lació del sistema de bateries, utilitzant-se únicament en cas de fallada de la xarxa elèctrica.** El sistema es programa per tal que només es consumeixi energia provinent de les bateries en cas de caiguda de la xarxa elèctrica.
- 3. Instal·lació del sistema de bateries, utilitzant-se també per a alimentar càrregues durant la nit, fins a un DOD del 30%.** El sistema es programa per tal que cada dia pugui descarregar les bateries fins al 30%. D'aquesta manera disminueix l'energia consumida de la xarxa elèctrica, però per altra banda la vida útil de les bateries també minva.

Per tal de veure quina seria la viabilitat econòmica d'una instal·lació amb les mateixes característiques amb les condicions econòmiques de l'estat espanyol, s'han realitzat els següents estudis:

1. **Instal·lació fotovoltaica sense sistema de bateries.**
2. **Instal·lació fotovoltaica amb sistema de bateries utilitzant-se únicament en cas de fallada de la xarxa elèctrica.**
3. **Instal·lació fotovoltaica existent amb sistema de bateries, utilitzant-se també per a alimentar càrregues durant la nit, fins a un DOD del 30%.**

En els tres casos s'ha realitzat un primer estudi sense considerar la compensació d'excedents i un segon considerant que els excedents injectats a la xarxa es compensen segons el RD 244/2019.

### 5.1.2. Paràmetres per a l'anàlisi econòmica

A continuació es descriuen els diferents paràmetres utilitzats i les consideracions fetes per tal de realitzar els estudis econòmics.

- **Cost instal·lació fotovoltaica.** Inclou el cost total de la instal·lació tenint en compte el cost del material, mà d'obra del país, costos de transport i mobilitat de personal. En el cas de l'anàlisi simulant que la instal·lació es fes a Espanya, s'ha agafat el mateix cost del material però s'han obviat els costos de transport i mobilitat de personal. El cost de mà d'obra s'ha considerat el propi de cada país, sent el cost de mà d'obra a Espanya set vegades superior al d'Etiòpia ([https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista\\_de\\_salários\\_mínimos\\_por\\_país](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_salários_mínimos_por_país)).
- **Cost instal·lació sistema de bateries.** Costos de material i mà d'obra pressupostats, tenint en compte el preu de la mà d'obra a cada país.
- **Subvenció.** Percentatge referent a la part del cost de la instal·lació fotovoltaica existent que ha estat subvencionada per fonts externes a l'escola. En aquest cas és del 96%. S'ha considerat el mateix percentatge per a la nova instal·lació del sistema de bateries. En el cas de l'anàlisi simulant que la instal·lació es fes a Espanya s'ha considerat que la subvenció seria nul·la (0%).
- **Energia consumida (kWh/any).** Energia total que consumeix l'escola al llarg d'un any, amb un valor de 8.900 kWh, estimat a partir de les dades del Sunny Portal de SMA.
- **Quota d'autoconsum.** Percentatge corresponent a l'energia consumida que prové del sistema fotovoltaic respecte l'energia total consumida per l'escola. El valor s'ha

establert del 29% tal i com indica el Sunny Portal de SMA. En cas d'incorporar un sistema de bateries per a *backup*, s'ha calculat que aquest augmentaria un 1,3%. Aquest percentatge s'ha obtingut calculant primer l'energia anual que es consumiria de les bateries quan hi hagin talls de llum com

$$E_{talls\_anual} = P_{demanda\_tall} \cdot t_{tall} \cdot freq_{set\_tall} \cdot n_{setmanes} \quad (\text{Eq. 17})$$

On  $P_{demanda\_tall}$  és la potència mitjana que es consumeix amb valor estimat de 1500W, com s'ha descrit a l'apartat 4.3.1.  $t_{tall}$  és el temps mitjà que dura un tall de llum (1h).  $freq_{set\_tall}$  indica el nombre de talls per setmana, estimat a 1,5 i  $n_{setmanes}$  són el nombre de setmanes que té un any ( $n_{setmanes} = 52$ ). Amb això s'obté que  $E_{talls\_anual} = 117 \text{ kWh}$ , que representa un 1,3% respecte el consum total anual de l'escola.

- **Energia auto-consumida.** Energia consumida provinent del sistema fotovoltaic, calculada multiplicant l'energia total consumida per la quota d'autoconsum.
- **Tarifa elèctrica del país (€/kWh).** Preu mitjà (€/kWh) estimat de cada país. En el cas d'Etiòpia s'ha pres el valor de 0,01 €/kWh ([https://www.globalpetrolprices.com/electricity\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/)) mentre que en el cas de l'estat espanyol s'ha considerat el preu de 0,151 €/kWh (<https://comparadorluz.com/tarifas/precio-kwh>) incloent els impostos aplicats.
- **Augment de la tarifa elèctrica.** Percentatge estimat de l'augment anual del preu de l'electricitat. S'ha estimat d'un 0,1% per a Etiòpia i un 5% en el cas d'Espanya, a partir de l'evolució de les tarifes als últims anys.
- **IPC (Índex de Preu de Consums).** Índex de preus que recull i compara els preus d'un conjunt de béns i serveis o productes de consum, és un indicador de la inflació d'un país. En aquest cas s'ha establert per a Etiòpia un IPC = 9,8% i per a Espanya un IPC=0,7%. Font: <https://datos.bancomundial.org/indicador/FP.CPI.TOTL.ZG>.
- **VAN (Valor Actual Net).** S'utilitza per a la valoració de diferents opcions de la inversió, ja que calculant el VAN es podrà conèixer amb quina de les opcions es tindrà un major guany en termes absoluts. Es calcula com

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (\text{Eq. 18})$$

On  $F_t$  són els fluxes de diner de cada període,  $I_o$  és la inversió inicial,  $n$  és el nombre de períodes i  $k$  és el tipus d'interès exigít a la inversió. En aquest cas per a  $k$  es pren el mateix valor que l'IPC.

- **TIR (Taxa Interna de Retorn).** Taxa d'interès o rendibilitat de la inversió. Es defineix com el percentatge de benefici o pèrdua que tindrà una inversió per a les quantitats que no s'hagin retirat del projecte, o bé com el valor de la taxa de descompte que fa que el VAN sigui igual a zero. Per tal d'aconseguir una rendibilitat mínima del projecte d'inversió, el TIR hauria de ser major a  $k$ .
- **Pay-back.** Període d'amortització. Temps requerit per a recuperar el cost del projecte, calculat com

$$Pay - back = a + \frac{I_0 - b}{Ft} \quad (\text{Eq. 19})$$

On  $a$  és l'any immediatament anterior a recuperar la inversió inicial ( $I_0$ ),  $b$  és la suma dels resultats anuals fins el període  $a$ , i  $Ft$  de l'any en que es recupera la inversió. En aquest cas els resultats anuals seran corresponents als estalvis generats de la factura elèctrica.

## 5.2. Resultats

### 5.2.1. Estudis econòmics dels projectes amb les condicions d'Etiòpia

A la Taula 22 es mostren les condicions econòmiques d'Etiòpia que s'han tingut en compte a l'hora de realitzar els estudis econòmics.

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Tarifa Elèctrica</b>                 | 0,010 €/kWh |
| <b>Increment anual tarifa elèctrica</b> | 0,10 %      |
| <b>IPC</b>                              | 9,8 %       |
| <b>Preu mà d'obra</b>                   | 4,29 €/h    |

Taula 22. Condicions econòmiques considerades d'Etiòpia

Els estudis econòmics que s'han realitzat corresponen als següents escenaris:

- Instal·lació fotovoltaica existent, sense sistema de bateries
- Incorporació del sistema de bateries, utilitzant-se únicament en cas de fallada de la xarxa elèctrica.
- Incorporació del sistema de bateries, utilitzant-se també per a alimentar càrregues durant la nit, fins a un DOD del 30%.



A la Taula 23 es mostra, per a cada anàlisi feta, el valor d'alguns paràmetres descrits a l'apartat anterior i el resultat del VAN, TIR i *Pay-back*. Les anàlisis completes es mostren a l'annex C.

| Estudi econòmic | Cost instal·lació | Cost per a l'escola (subvenció 96%) | Quota autoconsum | VAN      | TIR     | Pay-back |
|-----------------|-------------------|-------------------------------------|------------------|----------|---------|----------|
| A               | 11.266,80 €       | 430,00 €                            | 29 %             | 970,23 € | 11,88 % | 10,61    |
| B               | 3.808,14 €        | 152,33 €                            | 1,3 %            | 220,26 € | 0,99 %  | 29,58    |
| C               | 3.808,14 €        | 152,33 €                            | 33,66 %          | 817,04 € | 28,36 % | 4,36     |

Taula 23. Resultats de les anàlisis econòmiques de les instal·lacions de l'escola Abay Mado d'Etiòpia

Tenint en compte que l'escola només ha pagat el 96% del cost de la instal·lació fotovoltaica, tot i el baix cost que té l'electricitat al país, el resultat és que el període d'amortització és de 10,61 anys. Aquest és un termini acceptable tenint en compte que la vida útil de la instal·lació és de 25 anys. El TIR surt per sobre l'IPC del país pel que la inversió per part de l'escola surt rendible, a partir de l'any 11 en començaran a obtenir beneficis.

Pel que fa al sistema de bateries, pels resultats obtinguts semblaria que la millor opció és deixar que es descarregui cada dia fins a un 30% (escenari C). No obstant, l'anàlisi no té en compte la vida útil ni el recanvi necessari de bateries. En l'escenari C, la vida útil de la bateria s'estima de 2,75 anys tenint en compte que cada dia faria un cicle de 30% de descàrrega. Per això un *pay-back* de 4,36 anys en aquest cas no és rendible, a no ser que aconseguissin obtenir les bateries de recanvi subvencionades.

L'escenari B és el que s'ha estudiat d'entrada durant el projecte. És evident que no surt rendible ja que el *pay-back* surt molt elevat. No obstant, cal tenir en compte que, en aquest cas, l'objectiu de la instal·lació no és reduir costos o obtenir un benefici, sinó solucionar el problema de les fallades elèctriques que es produeixen freqüentment a la zona. Aquest és el valor afegit que aporta la instal·lació, tot i suposar un cost econòmic.

### 5.2.2. Estudis econòmics d'una instal·lació amb les mateixes característiques que la de l'escola Abay Mado, però implementada a l'estat espanyol

#### Sense compensació d'excedents

A la Taula 24 es mostren les condicions econòmiques de l'estat espanyol que s'han tingut en compte a l'hora de realitzar els estudis econòmics.

|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| Tarifa Elèctrica                 | 0,151 €/kWh |
| Increment anual tarifa elèctrica | 5 %         |
| IPC                              | 0,7 %       |
| Preu mà d'obra                   | 30 €/h      |

Taula 24. Condicions econòmiques considerades de l'estat espanyol

Els estudis econòmics que s'han realitzat corresponen a les següents tipologies d'instal·lació:

- A) Instal·lació fotovoltaica sense sistema de bateries.
- B) Instal·lació fotovoltaica juntament amb sistema de bateries utilitzant-se únicament en cas de fallada de la xarxa elèctrica.
- C) Instal·lació fotovoltaica juntament amb sistema de bateries utilitzant-se també per a alimentar càrregues durant la nit, fins a un DOD del 30%.

A la Taula 25 es mostra, per a cada anàlisi feta, el valor d'alguns paràmetres descrits a l'apartat anterior i el resultat del VAN, TIR i *pay-back*. Les anàlisis completes es mostren a l'annex D.

| Estudi econòmic | Cost instal·lació | Quota autoconsum | VAN         | TIR    | Pay-back |
|-----------------|-------------------|------------------|-------------|--------|----------|
| A               | 8.073,49 €        | 29 %             | 23.150,65 € | 5,45 % | 15,15    |
| B               | 11.984,49 €       | 30,3 %           | 23.826,52 € | 2,65 % | 19,49    |
| C               | 11.984,49 €       | 61,3 %           | 40.494,35 € | 8,89 % | 11,37    |

Taula 25. Resultats de les anàlisis econòmiques de la instal·lació suposant que es trobés a Espanya, sense compensació d'excedents.

En aquest cas l'escenari menys rendible és el B, com és lògic, ja que les bateries només s'aprofitarien en cas de fallada de la xarxa elèctrica. Considerant que la xarxa elèctrica de l'estat espanyol és prou estable com per no requerir bateries, els resultats dels diferents estudis poden ajudar a valorar la opció d'incorporar bateries en un sistema d'autoconsum amb les característiques que s'han considerat.

Observant el resultat semblaria que sí, ja que l'escenari C té un període d'amortització menor. No obstant, com s'ha comentat anteriorment, no es té en compte la vida útil de les bateries i el fet de necessitar un recanvi faria incrementar molt el període d'amortització. Per tant, es conclou que la millor opció és incorporar un sistema fotovoltaic sense emmagatzematge.

### **Amb compensació d'excedents**

Per a la compensació d'excedents s'han considerat els valors que es mostren a la Taula 26.

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| Tarifa Compensació d'excedents | 0,05 €/kWh |
| Increment anual de la tarifa   | 1 %        |

Taula 26. Condicions econòmiques considerades per a la compensació d'excedents

A la Taula 27 es mostren els resultats per als mateixos escenaris A, B i C, simulant que hi ha compensació dels excedents injectats a la xarxa. Els estudis complets es poden veure a l'annex E.

| Estudi econòmic | VAN         | TIR     | Pay-back |
|-----------------|-------------|---------|----------|
| A               | 30.547,34 € | 9,36 %  | 10,81    |
| B               | 34.911,91 € | 5,74 %  | 14,65    |
| C               | 55.244,90 € | 30,16 % | 9,64     |

Taula 27. Resultats dels estudis econòmics de la instal·lació suposant que es trobés a Espanya, amb compensació d'excedents.

S'observa que gràcies a la compensació dels excedents injectats a la xarxa la inversió surt molt més rendible, reduint en un terç el període d'amortització en cas d'instal·lar un sistema fotovoltaic sense emmagatzematge (escenari A).

Pel que fa a la resta d'escenaris, incorporar bateries encara surt menys rendible respecte quan no es considerava la compensació d'excedents, ja que disminueix la quantitat d'energia excedent pel qual la companyia compensa econòmicament.

Es conclou que la compensació d'excedents és de gran importància a l'hora de poder amortitzar una instal·lació d'aquest tipus a l'estat espanyol. No obstant, cal recordar que fins a l'abril del 2019 no es va aprovar la compensació d'excedents a Espanya.

### 5.3. Pressupost

| Núm                   | Descripció   | Quant. | Unitats | Cost unitari | Total             |
|-----------------------|--|--------|---------|--------------|-------------------|
| <b>MATERIAL</b>       |  |        |         |              |                   |
| 1                     | Inversor /carregador Victron Multiplus-II-GX 48/5000 | 1      | uts.    | 2.000,00 €   | 2.000,00 €        |
| 2                     | Bateries AGM VRLA Ritar RA 12-200Ah                  | 4      | uts.    | 412,89 €     | 1.651,56 €        |
| 3                     | Cable unipolar XLPE 70mm2 0,6/1KV (bateries)         | 6      | m       | 10,00 €      | 60,00 €           |
| 4                     | Cable unipolar PVC 10mm2 0,6/1KV (SM - Multiplus)    | 3      | m       | 1,63 €       | 4,89 €            |
| 5                     | Fusible 200A   | 1      | uts.    | 6,30 €       | 6,30 €            |
| 6                     | Porta-fusibles                                       | 1      | uts.    | 14,90 €      | 14,90 €           |
| 7                     | Interruptor diferencial 2p 40A 300mA                 | 1      | uts.    | 24,40 €      | 24,40 €           |
| 8                     | Interruptor magneto-tèrmic 2p 32A                    | 1      | uts.    | 4,15 €       | 4,15 €            |
| 9                     | Caixa proteccions AC 4 elements IP65                 | 1      | uts.    | 13,60 €      | 13,60 €           |
| 10                    | Caixa proteccions fusible DC                         | 1      | uts.    | 11,20 €      | 11,20 €           |
| <b>TOTAL MATERIAL</b> |  |        |         |              | <b>3.791,00 €</b> |
| <b>MÀ D'OBRA</b>      |  |        |         |              |                   |
| 11                    | Tècnics instal·lació equips                          | 4      | h       | 4,29 €       | 17,14 €           |
| <b>ENGINYERIA</b>     |  |        |         |              |                   |
| 12                    | Honoraris projecte enginyeria                        | 100    | h       | 20,00 €      | 2.000,00 €        |
| <b>Total</b>          |  |        |         |              | <b>5.808,14 €</b> |

## 6. CONCLUSIONS

En la realització del treball s'han complert amb els objectius establerts inicialment, centrats en fer un disseny per a l'adaptació de la instal·lació fotovoltaica per tal que pugui suplir els talls de subministrament elèctric, a través de la incorporació d'un sistema de bateries.

S'ha fet una primera anàlisi de la instal·lació fotovoltaica existent, estudiant-ne els diferents components. Seguidament, s'ha estimat la capacitat de producció de la instal·lació existent a partir de les dades de radiació solar de la zona, proporcionades pel PVGIS.

Un cop s'ha analitzat la instal·lació existent, s'ha fet un estudi energètic de l'escola a partir de les dades de consum aportades per l'*energy meter* instal·lat. Partint del consum total actual de l'escola i de l'estimació de producció, s'han pogut calcular els excedents que es poden generar.

A continuació s'ha realitzat el disseny del sistema híbrid amb bateries. Per fer-ho s'han avaluat diferents tipologies possibles d'instal·lacions fins a arribar a l'escollida i s'ha descrit cada component elegit justificant-ho amb els càlculs corresponents.

Finalment s'ha realitzat un estudi econòmic tant de la instal·lació existent com de la incorporació de bateries. Degut que les condicions econòmiques a Etiòpia són molt diferents que les de l'estat espanyol, s'ha realitzat també una anàlisi econòmica simulant que la instal·lació estigués a l'estat espanyol i també considerant la compensació d'excedents. D'aquesta manera s'ha pogut valorar la viabilitat d'una instal·lació similar a Espanya i l'efecte del RD 244/2019.

Es conclou que és viable la incorporació del sistema de bateries que permeti solucionar el problema actual dels talls de subministrament elèctric, aprofitant la instal·lació fotovoltaica actual. Si bé pot suposar un cost que no s'amortitzarà, com s'ha vist, gràcies a aquesta instal·lació l'escola deixarà de patir les fallades de la xarxa elèctrica.

## **7. RELACIÓ DE DOCUMENTS**

El treball consta d'un sol document: "Memòria i annexos".

## 8. BIBLIOGRAFIA

BATTERY University. (<http://www.batteryuniversity.com/>)

BLANCO ARDINERO, I. Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial. Proyecto de Fi de Carrera. Ingeniería Técnica Eléctrica Industrial. Escola Politècnica Superior. Universitat Carlos III de Madrid. 2010. ([https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6063/PFC\\_Israel\\_Blanco\\_Sardinero.pdf?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6063/PFC_Israel_Blanco_Sardinero.pdf?sequence=1))

COMPARADORLUZ. Precio kWh de luz en el mercado libre 2020. 2020. (<https://comparadorluz.com/tarifas/precio-kwh>)

ELECTROMATERIAL. (<https://www.electromaterial.com/>)

EU SCIENCE HUB. Data sources and calculation methods. 2019. (<https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods#References>)

FORMACIÓN PARA LA INDUSTRIA 4.0. El diferencial. (<https://automatismoidustrial.com/a-instalaciones-de-enlace/3-1-elementos-de-proteccion/3-1-el-diferencial/>)

GLOBAL PETROL PRICES ([https://www.globalpetrolprices.com/electricity\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/))

MALO SOSA, C. Diseño y planificación de un conjunto de cabañas ecológicas y sostenibles en Madagascar. Memòria Treball Final de Màster. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). 2011. (<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11076/Mem%C3%B2ria.pdf>)

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO. Guía técnica de aplicación: instalaciones interiores. GUIA BT.-19: Instalaciones interiores o receptoras. Prescripciones generales. 2009. ([http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/quias/guia\\_bt\\_19\\_feb09R2.pdf](http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/quias/guia_bt_19_feb09R2.pdf))

MIT ELECTRIC VEHICLE TEAM . A Guide to Understanding Battery Specifications. 2008. ([http://web.mit.edu/evt/summary\\_battery\\_specifications.pdf](http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf))

ROCA PARADELL, J. F. Muntatge d'instal·lacions solars fotovoltaïques. ([https://ioc.xtec.cat/materials/FP/Materials/0801 IEA/IEA\\_0801\\_M06/web/html/media/fp\\_iea\\_m06\\_u1\\_pdfindex.pdf](https://ioc.xtec.cat/materials/FP/Materials/0801 IEA/IEA_0801_M06/web/html/media/fp_iea_m06_u1_pdfindex.pdf))

SEVILLA, A. Tasa interna de retorno (TIR). (<https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>)

VELAYO MORALES, V. Payback o plazo de recuperación. (<https://economipedia.com/definiciones/payback.html>)

VELAYO MORALES, V. Valor actual neto (VAN). (<https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>)

WHOLEALE SOLAR. How to Add Battery Backup to an Existing Grid-Tied Solar System. 2019. (<https://www.wholesalesolar.com/blog/add-battery-backup-to-grid-tied-solar-system>)

VICTRON ENERGY. AC-coupling and the Factor 1.0 rule. 2020. ([https://www.victronenergy.com/live/ac\\_coupling:start](https://www.victronenergy.com/live/ac_coupling:start))

VICTRON ENERGY. ESS Design and installation manual. 2020 (<https://www.victronenergy.com/live/ess:design-installation-manual>)

# ANNEXOS



## ANNEXOS

- A. Càlcul estimatiu de les pèrdues del sistema fotovoltaic.
- B. Paràmetres i definicions de les bateries
- C. Anàlisis econòmiques – Etiòpia
- D. Anàlisis econòmiques – Espanya – sense compensació d'excedents
- E. Anàlisis econòmiques – Espanya – amb compensació d'excedents
- F. Esquema unifilar
- G. Documentació tècnica dels components
  - 1. Full de característiques mòduls fotovoltaics SUNRISE SR-M672HL Series
  - 2. Full de característiques Inversor SMA Sunny Boy
  - 3. Full de característiques SMA Energy Meter
  - 4. Full de característiques Inversor/carregador Victron Multiplus-II GX
  - 5. Full de característiques bateria Ritar RA12-200

## A. CÀLCUL ESTIMATIU DE LES PÈRDUES DEL SISTEMA FOTOVOLTAIC

Les pèrdues del sistema es consideraran com les degudes a l'inversor, al cablejat i degradació dels panells amb el pas del temps.

$$Pèrdues_{sistema} = Pèrdues_{inversor} + Pèrdues_{temps} + Pèrdues_{cablejat} \quad (\text{Eq. 20})$$

El rendiment de l'inversor és proporcionat pel fabricant i en aquest cas és 97% màxim. Aquest disminuirà quan l'inversor no treballi a plena càrrega.

Les pèrdues pel pas del temps es consideren d'un 5% en total, tal i com s'ha esmentat anteriorment.

Les pèrdues del cablejat s'han estimat d'un 0,55% a través del següent càlcul:

Al cablejat es produeix una caiguda de tensió que es pot calcular com

$$\Delta V = I \cdot R \quad (\text{Eq. 21})$$

On R és la resistència del cable la qual es calcula com

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (\text{Eq. 22})$$

On  $\rho$  és la resistivitat del cable (0.0172  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  pel coure), L la longitud en metres i A la secció del cable en  $\text{mm}^2$ . En aquest cas  $L=60\text{m}$  i  $A=4\text{mm}^2$ , pel que  $R=0,258 \Omega$ .

$I = I_{pm} = 9,49 \text{ A}$ , pel que  $\Delta V = 2,45 \text{ V}$  i per tant les pèrdues del cablejat calculades a partir de l'expressió (Eq. 23) seran de 0,55%.

$$Pèrdues_{cablejat} = \%V = \frac{\Delta V}{\text{Num panells} \cdot V_{mp}} \quad (\text{Eq. 23})$$

Amb tot, els diferents rendiments són:

$$\eta_{inversor} = 97\%$$

$$\eta_{temps} = 95\%$$

$$\eta_{cablejat} = 99,45\%$$

La combinació de tots ells dona el rendiment global del sistema  $\eta_{sist}=91,6\%$ , calculat a partir de l'equació (Eq. 24).

$$\eta_{sist} = \eta_{inversor} \cdot \eta_{temps} \cdot \eta_{cablejat} \quad (\text{Eq. 24})$$

O dit d'una altra manera les pèrdues del sistema són de 8,4%.

En aquest rendiment del sistema hi ha pèrdues que no s'han considerat com les pèrdues elèctriques que puguin ser produïdes per elements de protecció o bé pèrdues a l'inversor quan aquest no treballa a plena càrrega. Amb tot, es podria estimar un 5% més de pèrdues addicionals com a factor de seguretat, amb el que les pèrdues estimades serien de 13,4%, valor que s'ajusta molt al 14% recomanat pel PVGIS.

## **B. PARÀMETRES I DEFINICIONS DE LES BATERIES**

### **Voltatge de circuit obert (V)**

La tensió de circuit obert ( $V_{oc}$ ) és el voltatge a través dels terminals de piles quan és en repòs (la bateria no s'està carregant ni descarregant).

### **Voltatge nominal (V)**

Les bateries estan marcades amb voltatge nominal. Aquest voltatge és aquell en el qual el sistema funcionarà. En un sistema FV, el seu valor normalment és de 12V, 24V o 48V. No obstant això, la tensió de circuit obert en una bateria completament carregada és de 5 a 7% superior. La tensió de circuit tancat ( $V_{cc}$ ) és la tensió de funcionament.

### **Voltatge de tall (Cut-off Voltage) (V)**

Tensió mínima permesa, que generalment defineix l'estat "buit" de la bateria.

### **Voltatge de terminal (V)**

Tensió entre els terminals de bateries amb càrrega aplicada. Voltatge terminal varia amb el SOC i corrent de descàrrega/càrrega.

### **Voltatge de càrrega**

El voltatge que la bateria es carrega en el càrrec a plena capacitat.

### **Voltatge de flotació**

És el voltatge al qual la bateria ha de mantenir-se alimentada després d'haver estat carregada al 100% de la seva capacitat, per tal de mantenir aquesta capacitat i compensar així l'auto-descàrrega de la bateria.

### **Resistència interna ( $\Omega$ )**

Les bateries tenen una resistència interna, que en general és diferent per a la càrrega i descàrrega i depenen de l'estat de la bateria de càrrega. A mesura que augmenta la resistència interna, l'eficiència de la bateria disminueix.

### **Capacitat o capacitat nominal (Ah)**

La capacitat d'una bateria representa el corrent de descàrrega que pot oferir una bateria amb el temps, i es descriu amb Amperes-hora (Ah). Es calcula multiplicant el corrent de descàrrega (A) pel temps de descàrrega (h), i el seu valor disminueix amb l'augment del rati de descàrrega (C-rate).

### **Rati de descàrrega o classificació C (C-Rate)**

La capacitat d'una bateria depèn de la velocitat en la que es descarrega. És per això que el valor de capacitat de la bateria sempre va acompanyat d'una classificació C, (C10, C20, C100...). Aquest valor indica les hores de descàrrega de la bateria. Per exemple, si una bateria té una capacitat de 200 Ah C10 indica que tindrà aquesta capacitat sempre i quan es descarregui durant 10 hores. És a dir la bateria serà capaç de proporcionar 20 A durant 10 hores. Si la intensitat de descàrrega és major, per exemple 40A, la bateria no durarà 5 hores, sinó que en durarà menys perquè la velocitat de descàrrega és major.

### **Energia o energia nominal (WH)**

Indica l'energia nominal d'una bateria disponible amb el 100% d'estat de càrrega per a la tensió de tall determinada, quan la bateria es descarrega en una determinada corrent de descàrrega (especificada amb la classificació C). Igual que la capacitat, l'energia nominal varia en funció de la velocitat de descàrrega.

### **Energia específica (WH/kg), densitat d'energia (WH/L), potència específica (W/kg) i densitat de potència (W/L)**

Densitat d'energia específica o d'energia gravimètrica defineix la capacitat de la bateria en pes (WH/kg). La densitat d'energia o densitat d'energia volumètrica reflecteix el volum en litres (VH/L). El poder específic és la màxima potència disponible per unitat de massa (W/kg), mentre que la densitat de potència és la potència màxima disponible per unitat de volum (W/L).

### **Estat de càrrega (State of Charge, SOC) (%)**

L'estat de càrrega o SOC expressa la capacitat actual de la bateria com un percentatge respecte la capacitat màxima.

### **Profunditat de descàrrega (Depth of Discharge, DOD) (%)**

La profunditat de descàrrega o DOD indica la porció de la bateria que s'ha descarregat expressat com a percentatge respecte la màxima capacita de la bateria.

### **Vida útil expressada en cicles**

La vida útil de la bateria es sol expressar en nombre de cicles, que és el nombre total de cicles de càrrega de descàrrega que la bateria pot experimentar. S'estima en condicions específiques de càrrega i descàrrega. El valor de la vida depèn del DOD, de manera que com més gran sigui el DOD menor serà la vida útil de la bateria, tal i com es mostra a la Figura 38. No obstant això, la vida operativa real de la bateria també es veu afectada per la taxa de cicles i algunes condicions com la temperatura i la humitat.

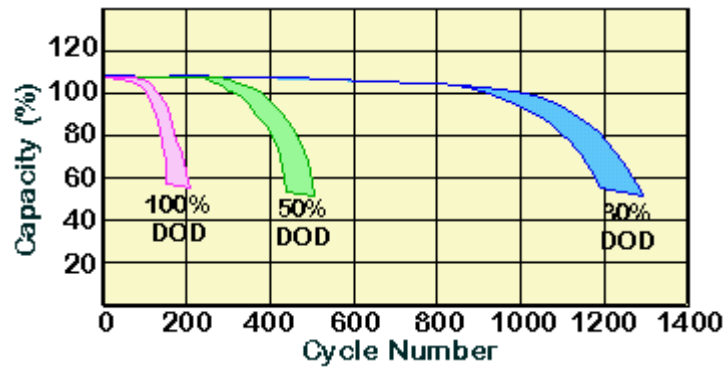


Figura 38. Vida útil d'una bateria en funció del DOD

### **Corrent de descàrrega màxima continu**

Indica la màxima intensitat en la que la bateria es pot descarregar de manera contínua, per tal d'evitar taxes de descàrrega excessives que malmetin la bateria o redueixin la seva capacitat.

## C. ANÀLISIS ECONÒMIQUES – ETIÒPIA

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| Energia consumida (kWh/any)      | 8.900 |
| Quota autoconsum                 | 29%   |
| Energia auto-consumida (kWh/any) | 2.581 |
| Performance Ratio (PR)           | 0,74  |
| Cost instal·lació (€/Wp)         | 2,63  |
| Potència instal·lació (Wp)       | 4.290 |
| Tarifa Elèctrica (€/kWh) *       | 0,010 |
| Augment tarifa elèctrica         | 0,10% |
| IPC                              | 9,8%  |

|  |  |
|--|--|
| <b>A) ESTUDI ECONÒMIC<br/>INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA<br/>EXISTENT ESCOLA ABAY MADO, SENSE<br/>SISTEMA DE BATERIES</b> |  |
| - PREUS ETIÒPIA  |  |

|                     |      |             |
|---------------------|------|-------------|
| Cost instal·lació   | 100% | 11.266,80 € |
| Aportació inicial   | 100% |             |
| Subvenció           | 96%  |             |
| Cost per a l'escola | 4%   | 430,00 €    |

\* Preu Etiòpia. Font: [https://www.globalpetrolprices.com/electricity\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/)

|      | Anys | Energia auto-consumida kWh/any | Tarifa Elèctrica aproximada | Estalvi factura elèctrica anual | Estalvi acumulat | Resultat       |
|------|------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------|----------------|
| 2019 | 0    |                                |                             |                                 |                  | -430,00 €      |
| 2020 | 1    | 2.581,00                       | 0,0100                      | 25,81 €                         | 25,81 €          | 26 €           |
| 2021 | 2    | 2.560,35                       | 0,0110                      | 28,14 €                         | 53,95 €          | 28 €           |
| 2022 | 3    | 2.539,87                       | 0,0121                      | 30,68 €                         | 84,62 €          | 31 €           |
| 2023 | 4    | 2.519,55                       | 0,0133                      | 33,44 €                         | 118,07 €         | 33 €           |
| 2024 | 5    | 2.499,39                       | 0,0146                      | 36,46 €                         | 154,53 €         | 36 €           |
| 2025 | 6    | 2.479,40                       | 0,0160                      | 39,75 €                         | 194,28 €         | 40 €           |
| 2026 | 7    | 2.459,56                       | 0,0176                      | 43,34 €                         | 237,61 €         | 43 €           |
| 2027 | 8    | 2.439,89                       | 0,0194                      | 47,24 €                         | 284,86 €         | 47 €           |
| 2028 | 9    | 2.420,37                       | 0,0213                      | 51,51 €                         | 336,37 €         | 52 €           |
| 2029 | 10   | 2.401,00                       | 0,0234                      | 56,15 €                         | 392,52 €         | 56 €           |
| 2030 | 11   | 2.381,80                       | 0,0257                      | 61,22 €                         | 453,74 €         | 61 €           |
| 2031 | 12   | 2.362,74                       | 0,0282                      | 66,74 €                         | 520,48 €         | 67 €           |
| 2032 | 13   | 2.343,84                       | 0,0310                      | 72,76 €                         | 593,24 €         | 73 €           |
| 2033 | 14   | 2.325,09                       | 0,0341                      | 79,32 €                         | 672,56 €         | 79 €           |
| 2034 | 15   | 2.306,49                       | 0,0375                      | 86,48 €                         | 759,05 €         | 86 €           |
| 2035 | 16   | 2.288,04                       | 0,0412                      | 94,28 €                         | 853,33 €         | 94 €           |
| 2036 | 17   | 2.269,73                       | 0,0453                      | 102,79 €                        | 956,11 €         | 103 €          |
| 2037 | 18   | 2.251,58                       | 0,0498                      | 112,06 €                        | 1.068,17 €       | 112 €          |
| 2038 | 19   | 2.233,56                       | 0,0547                      | 122,17 €                        | 1.190,34 €       | 122 €          |
| 2039 | 20   | 2.215,69                       | 0,0601                      | 133,19 €                        | 1.323,53 €       | 133 €          |
| 2040 | 21   | 2.197,97                       | 0,0661                      | 145,20 €                        | 1.468,73 €       | 145 €          |
| 2041 | 22   | 2.180,38                       | 0,0726                      | 158,30 €                        | 1.627,03 €       | 158 €          |
| 2042 | 23   | 2.162,94                       | 0,0798                      | 172,58 €                        | 1.799,61 €       | 173 €          |
| 2043 | 24   | 2.145,64                       | 0,0877                      | 188,15 €                        | 1.987,76 €       | 188 €          |
| 2044 | 25   | 2.128,47                       | 0,0964                      | 205,12 €                        | 2.192,89 €       | 205 €          |
|      |      |                                |                             |                                 |                  | <b>2.193 €</b> |

|            |          |
|------------|----------|
| TIR        | 11,88%   |
| VAN        | 970,23 € |
| Pay-Back * | 10,61    |

\*Període de retorn de la inversió en anys (Pay - Back)

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| Energia consumida (kWh/any)          | 8.900 |
| Quota autoconsum                     | 1,3%  |
| Energia auto-consumida BAT (kWh/any) | 116   |
| Tarifa Elèctrica (€/kWh) *           | 0,010 |
| Augment tarifa elèctrica             | 0,10% |
| IPC                                  | 9,80% |
| Vida útil bateries (anys)            | 12,82 |

\* Preu Etiòpia. Font: [https://www.globalpetrolprices.com/electricity\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/)

|  |
|--|
| <b>B) ESTUDI ECONÒMIC<br/>INSTAL·LACIÓ SISTEMA<br/>BATERIES ESCOLA ABAY MADO.<br/>UTILITZACIÓ BACK-UP.</b> |
| <b>- PREUS ETIÒPIA</b>   |

| BATERIES       |      |            |
|----------------|------|------------|
| Cost inst.     | 100% | 3.808,14 € |
| Aport. inicial | 100% |            |
| Subvenció      | 96%  |            |
| Cost escola    | 4%   | 152,33 €   |

|      | Anys | Energia auto-consumida kWh/any | Tarifa Elèctrica aproximada | Estalvi factura elèctrica anual | Estalvi acumulat | Resultat     |
|------|------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------|--------------|
| 2020 | 0    |                                |                             |                                 |                  | -152,33 €    |
| 2021 | 1    | 115,70                         | 0,0100                      | 1,16 €                          | 1,16 €           | 1 €          |
| 2022 | 2    | 114,77                         | 0,0110                      | 1,26 €                          | 2,42 €           | 1 €          |
| 2023 | 3    | 113,86                         | 0,0121                      | 1,38 €                          | 3,79 €           | 1 €          |
| 2024 | 4    | 112,95                         | 0,0133                      | 1,50 €                          | 5,29 €           | 1 €          |
| 2025 | 5    | 112,04                         | 0,0146                      | 1,63 €                          | 6,93 €           | 2 €          |
| 2026 | 6    | 111,15                         | 0,0160                      | 1,78 €                          | 8,71 €           | 2 €          |
| 2027 | 7    | 110,26                         | 0,0176                      | 1,94 €                          | 10,65 €          | 2 €          |
| 2028 | 8    | 109,37                         | 0,0194                      | 2,12 €                          | 12,77 €          | 2 €          |
| 2029 | 9    | 108,50                         | 0,0213                      | 2,31 €                          | 15,08 €          | 2 €          |
| 2030 | 10   | 107,63                         | 0,0234                      | 2,52 €                          | 17,60 €          | 3 €          |
| 2031 | 11   | 106,77                         | 0,0257                      | 2,74 €                          | 20,34 €          | 3 €          |
| 2032 | 12   | 105,92                         | 0,0282                      | 2,99 €                          | 23,33 €          | 3 €          |
| 2033 | 13   | 105,07                         | 0,0310                      | 3,26 €                          | 26,59 €          | 3 €          |
| 2034 | 14   | 104,23                         | 0,0341                      | 3,56 €                          | 30,15 €          | 4 €          |
| 2035 | 15   | 103,39                         | 0,0375                      | 3,88 €                          | 34,03 €          | 4 €          |
| 2036 | 16   | 102,57                         | 0,0412                      | 4,23 €                          | 38,25 €          | 4 €          |
| 2037 | 17   | 101,75                         | 0,0453                      | 4,61 €                          | 42,86 €          | 5 €          |
| 2038 | 18   | 100,93                         | 0,0498                      | 5,02 €                          | 47,88 €          | 5 €          |
| 2039 | 19   | 100,13                         | 0,0547                      | 5,48 €                          | 53,36 €          | 5 €          |
| 2040 | 20   | 99,32                          | 0,0601                      | 5,97 €                          | 59,33 €          | 6 €          |
| 2041 | 21   | 98,53                          | 0,0661                      | 6,51 €                          | 65,84 €          | 7 €          |
| 2042 | 22   | 97,74                          | 0,0726                      | 7,10 €                          | 72,94 €          | 7 €          |
| 2043 | 23   | 96,96                          | 0,0798                      | 7,74 €                          | 80,67 €          | 8 €          |
| 2044 | 24   | 96,18                          | 0,0877                      | 8,43 €                          | 89,11 €          | 8 €          |
| 2045 | 25   | 95,41                          | 0,0964                      | 9,20 €                          | 98,30 €          | 9 €          |
| 2046 | 26   | 94,65                          | 0,1059                      | 10,02 €                         | 108,33 €         | 10 €         |
| 2047 | 27   | 93,89                          | 0,1164                      | 10,93 €                         | 119,26 €         | 11 €         |
| 2048 | 28   | 93,14                          | 0,1279                      | 11,91 €                         | 131,17 €         | 12 €         |
| 2049 | 29   | 92,40                          | 0,1406                      | 12,99 €                         | 144,16 €         | 13 €         |
| 2050 | 30   | 91,66                          | 0,1545                      | 14,16 €                         | 158,32 €         | 14 €         |
| 2051 | 31   | 90,93                          | 0,1698                      | 15,44 €                         | 173,76 €         | 15 €         |
| 2052 | 32   | 90,20                          | 0,1866                      | 16,83 €                         | 190,59 €         | 17 €         |
|      |      |                                |                             |                                 |                  | <b>191 €</b> |

|            |          |
|------------|----------|
| TIR        | 0,99%    |
| VAN        | 220,26 € |
| Pay-Back * | 29,58    |

\*Període de retorn de la inversió en anys (Pay - Back)



|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| Energia consumida (kWh/any)          | 8.900  |
| Quota autoconsum                     | 33,66% |
| Energia auto-consumida BAT (kWh/any) | 2.996  |
| Tarifa Elèctrica (€/kWh) *           | 0,010  |
| Augment tarifa elèctrica             | 0,10%  |
| IPC                                  | 9,80%  |
| Vida útil bateries (anys)            | 2,75   |

\* Preu Etiòpia. Font: [https://www.globalpetrolprices.com/electricity\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/)

|   |  |
|---|--|
| <b>C) ESTUDI ECONÒMIC<br/>INSTAL·LACIÓ SISTEMA BATERIES<br/>ESCOLA ABAY MADO. UTILITZACIÓ<br/>AUTOCONSUM DOD30%</b> |  |
| <b>- PREUS ETIÒPIA</b>  |  |

|                            |      |            |
|----------------------------|------|------------|
| <b>SIST.<br/>BATERIES</b>  |      |            |
| <b>Cost instal·lació</b>   | 100% | 3.808,14 € |
| <b>Aportació inicial</b>   | 100% |            |
| <b>Subvenció</b>           | 96%  |            |
| <b>Cost per a l'escola</b> | 4%   | 152,33 €   |

|      | Anys | Energia auto-consumida kWh/any | Tarifa Elèctrica aproximada | Estalvi fact. elèctrica anual | Estalvi acumulat | Resultat       |
|------|------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|
| 2020 | 0    |                                |                             |                               |                  | -152,33 €      |
| 2021 | 1    | 2.995,70                       | 0,0100                      | 29,96 €                       | 29,96 €          | 30 €           |
| 2022 | 2    | 2.971,73                       | 0,0110                      | 32,66 €                       | 62,62 €          | 33 €           |
| 2023 | 3    | 2.947,96                       | 0,0121                      | 35,61 €                       | 98,22 €          | 36 €           |
| 2024 | 4    | 2.924,38                       | 0,0133                      | 38,82 €                       | 137,04 €         | 39 €           |
| 2025 | 5    | 2.900,98                       | 0,0146                      | 42,32 €                       | 179,36 €         | 42 €           |
| 2026 | 6    | 2.877,77                       | 0,0160                      | 46,14 €                       | 225,49 €         | 46 €           |
| 2027 | 7    | 2.854,75                       | 0,0176                      | 50,30 €                       | 275,79 €         | 50 €           |
| 2028 | 8    | 2.831,91                       | 0,0194                      | 54,84 €                       | 330,63 €         | 55 €           |
| 2029 | 9    | 2.809,26                       | 0,0213                      | 59,78 €                       | 390,41 €         | 60 €           |
| 2030 | 10   | 2.786,78                       | 0,0234                      | 65,18 €                       | 455,59 €         | 65 €           |
| 2031 | 11   | 2.764,49                       | 0,0257                      | 71,05 €                       | 526,64 €         | 71 €           |
| 2032 | 12   | 2.742,37                       | 0,0282                      | 77,46 €                       | 604,11 €         | 77 €           |
| 2033 | 13   | 2.720,44                       | 0,0310                      | 84,45 €                       | 688,56 €         | 84 €           |
| 2034 | 14   | 2.698,67                       | 0,0341                      | 92,07 €                       | 780,63 €         | 92 €           |
| 2035 | 15   | 2.677,08                       | 0,0375                      | 100,38 €                      | 881,00 €         | 100 €          |
| 2036 | 16   | 2.655,67                       | 0,0412                      | 109,43 €                      | 990,43 €         | 109 €          |
| 2037 | 17   | 2.634,42                       | 0,0453                      | 119,30 €                      | 1.109,74 €       | 119 €          |
| 2038 | 18   | 2.613,34                       | 0,0498                      | 130,06 €                      | 1.239,80 €       | 130 €          |
| 2039 | 19   | 2.592,44                       | 0,0547                      | 141,80 €                      | 1.381,60 €       | 142 €          |
| 2040 | 20   | 2.571,70                       | 0,0601                      | 154,59 €                      | 1.536,19 €       | 155 €          |
| 2041 | 21   | 2.551,13                       | 0,0661                      | 168,53 €                      | 1.704,72 €       | 169 €          |
| 2042 | 22   | 2.530,72                       | 0,0726                      | 183,74 €                      | 1.888,46 €       | 184 €          |
| 2043 | 23   | 2.510,47                       | 0,0798                      | 200,31 €                      | 2.088,77 €       | 200 €          |
| 2044 | 24   | 2.490,39                       | 0,0877                      | 218,38 €                      | 2.307,15 €       | 218 €          |
| 2045 | 25   | 2.470,46                       | 0,0964                      | 238,08 €                      | 2.545,23 €       | 238 €          |
|      |      |                                |                             |                               |                  | <b>2.545 €</b> |

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| <b>TIR</b>        | <b>28,36%</b>   |
| <b>VAN</b>        | <b>817,04 €</b> |
| <b>Pay-Back *</b> | <b>4,36</b>     |

\*Període de retorn de la inversió en anys (Pay - Back)

## D. ANÀLISIS ECONÒMIQUES – ESPANYA – SENSE COMPENSACIÓ D'EXCEDENTS

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| Energia consumida (kWh/any)      | 8.900 |
| Quota autoconsum                 | 29%   |
| Energia auto-consumida (kWh/any) | 2.581 |
| Performance Ratio (PR)           | 0,74  |
| Cost instal·lació (€/Wp)         | 1,88  |
| Potència instal·lació (Wp)       | 4.290 |
| Tarifa Elèctrica (€/kWh) *       | 0,151 |
| Augment tarifa elèctrica         | 5,00% |
| IPC                              | 0,7%  |

|   |  |
|---|--|
| <b>A) ESTUDI ECONÒMIC<br/>INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA, SENSE<br/>SISTEMA BATERIES</b> |  |
| - PREUS ESPANYA SENSE COMPENSACIÓ EXC.  |  |

|                     |      |            |
|---------------------|------|------------|
| Cost instal·lació   | 100% | 8.073,49 € |
| Aportació inicial   | 100% |            |
| Subvenció           | 0%   |            |
| Cost per a l'escola | 100% | 8.073,49 € |

\* Preu Espanya. Font: <https://comparadorluz.com/tarifas/precio-kwh>

|      | Anys | Energia auto-cons. kWh/any | Tarifa Elèctrica aproximada | Estalvi factura elèctrica anual | Estalvi acumulat | Resultat        |
|------|------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|
| 2019 | 0    |                            |                             |                                 |                  | -8.073,49 €     |
| 2020 | 1    | 2.581,00                   | 0,1513                      | 390,60 €                        | 390,60 €         | 391 €           |
| 2021 | 2    | 2.560,35                   | 0,1600                      | 409,56 €                        | 800,16 €         | 410 €           |
| 2022 | 3    | 2.539,87                   | 0,1680                      | 426,60 €                        | 1.226,75 €       | 427 €           |
| 2023 | 4    | 2.519,55                   | 0,1764                      | 444,34 €                        | 1.671,09 €       | 444 €           |
| 2024 | 5    | 2.499,39                   | 0,1852                      | 462,83 €                        | 2.133,92 €       | 463 €           |
| 2025 | 6    | 2.479,40                   | 0,1944                      | 482,08 €                        | 2.616,00 €       | 482 €           |
| 2026 | 7    | 2.459,56                   | 0,2042                      | 502,14 €                        | 3.118,14 €       | 502 €           |
| 2027 | 8    | 2.439,89                   | 0,2144                      | 523,02 €                        | 3.641,16 €       | 523 €           |
| 2028 | 9    | 2.420,37                   | 0,2251                      | 544,78 €                        | 4.185,94 €       | 545 €           |
| 2029 | 10   | 2.401,00                   | 0,2363                      | 567,44 €                        | 4.753,39 €       | 567 €           |
| 2030 | 11   | 2.381,80                   | 0,2482                      | 591,05 €                        | 5.344,44 €       | 591 €           |
| 2031 | 12   | 2.362,74                   | 0,2606                      | 615,64 €                        | 5.960,08 €       | 616 €           |
| 2032 | 13   | 2.343,84                   | 0,2736                      | 641,25 €                        | 6.601,32 €       | 641 €           |
| 2033 | 14   | 2.325,09                   | 0,2873                      | 667,92 €                        | 7.269,25 €       | 668 €           |
| 2034 | 15   | 2.306,49                   | 0,3016                      | 695,71 €                        | 7.964,96 €       | 696 €           |
| 2035 | 16   | 2.288,04                   | 0,3167                      | 724,65 €                        | 8.689,61 €       | 725 €           |
| 2036 | 17   | 2.269,73                   | 0,3325                      | 754,80 €                        | 9.444,41 €       | 755 €           |
| 2037 | 18   | 2.251,58                   | 0,3492                      | 786,20 €                        | 10.230,60 €      | 786 €           |
| 2038 | 19   | 2.233,56                   | 0,3666                      | 818,90 €                        | 11.049,51 €      | 819 €           |
| 2039 | 20   | 2.215,69                   | 0,3850                      | 852,97 €                        | 11.902,48 €      | 853 €           |
| 2040 | 21   | 2.197,97                   | 0,4042                      | 888,45 €                        | 12.790,93 €      | 888 €           |
| 2041 | 22   | 2.180,38                   | 0,4244                      | 925,41 €                        | 13.716,34 €      | 925 €           |
| 2042 | 23   | 2.162,94                   | 0,4456                      | 963,91 €                        | 14.680,25 €      | 964 €           |
| 2043 | 24   | 2.145,64                   | 0,4679                      | 1.004,01 €                      | 15.684,26 €      | 1.004 €         |
| 2044 | 25   | 2.128,47                   | 0,4913                      | 1.045,77 €                      | 16.730,03 €      | 1.046 €         |
|      |      |                            |                             |                                 |                  | <b>16.730 €</b> |

|            |             |
|------------|-------------|
| TIR        | 5,45%       |
| VAN        | 23.150,65 € |
| Pay-Back * | 15,15       |

\*Període de retorn de la inversió en anys (Pay - Back)

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| Energia consumida (kWh/any)      | 8.900 |
| Quota Autoconsum (Aprox.)        | 30,3% |
| Energia auto-consumida (kWh/any) | 2.697 |
| Performance Ratio (PR)           | 0,74  |
| Cost instal·lació (€/Wp)         | 1,88  |
| Potència instal·lació (Wp)       | 4.290 |
| Tarifa Elèctrica (€/kWh) *       | 0,151 |
| Augment tarifa elèctrica         | 5,00% |
| IPC                              | 0,7%  |

**B) ESTUDI ECONÒMIC  
INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA AMB  
SISTEMA BATERIES. UTILITZACIÓ  
BACK-UP.**

- PREUS ESPANYA SENSE COMP. EXC.

|                     |      | FV         | BAT        |
|---------------------|------|------------|------------|
| Cost instal·lació   | 100% | 8.073,49 € | 3.911,00 € |
| Aportació inicial   | 100% |            |            |
| Subvenció           | 0%   |            |            |
| Cost per a l'escola | 100% | 8.073,49 € | 3.911,00 € |

\* Preu Espanya. Font: <https://comparadorluz.com/tarifas/precio-kwh>

|      | Anys | Energia autocons. kWh/any | Tarifa Elèctrica aproximada | Estalvi factura elèctrica anual | Estalvi acumulat | Resultat        |
|------|------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|
| 2020 | 0    |                           |                             |                                 |                  | -11.984,49 €    |
| 2021 | 1    | 2.696,70                  | 0,1513                      | 408,11 €                        | 408,11 €         | 408 €           |
| 2022 | 2    | 2.675,13                  | 0,1600                      | 427,92 €                        | 836,02 €         | 428 €           |
| 2023 | 3    | 2.653,73                  | 0,1680                      | 445,72 €                        | 1.281,74 €       | 446 €           |
| 2024 | 4    | 2.632,50                  | 0,1764                      | 464,26 €                        | 1.746,00 €       | 464 €           |
| 2025 | 5    | 2.611,44                  | 0,1852                      | 483,57 €                        | 2.229,58 €       | 484 €           |
| 2026 | 6    | 2.590,54                  | 0,1944                      | 503,69 €                        | 2.733,27 €       | 504 €           |
| 2027 | 7    | 2.569,82                  | 0,2042                      | 524,64 €                        | 3.257,92 €       | 525 €           |
| 2028 | 8    | 2.549,26                  | 0,2144                      | 546,47 €                        | 3.804,38 €       | 546 €           |
| 2029 | 9    | 2.528,87                  | 0,2251                      | 569,20 €                        | 4.373,59 €       | 569 €           |
| 2030 | 10   | 2.508,64                  | 0,2363                      | 592,88 €                        | 4.966,47 €       | 593 €           |
| 2031 | 11   | 2.488,57                  | 0,2482                      | 617,55 €                        | 5.584,02 €       | 618 €           |
| 2032 | 12   | 2.468,66                  | 0,2606                      | 643,24 €                        | 6.227,25 €       | 643 €           |
| 2033 | 13   | 2.448,91                  | 0,2736                      | 669,99 €                        | 6.897,25 €       | 670 €           |
| 2034 | 14   | 2.429,32                  | 0,2873                      | 697,87 €                        | 7.595,11 €       | 698 €           |
| 2035 | 15   | 2.409,88                  | 0,3016                      | 726,90 €                        | 8.322,01 €       | 727 €           |
| 2036 | 16   | 2.390,60                  | 0,3167                      | 757,14 €                        | 9.079,14 €       | 757 €           |
| 2037 | 17   | 2.371,48                  | 0,3325                      | 788,63 €                        | 9.867,78 €       | 789 €           |
| 2038 | 18   | 2.352,51                  | 0,3492                      | 821,44 €                        | 10.689,22 €      | 821 €           |
| 2039 | 19   | 2.333,69                  | 0,3666                      | 855,61 €                        | 11.544,83 €      | 856 €           |
| 2040 | 20   | 2.315,02                  | 0,3850                      | 891,21 €                        | 12.436,04 €      | 891 €           |
| 2041 | 21   | 2.296,50                  | 0,4042                      | 928,28 €                        | 13.364,32 €      | 928 €           |
| 2042 | 22   | 2.278,13                  | 0,4244                      | 966,90 €                        | 14.331,21 €      | 967 €           |
| 2043 | 23   | 2.259,90                  | 0,4456                      | 1.007,12 €                      | 15.338,33 €      | 1.007 €         |
| 2044 | 24   | 2.241,82                  | 0,4679                      | 1.049,02 €                      | 16.387,35 €      | 1.049 €         |
| 2045 | 25   | 2.223,89                  | 0,4913                      | 1.092,65 €                      | 17.480,00 €      | 1.093 €         |
|      |      |                           |                             |                                 |                  | <b>17.480 €</b> |

|            |             |
|------------|-------------|
| TIR        | 2,65%       |
| VAN        | 23.826,52 € |
| Pay-Back * | 19,49       |

\*Període de retorn de la inversió en anys (Pay - Back)

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| Energia consumida (kWh/any)          | 8.900 |
| Autoconsum directe (Aprox.)          | 30%   |
| Energia auto-cons. direct. (kWh/any) | 2.670 |
| Capacitat 4 Bateriaes C10            | 9.600 |
| Autoconsum BATERIES (DOD 30%)        | 2.880 |
| Energia auto-cons. Total (kWh/any)   | 5.550 |
| Tarifa Elèctrica (€/kWh) *           | 0,151 |
| Augment tarifa elèctrica             | 5,00% |
| IPC                                  | 0,7%  |

**C) ESTUDI ECONÒMIC  
INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA  
AMB SISTEMA BATERIES.  
UTILITZACIÓ DOD 30%.**

- PREUS ESPANYA SENSE COMP. EXC.

|                     |      | FV         | BAT        |
|---------------------|------|------------|------------|
| Cost instal·lació   | 100% | 8.073,49 € | 3.911,00 € |
| Aportació inicial   | 100% |            |            |
| Subvenció           | 0%   |            |            |
| Cost per a l'escola | 100% | 8.073,49 € | 3.911,00 € |

\* Preu Espanya. Font: <https://comparadorluz.com/tarifas/precio-kwh>

|      | Anys | Energia auto-cons. kWh/any | Tarifa Elèctrica aproximada | Estalvi factura elèctrica anual | Estalvi acumulat | Resultat        |
|------|------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|
| 2020 | 0    |                            |                             |                                 |                  | -11.984,49 €    |
| 2021 | 1    | 5.550,00                   | 0,1513                      | 839,91 €                        | 839,91 €         | 840 €           |
| 2022 | 2    | 5.505,60                   | 0,1600                      | 880,69 €                        | 1.720,60 €       | 881 €           |
| 2023 | 3    | 5.461,56                   | 0,1680                      | 917,32 €                        | 2.637,92 €       | 917 €           |
| 2024 | 4    | 5.417,86                   | 0,1764                      | 955,48 €                        | 3.593,40 €       | 955 €           |
| 2025 | 5    | 5.374,52                   | 0,1852                      | 995,23 €                        | 4.588,63 €       | 995 €           |
| 2026 | 6    | 5.331,52                   | 0,1944                      | 1.036,63 €                      | 5.625,26 €       | 1.037 €         |
| 2027 | 7    | 5.288,87                   | 0,2042                      | 1.079,76 €                      | 6.705,02 €       | 1.080 €         |
| 2028 | 8    | 5.246,56                   | 0,2144                      | 1.124,67 €                      | 7.829,69 €       | 1.125 €         |
| 2029 | 9    | 5.204,59                   | 0,2251                      | 1.171,46 €                      | 9.001,15 €       | 1.171 €         |
| 2030 | 10   | 5.162,95                   | 0,2363                      | 1.220,19 €                      | 10.221,35 €      | 1.220 €         |
| 2031 | 11   | 5.121,65                   | 0,2482                      | 1.270,95 €                      | 11.492,30 €      | 1.271 €         |
| 2032 | 12   | 5.080,67                   | 0,2606                      | 1.323,82 €                      | 12.816,13 €      | 1.324 €         |
| 2033 | 13   | 5.040,03                   | 0,2736                      | 1.378,90 €                      | 14.195,02 €      | 1.379 €         |
| 2034 | 14   | 4.999,71                   | 0,2873                      | 1.436,26 €                      | 15.631,28 €      | 1.436 €         |
| 2035 | 15   | 4.959,71                   | 0,3016                      | 1.496,01 €                      | 17.127,28 €      | 1.496 €         |
| 2036 | 16   | 4.920,03                   | 0,3167                      | 1.558,24 €                      | 18.685,52 €      | 1.558 €         |
| 2037 | 17   | 4.880,67                   | 0,3325                      | 1.623,06 €                      | 20.308,59 €      | 1.623 €         |
| 2038 | 18   | 4.841,63                   | 0,3492                      | 1.690,58 €                      | 21.999,17 €      | 1.691 €         |
| 2039 | 19   | 4.802,89                   | 0,3666                      | 1.760,91 €                      | 23.760,08 €      | 1.761 €         |
| 2040 | 20   | 4.764,47                   | 0,3850                      | 1.834,16 €                      | 25.594,24 €      | 1.834 €         |
| 2041 | 21   | 4.726,36                   | 0,4042                      | 1.910,47 €                      | 27.504,71 €      | 1.910 €         |
| 2042 | 22   | 4.688,55                   | 0,4244                      | 1.989,94 €                      | 29.494,65 €      | 1.990 €         |
| 2043 | 23   | 4.651,04                   | 0,4456                      | 2.072,72 €                      | 31.567,37 €      | 2.073 €         |
| 2044 | 24   | 4.613,83                   | 0,4679                      | 2.158,95 €                      | 33.726,32 €      | 2.159 €         |
| 2045 | 25   | 4.576,92                   | 0,4913                      | 2.248,76 €                      | 35.975,08 €      | 2.249 €         |
|      |      |                            |                             |                                 |                  | <b>35.975 €</b> |

|            |             |
|------------|-------------|
| TIR        | 8,89%       |
| VAN        | 40.494,35 € |
| Pay-Back * | 11,37       |

\*Període de retorn de la inversió en anys (Pay - Back)

## E. ANÀLISIS ECONÒMIQUES – ESPANYA – AMB COMPENSACIÓ D'EXCEDENTS

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| Energia consumida (kWh/any)          | 8.900 |
| Quota Autoconsum (Aprox.)            | 29%   |
| Energia auto-consumida (kWh/any)     | 2.581 |
| Producció FV tot. estimada (kWh/any) | 7.343 |
| Excedents (kWh/any)                  | 4.762 |
| Performance Ratio (PR)               | 0,74  |
| Cost instal·lació (€/Wp)             | 1,88  |
| Potència instal·lació (Wp)           | 4.290 |
| Tarifa Elèctrica (€/kWh) *           | 0,151 |
| Tarifa comp. excedents (€/kWh)       | 0,050 |
| Augment tarifa elèctrica             | 5,00% |
| Augment tarifa exc.                  | 1,00% |
| IPC                                  | 0,7%  |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>A) ESTUDI ECONÒMIC<br/>INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA, SENSE SISTEMA<br/>BATERIES</b> |  |  |
| <b>- PREUS ESPANYA AMB COMPENSACIÓ D'EXCEDENTS</b>                                  |  |  |

|                     |      |            |
|---------------------|------|------------|
| Cost instal·lació   | 100% | 8.073,49 € |
| Aportació inicial   | 100% |            |
| Subvenció           | 0%   |            |
| Cost per a l'escola | 100% | 8.073,49 € |

\* Preu Espanya. Inclòs impostos Fonts:

<https://comparadorluz.com/tarifas/precio-kwh>

<https://tarifaluzhora.es/info/impuesto-electricidad>

|      | Anys | Energia auto-consumida kWh/any | Excedents injectats a la xarxa | Tarifa Elèctrica aproximada | Tarifa Comp. Exc. aproximada | Estalvi factura elèctrica anual | Compensació d'excedents anual | Estalvi total acumulat | Resultat    |
|------|------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------|
| 2019 | 0    |                                |                                |                             |                              |                                 |                               |                        | -8.073,49 € |
| 2020 | 1    | 2.581,00                       | 4.762,00                       | 0,1513                      | 0,0500                       | 390,60 €                        | 238,10 €                      | 628,70 €               | 629 €       |
| 2021 | 2    | 2.560,35                       | 4.723,90                       | 0,1600                      | 0,0509                       | 409,56 €                        | 240,21 €                      | 1.278,47 €             | 650 €       |
| 2022 | 3    | 2.539,87                       | 4.686,11                       | 0,1691                      | 0,0517                       | 429,44 €                        | 242,34 €                      | 1.950,25 €             | 672 €       |
| 2023 | 4    | 2.519,55                       | 4.648,62                       | 0,1787                      | 0,0526                       | 450,29 €                        | 244,49 €                      | 2.645,02 €             | 695 €       |
| 2024 | 5    | 2.499,39                       | 4.611,43                       | 0,1889                      | 0,0535                       | 472,15 €                        | 246,65 €                      | 3.363,82 €             | 719 €       |
| 2025 | 6    | 2.479,40                       | 4.574,54                       | 0,1997                      | 0,0544                       | 495,07 €                        | 248,84 €                      | 4.107,73 €             | 744 €       |
| 2026 | 7    | 2.459,56                       | 4.537,95                       | 0,2111                      | 0,0553                       | 519,10 €                        | 251,05 €                      | 4.877,87 €             | 770 €       |
| 2027 | 8    | 2.439,89                       | 4.501,64                       | 0,2231                      | 0,0563                       | 544,30 €                        | 253,27 €                      | 5.675,44 €             | 798 €       |
| 2028 | 9    | 2.420,37                       | 4.465,63                       | 0,2358                      | 0,0572                       | 570,72 €                        | 255,52 €                      | 6.501,68 €             | 826 €       |

|      |    |          |          |        |        |            |          |             |                 |
|------|----|----------|----------|--------|--------|------------|----------|-------------|-----------------|
| 2029 | 10 | 2.401,00 | 4.429,91 | 0,2492 | 0,0582 | 598,42 €   | 257,78 € | 7.357,88 €  | 856 €           |
| 2030 | 11 | 2.381,80 | 4.394,47 | 0,2634 | 0,0592 | 627,47 €   | 260,07 € | 8.245,42 €  | 888 €           |
| 2031 | 12 | 2.362,74 | 4.359,31 | 0,2785 | 0,0602 | 657,93 €   | 262,37 € | 9.165,73 €  | 920 €           |
| 2032 | 13 | 2.343,84 | 4.324,44 | 0,2943 | 0,0612 | 689,87 €   | 264,70 € | 10.120,30 € | 955 €           |
| 2033 | 14 | 2.325,09 | 4.289,84 | 0,3111 | 0,0623 | 723,36 €   | 267,04 € | 11.110,71 € | 990 €           |
| 2034 | 15 | 2.306,49 | 4.255,52 | 0,3288 | 0,0633 | 758,48 €   | 269,41 € | 12.138,60 € | 1.028 €         |
| 2035 | 16 | 2.288,04 | 4.221,48 | 0,3476 | 0,0644 | 795,30 €   | 271,80 € | 13.205,69 € | 1.067 €         |
| 2036 | 17 | 2.269,73 | 4.187,71 | 0,3674 | 0,0655 | 833,90 €   | 274,21 € | 14.313,81 € | 1.108 €         |
| 2037 | 18 | 2.251,58 | 4.154,20 | 0,3883 | 0,0666 | 874,38 €   | 276,64 € | 15.464,83 € | 1.151 €         |
| 2038 | 19 | 2.233,56 | 4.120,97 | 0,4105 | 0,0677 | 916,83 €   | 279,09 € | 16.660,75 € | 1.196 €         |
| 2039 | 20 | 2.215,69 | 4.088,00 | 0,4339 | 0,0689 | 961,34 €   | 281,57 € | 17.903,65 € | 1.243 €         |
| 2040 | 21 | 2.197,97 | 4.055,30 | 0,4586 | 0,0700 | 1.008,00 € | 284,06 € | 19.195,72 € | 1.292 €         |
| 2041 | 22 | 2.180,38 | 4.022,86 | 0,4847 | 0,0712 | 1.056,94 € | 286,58 € | 20.539,23 € | 1.344 €         |
| 2042 | 23 | 2.162,94 | 3.990,67 | 0,5124 | 0,0724 | 1.108,24 € | 289,12 € | 21.936,60 € | 1.397 €         |
| 2043 | 24 | 2.145,64 | 3.958,75 | 0,5416 | 0,0737 | 1.162,04 € | 291,68 € | 23.390,32 € | 1.454 €         |
| 2044 | 25 | 2.128,47 | 3.927,08 | 0,5725 | 0,0749 | 1.218,45 € | 294,27 € | 24.903,04 € | 1.513 €         |
|      |    |          |          |        |        |            |          |             | <b>24.903 €</b> |

|            |             |
|------------|-------------|
| TIR        | 9,36%       |
| VAN        | 30.547,34 € |
| Pay-Back * | 10,81       |

\*Període de retorn de la inversió en anys (Pay - Back)

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| Energia consumida (kWh/any)          | 8.900 |
| Quota Autoconsum (Aprox.)            | 30%   |
| Energia auto-consumida (kWh/any)     | 2.670 |
| Producció FV tot. estimada (kWh/any) | 7.343 |
| Excedents (kWh/any)                  | 4.673 |
| Performance Ratio (PR)               | 0,74  |
| Cost instal·lació (€/Wp)             | 2,79  |
| Potència instal·lació (Wp)           | 4.290 |
| Tarifa Elèctrica (€/kWh) *           | 0,151 |
| Tarifa comp. excedents (€/kWh)       | 0,050 |
| Augment tarifa elèctrica             | 5,00% |
| Augment tarifa exc.                  | 1,00% |
| IPC                                  | 0,7%  |

|  |
|--|
| <b>B) ESTUDI ECONÒMIC<br/>INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA AMB SISTEMA<br/>BATERIES. UTILITZACIÓ BACK-UP.</b> |
| <b>- PREUS ESPANYA AMB COMPENSACIÓ EXCEDENTS</b>   |

|                     | FV   | BAT        |
|---------------------|------|------------|
| Cost instal·lació   | 100% | 8.073,49 € |
| Aportació inicial   | 100% |            |
| Subvenció           | 0%   |            |
| Cost per a l'escola | 100% | 8.073,49 € |

\* Preu Espanya. Inclòs impostos Fonts:

<https://comparadorluz.com/tarifas/precio-kwh>

<https://tarifaluzhora.es/info/impuesto-electricidad>

| Anys | Energia auto-consumida kWh/any | Excedents injectats a la xarxa | Tarifa Elèctrica aproximada | Tarifa Comp. Exc. aproximada | Estalvi factura elèctrica anual | Compensació d'excedents anual | Estalvi total acumulat | Resultat     |       |
|------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------|-------|
| 2019 | 0                              |                                |                             |                              |                                 |                               |                        | -11.984,49 € |       |
| 2020 | 1                              | 2.670,00                       | 4.673,00                    | 0,1513                       | 0,0500                          | 404,07 €                      | 233,65 €               | 637,72 €     | 638 € |
| 2021 | 2                              | 2.648,64                       | 4.635,62                    | 0,1600                       | 0,0509                          | 423,68 €                      | 235,72 €               | 1.297,12 €   | 659 € |
| 2022 | 3                              | 2.627,45                       | 4.598,53                    | 0,1691                       | 0,0517                          | 444,25 €                      | 237,81 €               | 1.979,18 €   | 682 € |
| 2023 | 4                              | 2.606,43                       | 4.561,74                    | 0,1787                       | 0,0526                          | 465,81 €                      | 239,92 €               | 2.684,91 €   | 706 € |
| 2024 | 5                              | 2.585,58                       | 4.525,25                    | 0,1889                       | 0,0535                          | 488,43 €                      | 242,05 €               | 3.415,38 €   | 730 € |
| 2025 | 6                              | 2.564,90                       | 4.489,05                    | 0,1997                       | 0,0544                          | 512,14 €                      | 244,19 €               | 4.171,71 €   | 756 € |
| 2026 | 7                              | 2.544,38                       | 4.453,13                    | 0,2111                       | 0,0553                          | 537,00 €                      | 246,36 €               | 4.955,06 €   | 783 € |
| 2027 | 8                              | 2.524,02                       | 4.417,51                    | 0,2231                       | 0,0563                          | 563,07 €                      | 248,54 €               | 5.766,66 €   | 812 € |
| 2028 | 9                              | 2.503,83                       | 4.382,17                    | 0,2358                       | 0,0572                          | 590,40 €                      | 250,74 €               | 6.607,81 €   | 841 € |
| 2029 | 10                             | 2.483,80                       | 4.347,11                    | 0,2492                       | 0,0582                          | 619,06 €                      | 252,96 €               | 7.479,83 €   | 872 € |
| 2030 | 11                             | 2.463,93                       | 4.312,34                    | 0,2634                       | 0,0592                          | 649,11 €                      | 255,21 €               | 8.384,15 €   | 904 € |
| 2031 | 12                             | 2.444,22                       | 4.277,84                    | 0,2785                       | 0,0602                          | 680,62 €                      | 257,47 €               | 9.322,24 €   | 938 € |

|      |    |          |          |        |        |            |          |             |                 |
|------|----|----------|----------|--------|--------|------------|----------|-------------|-----------------|
| 2032 | 13 | 2.424,66 | 4.243,61 | 0,2943 | 0,0612 | 713,66 €   | 259,75 € | 10.295,65 € | 973 €           |
| 2033 | 14 | 2.405,27 | 4.209,66 | 0,3111 | 0,0623 | 748,31 €   | 262,05 € | 11.306,01 € | 1.010 €         |
| 2034 | 15 | 2.386,02 | 4.175,99 | 0,3288 | 0,0633 | 784,63 €   | 264,38 € | 12.355,02 € | 1.049 €         |
| 2035 | 16 | 2.366,94 | 4.142,58 | 0,3476 | 0,0644 | 822,72 €   | 266,72 € | 13.444,46 € | 1.089 €         |
| 2036 | 17 | 2.348,00 | 4.109,44 | 0,3674 | 0,0655 | 862,66 €   | 269,08 € | 14.576,20 € | 1.132 €         |
| 2037 | 18 | 2.329,22 | 4.076,56 | 0,3883 | 0,0666 | 904,54 €   | 271,47 € | 15.752,20 € | 1.176 €         |
| 2038 | 19 | 2.310,58 | 4.043,95 | 0,4105 | 0,0677 | 948,45 €   | 273,88 € | 16.974,52 € | 1.222 €         |
| 2039 | 20 | 2.292,10 | 4.011,60 | 0,4339 | 0,0689 | 994,49 €   | 276,30 € | 18.245,31 € | 1.271 €         |
| 2040 | 21 | 2.273,76 | 3.979,51 | 0,4586 | 0,0700 | 1.042,76 € | 278,75 € | 19.566,83 € | 1.322 €         |
| 2041 | 22 | 2.255,57 | 3.947,67 | 0,4847 | 0,0712 | 1.093,38 € | 281,22 € | 20.941,43 € | 1.375 €         |
| 2042 | 23 | 2.237,53 | 3.916,09 | 0,5124 | 0,0724 | 1.146,46 € | 283,72 € | 22.371,61 € | 1.430 €         |
| 2043 | 24 | 2.219,63 | 3.884,76 | 0,5416 | 0,0737 | 1.202,11 € | 286,23 € | 23.859,95 € | 1.488 €         |
| 2044 | 25 | 2.201,87 | 3.853,68 | 0,5725 | 0,0749 | 1.260,47 € | 288,77 € | 25.409,19 € | 1.549 €         |
|      |    |          |          |        |        |            |          |             | <b>25.409 €</b> |

\*Període de retorn de la inversió en anys (Pay - Back)

|            |             |
|------------|-------------|
| TIR        | 5,74%       |
| VAN        | 34.911,91 € |
| Pay-Back * | 14,65       |



|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| Energia consumida (kWh/any)          | 8.900 |
| Quota Autoconsum (Aprox.)            | 30%   |
| Energia auto-consumida (kWh/any)     | 2.670 |
| Capacitat 4 Bateria C10              | 9.600 |
| Autoconsum BATERIES (DOD 30%)        | 2.880 |
| Energia auto-cons. Total (kWh/any)   | 5.550 |
| Producció FV tot. estimada (kWh/any) | 7.343 |
| Excedents (kWh/any)                  | 1.793 |
| Performance Ratio (PR)               | 0,74  |
| Cost instal·lació (€/Wp)             | 1,88  |
| Potència instal·lació (Wp)           | 4.290 |
| Tarifa Elèctrica (€/kWh)             | 0,151 |
| Tarifa comp. excedents (€/kWh)       | 0,050 |
| Augment tarifa elèctrica             | 5,00% |
| IPC                                  | 0,7%  |

|  |
|--|
| <b>C) ESTUDI ECONÒMIC</b><br><b>INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA AMB SISTEMA</b><br><b>BATERIES. UTILITZACIÓ DOD 30%.</b> |
| <b>- PREUS ESPANYA AMB COMPENSACIÓ EXCEDENTS</b>   |

|                     | FV   | BAT        |
|---------------------|------|------------|
| Cost instal·lació   | 100% | 8.073,49 € |
| Aportació inicial   | 100% |            |
| Subvenció           | 0%   |            |
| Cost per a l'escola | 100% | 8.073,49 € |

\* Preu Espanya. Inclòs impostos Fonts:

<https://comparadorluz.com/tarifas/precio-kwh>

<https://tarifaluzhora.es/info/impuesto-electricidad>

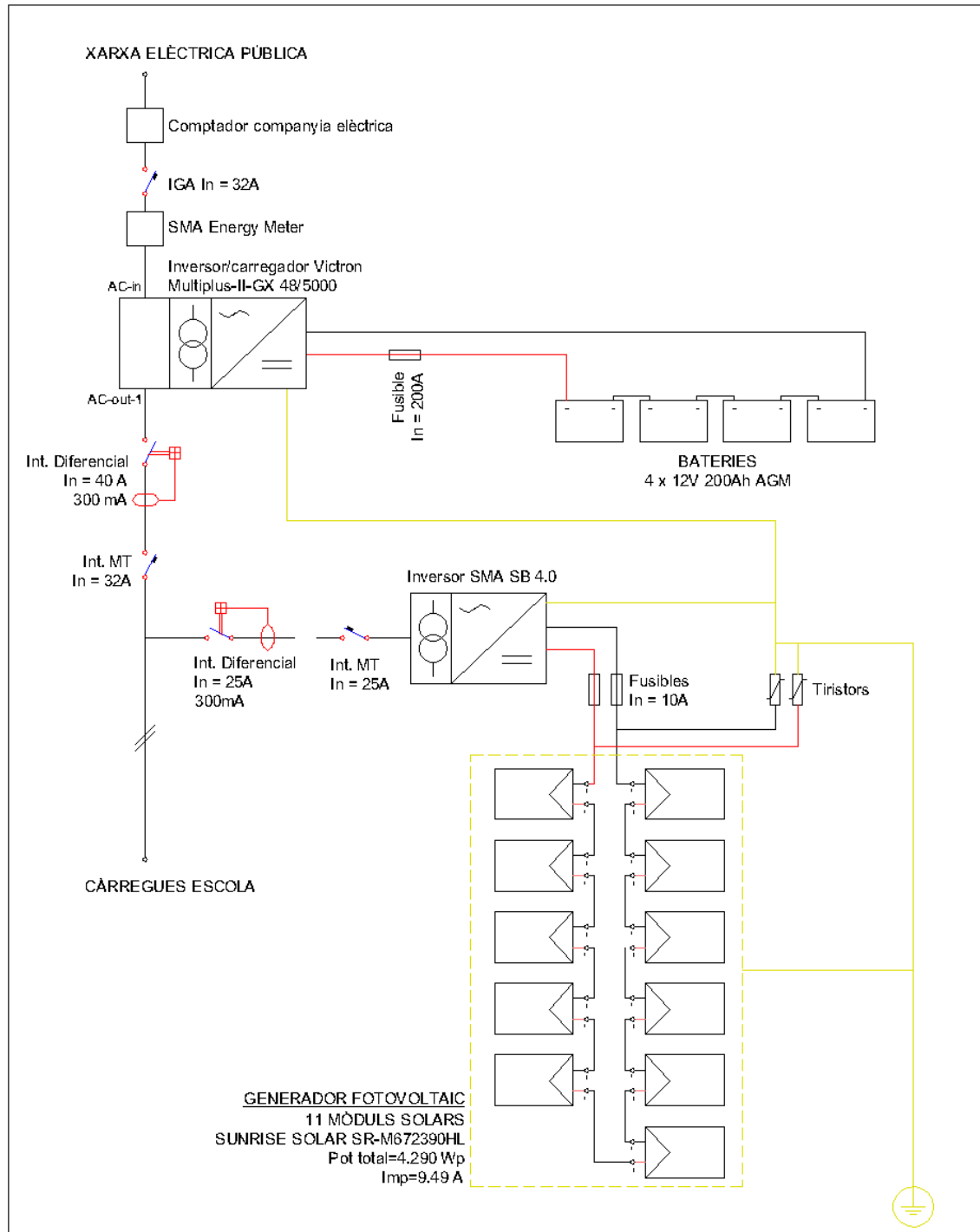
|      | Anys | Energia auto-consumida kWh/any | Excedents injectats a la xarxa | Tarifa Elèctrica aproximada | Tarifa Comp. Exc. aproximada | Estalvi factura elèctrica anual | Compensació d'excedents anual | Estalvi total acumulat | Resultat    |
|------|------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------|
| 2019 | 0    |                                |                                |                             |                              |                                 |                               |                        | -3.911,00 € |
| 2020 | 1    | 5.550,00                       | 1.793,00                       | 0,1513                      | 0,0500                       | 839,91 €                        | 89,65 €                       | 929,56 €               | 930 €       |
| 2021 | 2    | 5.505,60                       | 1.778,66                       | 0,1753                      | 0,0529                       | 965,12 €                        | 94,00 €                       | 1.988,68 €             | 1.059 €     |
| 2022 | 3    | 5.461,56                       | 1.764,43                       | 0,1853                      | 0,0559                       | 1.011,97 €                      | 98,57 €                       | 3.099,22 €             | 1.111 €     |
| 2023 | 4    | 5.417,86                       | 1.750,31                       | 0,1959                      | 0,0590                       | 1.061,09 €                      | 103,35 €                      | 4.263,66 €             | 1.164 €     |
| 2024 | 5    | 5.374,52                       | 1.736,31                       | 0,2070                      | 0,0624                       | 1.112,60 €                      | 108,37 €                      | 5.484,63 €             | 1.221 €     |
| 2025 | 6    | 5.331,52                       | 1.722,42                       | 0,2188                      | 0,0660                       | 1.166,61 €                      | 113,63 €                      | 6.764,87 €             | 1.280 €     |
| 2026 | 7    | 5.288,87                       | 1.708,64                       | 0,2313                      | 0,0697                       | 1.223,25 €                      | 119,14 €                      | 8.107,26 €             | 1.342 €     |
| 2027 | 8    | 5.246,56                       | 1.694,97                       | 0,2445                      | 0,0737                       | 1.282,63 €                      | 124,93 €                      | 9.514,81 €             | 1.408 €     |
| 2028 | 9    | 5.204,59                       | 1.681,41                       | 0,2584                      | 0,0779                       | 1.344,89 €                      | 130,99 €                      | 10.990,69 €            | 1.476 €     |
| 2029 | 10   | 5.162,95                       | 1.667,96                       | 0,2731                      | 0,0823                       | 1.410,18 €                      | 137,35 €                      | 12.538,22 €            | 1.548 €     |

|      |    |          |          |        |        |            |          |             |                 |
|------|----|----------|----------|--------|--------|------------|----------|-------------|-----------------|
| 2030 | 11 | 5.121,65 | 1.654,62 | 0,2887 | 0,0870 | 1.478,63 € | 144,02 € | 14.160,87 € | 1.623 €         |
| 2031 | 12 | 5.080,67 | 1.641,38 | 0,3052 | 0,0920 | 1.550,41 € | 151,01 € | 15.862,29 € | 1.701 €         |
| 2032 | 13 | 5.040,03 | 1.628,25 | 0,3226 | 0,0972 | 1.625,67 € | 158,34 € | 17.646,30 € | 1.784 €         |
| 2033 | 14 | 4.999,71 | 1.615,22 | 0,3409 | 0,1028 | 1.704,59 € | 166,03 € | 19.516,92 € | 1.871 €         |
| 2034 | 15 | 4.959,71 | 1.602,30 | 0,3604 | 0,1086 | 1.787,34 € | 174,09 € | 21.478,34 € | 1.961 €         |
| 2035 | 16 | 4.920,03 | 1.589,48 | 0,3809 | 0,1148 | 1.874,10 € | 182,54 € | 23.534,98 € | 2.057 €         |
| 2036 | 17 | 4.880,67 | 1.576,77 | 0,4026 | 0,1214 | 1.965,08 € | 191,40 € | 25.691,46 € | 2.156 €         |
| 2037 | 18 | 4.841,63 | 1.564,15 | 0,4256 | 0,1283 | 2.060,47 € | 200,69 € | 27.952,62 € | 2.261 €         |
| 2038 | 19 | 4.802,89 | 1.551,64 | 0,4498 | 0,1356 | 2.160,50 € | 210,43 € | 30.323,55 € | 2.371 €         |
| 2039 | 20 | 4.764,47 | 1.539,22 | 0,4755 | 0,1433 | 2.265,37 € | 220,65 € | 32.809,57 € | 2.486 €         |
| 2040 | 21 | 4.726,36 | 1.526,91 | 0,5026 | 0,1515 | 2.375,34 € | 231,36 € | 35.416,27 € | 2.607 €         |
| 2041 | 22 | 4.688,55 | 1.514,70 | 0,5312 | 0,1602 | 2.490,65 € | 242,59 € | 38.149,51 € | 2.733 €         |
| 2042 | 23 | 4.651,04 | 1.502,58 | 0,5615 | 0,1693 | 2.611,56 € | 254,36 € | 41.015,44 € | 2.866 €         |
| 2043 | 24 | 4.613,83 | 1.490,56 | 0,5935 | 0,1789 | 2.738,34 € | 266,71 € | 44.020,49 € | 3.005 €         |
| 2044 | 25 | 4.576,92 | 1.478,63 | 0,6273 | 0,1891 | 2.871,27 € | 279,66 € | 47.171,41 € | 3.151 €         |
|      |    |          |          |        |        |            |          |             | <b>47.171 €</b> |

\*Període de retorn de la inversió en anys (Pay - Back)

|            |             |
|------------|-------------|
| TIR        | 30,16%      |
| VAN        | 55.244,90 € |
| Pay-Back * | 9,64        |

## F. ESQUEMA UNIFILAR

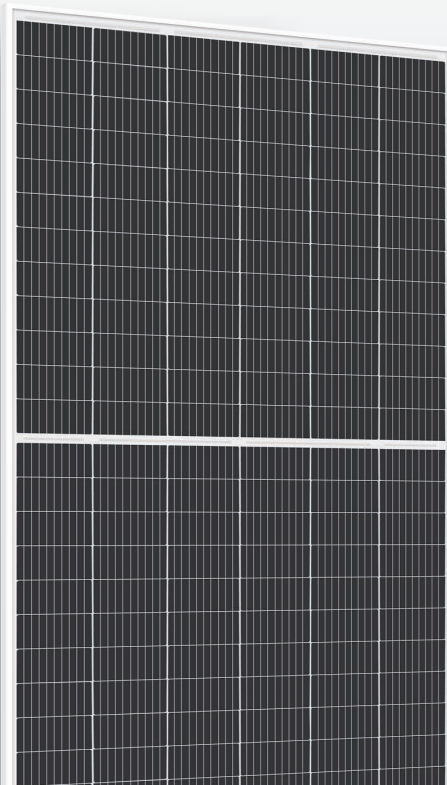


|                                       | Data       | Nom       |         |             |
|---------------------------------------|------------|-----------|---------|-------------|
| Dibuixat                              | 06/05/2020 | CARLES    | ADELL   |             |
| Comprovat                             | 08/05/2020 | ALEXANDRE | DELTELL |             |
| ESQUEMA UNIFILAR INSTAL·LACIÓ HIBRIDA |            |           |         | Nº plànol 1 |

## **G. DOCUMENTACIÓ TÈCNICA DELS COMPONENTS**

1. Full de característiques mòduls fotovoltaics SUNRISE SR-M672HL Series
2. Full de característiques Inversor SMA Sunny Boy
3. Full de característiques SMA Energy Meter
4. Full de característiques Inversor/carregador Victron Multiplus-II GX
5. Full de característiques bateria Ritar RA12-200

LATEST



### L Series Half Cell Mono Solar Module

|           |              |
|-----------|--------------|
| SR-M672HL | SR-M672390HL |
|           | SR-M672395HL |
| 390~405W  | SR-M672400HL |
|           | SR-M672405HL |



Reduce BOS cost



Combined with 9BB technology



Half cell technology results the decreasing of electrical resistance



Withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa

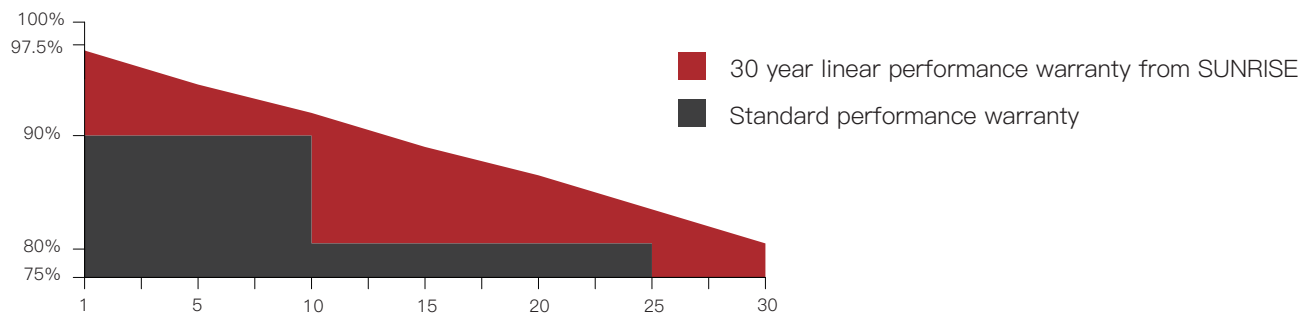


0~3% positive tolerance



PID-free

### Additional value from SUNRISE linear warranty



SUNRISE ENERGY CO., LTD

TEL: +86-519-81688389

Web: [www.sunriseenergy.cn](http://www.sunriseenergy.cn)

E-mail: [info@sunriseenergy.cn](mailto:info@sunriseenergy.cn)

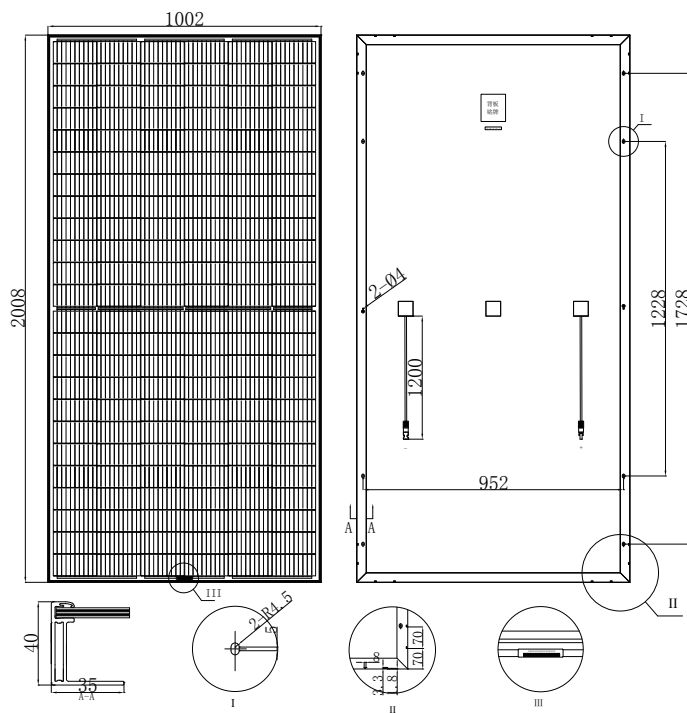
ADD: No.20 Tongzi River West Road, Zhonglou Development Zone, Changzhou, Jiangsu

| Module Type                               |         | SR - M672390HL                              |       | SR - M672395HL |       | SR - M672400HL |       | SR - M672405HL |       |
|---|---------|---|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| Test Environment                          |         | STC   | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  |
| Tolerance                                 | (%)     | 0~+3  |       | 0~+3           |       | 0~+3           |       | 0~+3           |       |
| Module Efficiency                         | (%)     | 19.39                                       |       | 19.64          |       | 19.89          |       | 20.13          |       |
| Maximum Power                             | Pmax(W) | 390   | 296   | 395            | 299   | 400            | 303   | 405            | 307   |
| Open Circuit Voltage                      | Voc(V)  | 49.17                                       | 47.88 | 49.54          | 48.24 | 49.89          | 48.58 | 50.3           | 48.98 |
| Short Circuit Current                     | Isc(A)  | 10.17                                       | 8.04  | 10.22          | 8.08  | 10.27          | 8.12  | 10.32          | 8.16  |
| Maximum Power Voltage                     | Vm(V)   | 41.13                                       | 39.05 | 41.44          | 39.34 | 41.73          | 39.61 | 42.07          | 39.94 |
| Maximum Power Current                     | Im(A)   | 9.49  | 7.55  | 9.54           | 7.59  | 9.59           | 7.63  | 9.63           | 7.66  |
| Cell Type                                 | (mm)    | 158.75×79.375(9BB Mono-Crystalline Silicon) |       |                |       |                |       |                |       |
| Number of Cells                           | (Pcs)   | 144(6×24)                                   |       |                |       |                |       |                |       |
| Maximum System Voltage                    | (V)     | DC1000                                      |       |                |       |                |       |                |       |
| Temp. Coeff. of Voc                       | (%/°C)  | -0.35                                       |       |                |       |                |       |                |       |
| Temp. Coeff. of Isc                       | (%/°C)  | 0.05  |       |                |       |                |       |                |       |
| Temp. Coeff. of Pm                        | (%/°C)  | -0.45                                       |       |                |       |                |       |                |       |
| Operating Temperature                     | °C      | -40 to 85                                   |       |                |       |                |       |                |       |
| Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) | °C      | 45±2  |       |                |       |                |       |                |       |
| Max. Series Fuse                          | (A)     | 15  |       |                |       |                |       |                |       |
| Pressure Bearing                          | (Pa)    | 5400  |       |                |       |                |       |                |       |
| Wind Bearing                              | (Pa)    | 2400  |       |                |       |                |       |                |       |

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell temperature 25°C, AM1.5

NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient temperature 20°C, Wind speed 1m/s

## ENGINEERING DRAWINGS

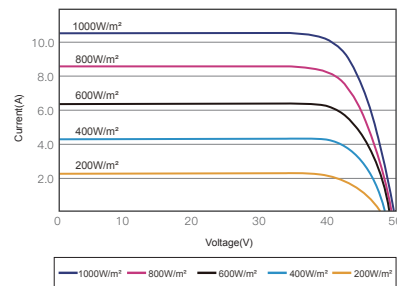


Manufactured in China

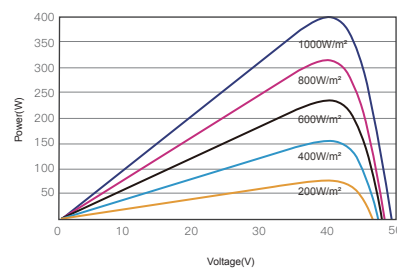
## MATERIAL DETAILS

|                 |  |
|-----------------|--|
| Frame           | Anodized aluminum                        |
| Glass           | 3.2mm low-iron tempered suede glass      |
| Cell            | 6×24 pcs 158.75x79.375mm mono solar cell |
| Junction Box    | Rated Current ≥15A, Ip ≥67, TUV & UL     |
| Cable&Connector | 4mm <sup>2</sup> , MC4 or MC4 compatible |

## IV CURVES



I-V CURVES OF PV MODULE(400W)



P-V CURVES OF PV MODULE(400W)

## PACKING DETAILS

|                  |            |                                |
|------------------|------------|--------------------------------|
| Dimension        | (mm)       | 2008×1002×40                   |
| Weight           | (kg)       | 22.4                           |
| Loading Capacity |            | 260 pcs/20'GP    638 pcs/40'HC |
| Packing          | pcs/pallet | 26                             |

# SUNNY BOY 3.0 / 3.6 / 4.0 / 5.0 / 6.0 con SMA SMART CONNECTED



SB3.0-1AV-41 / SB3.6-1AV-41 / SB4.0-1AV-41 / SB5.0-1AV-41 / SB6.0-1AV-41



**Servicio inteligente con  
SMA Smart Connected**



**SMA ShadeFix**  
STRING LEVEL OPTIMIZATION

## Compacto

- Montaje por parte de una sola persona gracias al bajo peso de 17,5 kg
- Mínima necesidad de espacio gracias al diseño compacto

## Cómodo

- Instalación 100 % plug & play
- Monitorización en línea gratuita por medio de Sunny Places
- Servicio automatizado mediante SMA Smart Connected

## De gran rendimiento

- Aprovechamiento de la energía sobrante por la limitación de la potencia activa dinámica
- Aumento del rendimiento sin trabajo de montaje gracias a la gestión de sombras integrada SMA ShadeFix

## Combinable

- Ampliable en cualquier momento con gestión inteligente de la energía y soluciones de almacenamiento
- Combinable con componentes TS4-R para la optimización de módulos

## SUNNY BOY 3.0 / 3.6 / 4.0 / 5.0 / 6.0

Mayor rendimiento para los hogares particulares: generación inteligente de la energía solar

El nuevo Sunny Boy 3.0-6.0 garantiza máximos rendimientos energéticos para los hogares particulares. Este combina el servicio integrado SMA Smart Connected con una tecnología inteligente para cualquier requisito del entorno. El equipo es fácil de instalar gracias a su diseño extremadamente sencillo. Mediante la interfaz web integrada, el Sunny Boy puede ponerse rápidamente en funcionamiento a través del teléfono inteligente o la tableta. Y para los requisitos especiales en el techo, en caso de p. ej. sombra pueden añadirse fácilmente y de forma precisa los optimizadores de módulos TS4-R. Los estándares de comunicación actuales hacen que el inversor pueda ampliarse con seguridad para el futuro y de forma flexible en cualquier momento con la gestión inteligente de la energía y las soluciones de almacenamiento de SMA.

# SMA SMART CONNECTED

## Servicio técnico integrado para un confort absoluto

SMA Smart Connected\* es la monitorización gratuita del inversor a través de Sunny Portal de SMA. Si se produce un error en un inversor, SMA informa de manera proactiva al operador de la planta y al instalador. Esto ahorrará valiosas horas de trabajo y costes.

Con SMA Smart Connected el instalador se beneficia del diagnóstico rápido de SMA, lo que le permite solucionar los errores con rapidez y ganarse la simpatía del cliente con atractivas prestaciones adicionales.



### ACTIVACIÓN DE SMA SMART CONNECTED

El instalador activa SMA Smart Connected durante el registro de la planta en Sunny Portal y de este modo se beneficia de la monitorización automática de inversores por parte de SMA.



### MONITORIZACIÓN AUTOMÁTICA DE INVERSORES

Con SMA Smart Connected, SMA se hace cargo de la monitorización de los inversores. SMA supervisa cada uno de los inversores de forma automática y permanente para detectar anomalías en el funcionamiento. De este modo, los clientes se benefician de la vasta experiencia de SMA.



### COMUNICACIÓN PROACTIVA EN CASO DE ERRORES

Tras el diagnóstico y el análisis de un error, SMA informa de inmediato al instalador y al cliente final por correo electrónico. Así todas las partes están perfectamente preparadas para corregir el error. Esto minimiza el tiempo de parada y, en consecuencia, ahorra tiempo y dinero. Gracias a los informes regulares sobre el rendimiento se obtienen valiosas conclusiones adicionales acerca del sistema completo.



### SERVICIO DE RECAMBIO

En caso de requerirse un equipo de recambio, SMA suministra automáticamente un nuevo inversor en el plazo de 1 a 3 días tras diagnosticarse el error. El instalador puede dirigirse de forma activa al operador de la planta para la sustitución del inversor.



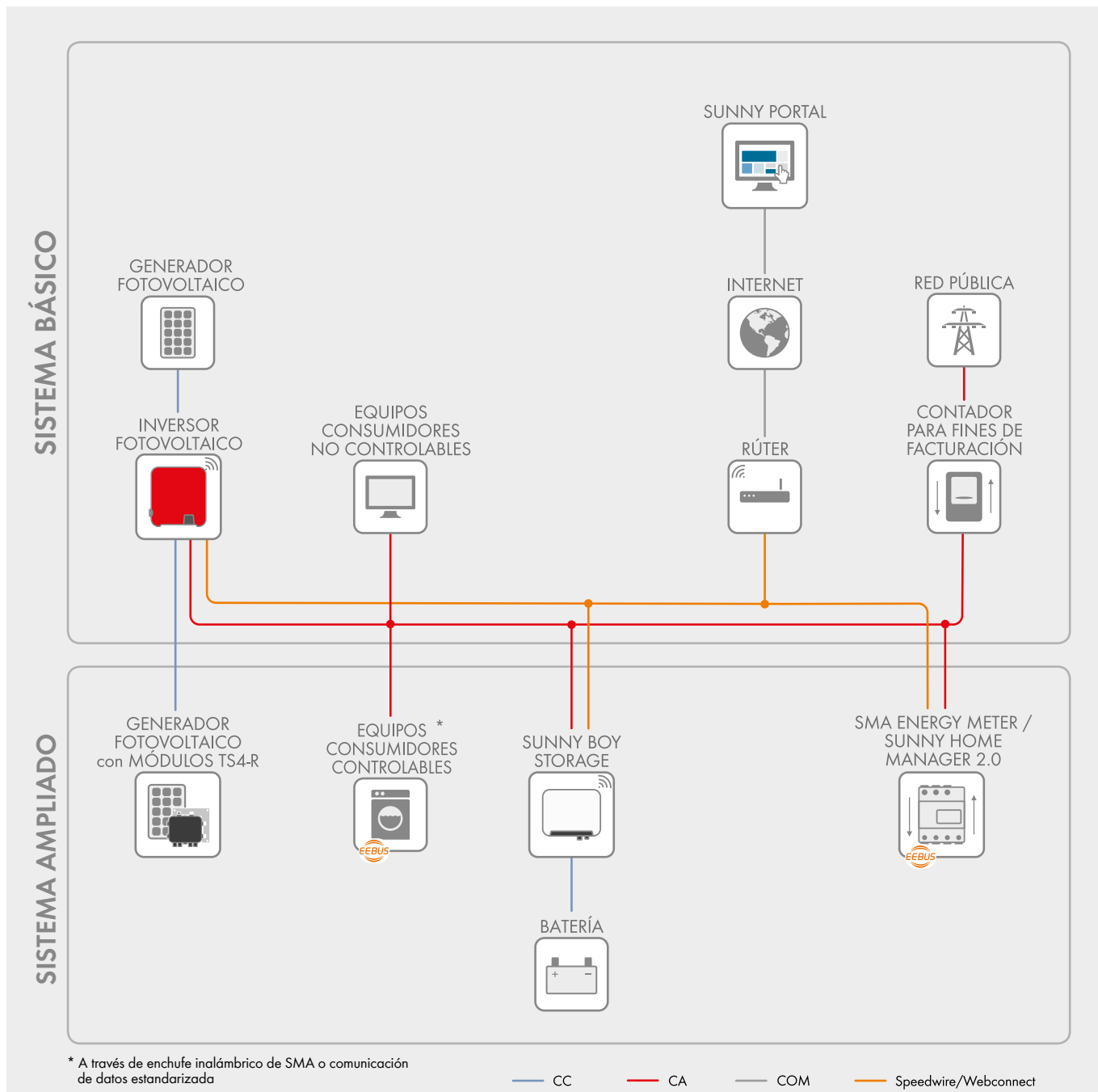
### SERVICIO DE RENDIMIENTO

El operador de la planta puede exigir un pago compensatorio de parte de SMA si el inversor de recambio no se entrega dentro del plazo de 3 días.

\* Para más detalles, véase el documento "Descripción de los servicios: SMA SMART CONNECTED"



| Datos técnicos  | Sunny Boy 3.0  | Sunny Boy 3.6    | Sunny Boy 4.0      | Sunny Boy 5.0         | Sunny Boy 6.0    |
|---|--|------------------|--------------------|-----------------------|------------------|
| <b>Entrada (CC)</b>   |  |                  |                    |                       |                  |
| Potencia máx. del generador fotovoltaico  | 5500 Wp  | 5500 Wp          | 7500 Wp            | 7500 Wp               | 9000 Wp          |
| Tensión de entrada máx.   | 600 V  |                  |                    |                       |                  |
| Rango de tensión del MPP  | De 110 V a 500 V   | De 130 V a 500 V | De 140 V a 500 V   | De 175 V a 500 V      | De 210 V a 500 V |
| Tensión asignada de entrada   | 365 V  |                  |                    |                       |                  |
| Tensión de entrada mín./de inicio   | 100 V/125 V  |                  |                    |                       |                  |
| Corriente máx. de entrada, entradas: A/B  | 15 A/15 A  |                  |                    |                       |                  |
| Corriente máx. de entrada por string, entradas: A / B   | 15 A/15 A  |                  |                    |                       |                  |
| Número de entradas de MPP independientes/Strings por entrada de MPP   | 2/A:2; B:2   |                  |                    |                       |                  |
| <b>Salida (CA)</b>  |  |                  |                    |                       |                  |
| Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)  | 3000 W   | 3680 W           | 4000 W             | 5000 W <sup>1)</sup>  | 6000 W           |
| Potencia máx. aparente de CA  | 3000 VA  | 3680 VA          | 4000 VA            | 5000 VA <sup>1)</sup> | 6000 VA          |
| Tensión nominal de CA/Rango   | 220 V, 230 V, 240 V/De 180 V a 280 V   |                  |                    |                       |                  |
| Frecuencia de red de CA/Rango   | 50 Hz, 60 Hz/De -5 Hz a +5 Hz  |                  |                    |                       |                  |
| Frecuencia asignada de red/Tensión asignada de red  | 50 Hz/230 V  |                  |                    |                       |                  |
| Corriente máx. de salida  | 16 A   | 16 A             | 22 A <sup>2)</sup> | 22 A <sup>2)</sup>    | 26,1 A           |
| Factor de potencia a potencia asignada  | 1  |                  |                    |                       |                  |
| Factor de desfase ajustable   | 0,8 inductivo a 0,8 capacitivo   |                  |                    |                       |                  |
| Fases de inyección/conexión   | 1/1  |                  |                    |                       |                  |
| <b>Rendimiento</b>  |  |                  |                    |                       |                  |
| Rendimiento máx./europeo Rendimiento  | 97,0%/96,4 %   | 97,0%/96,5 %     | 97,0%/96,5 %       | 97,0%/96,5 %          | 97,0%/96,6 %     |
| <b>Dispositivos de protección</b>   |  |                  |                    |                       |                  |
| Punto de desconexión en el lado de entrada  | ●  |                  |                    |                       |                  |
| Monitorización de toma a tierra/de red  | ● / ●  |                  |                    |                       |                  |
| Protección contra polarización inversa de CC/Resistencia al cortocircuito de CA/con separación galvánica  | ● / ● / -  |                  |                    |                       |                  |
| Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal  | ●  |                  |                    |                       |                  |
| Clase de protección (según IEC 61140)/Categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)   | I/III  |                  |                    |                       |                  |
| <b>Datos generales</b>  |  |                  |                    |                       |                  |
| Dimensiones (ancho/alto/fondo)  | 435 mm/470 mm/176 mm (17,1 in/18,5 in/6,9 in)  |                  |                    |                       |                  |
| Peso  | 17,5 kg (38,5 lb)  |                  |                    |                       |                  |
| Rango de temperatura de funcionamiento  | De -25 °C a +60 °C (de -13 °F a +140 °F)   |                  |                    |                       |                  |
| Emisión sonora, típica  | 25 dB(A)   |                  |                    |                       |                  |
| Autoconsumo (nocturno)  | 5,0 W  |                  |                    |                       |                  |
| Topología   | Sin transformador  |                  |                    |                       |                  |
| Sistema de refrigeración  | Convección   |                  |                    |                       |                  |
| Tipo de protección (según IEC 60529)  | IP65   |                  |                    |                       |                  |
| Clase climática (según IEC 60721-3-4)   | 4K4H   |                  |                    |                       |                  |
| Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)  | 100 %  |                  |                    |                       |                  |
| <b>Equipamiento</b>   |  |                  |                    |                       |                  |
| Conexión de CC/CA   | SUNCLIX/Conector de enchufe de CA  |                  |                    |                       |                  |
| Visualización a través de teléfono inteligente, tableta o portátil  | ●  |                  |                    |                       |                  |
| Interfaces: WLAN, Speedwire/Webconnect  | ● / ● / ●  |                  |                    |                       |                  |
| Protocolos de comunicación  | Modbus (SMA, Sunspec), Webconnect, SMA Data, TS4-R   |                  |                    |                       |                  |
| Gestión de las sombras: SMA ShadeFix (integrada) / TS4-R  | ● / ○  |                  |                    |                       |                  |
| Garantía: 5/10/15 años  | ● / ○ / ○  |                  |                    |                       |                  |
| Certificados y autorizaciones (otros a petición)  | AS 4777.2, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438, G59/3-4, G83/2-1, DIN EN 62109 / IEC 62109, NEN-EN50438, IEC-EN50438, NT_Ley20.571, ÖVE/ÖNORM E 8001-4-712 & TOR D4, PPDS, PPC, RD1699, TR3.2.1, UTE C15-712, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1, VFR 2014, RfG compliant |                  |                    |                       |                  |
| Certificados y autorizaciones (en planificación)  | DEWA, IEC 61727, IEC 62116, MEA, NBR16149, PEA, SI4777, TR3.2.2  |                  |                    |                       |                  |
| Disponibilidad de SMA Smart Connected en los países   | AU, AT, BE, CH, DE, ES, FR, IT, LU, NL, UK   |                  |                    |                       |                  |
| <p>● Equipamiento de serie ○ Opcional<br/> - No disponible<br/> Datos en condiciones nominales: 11/2019</p> <p>1) 4600 W/4600 VA para VDE-AR-N 4105<br/> 2) AS 4777: 21,7 A</p> |  |                  |                    |                       |                  |
| Modelo comercial  | SB3.0-1AV-41   | SB3.6-1AV-41     | SB4.0-1AV-41       | SB5.0-1AV-41          | SB6.0-1AV-41     |



### Funciones del SISTEMA BÁSICO

- Puesta en marcha sencilla gracias a la interfaz WLAN y Speedwire integrada
- Transparencia máxima gracias a la visualización en Sunny Portal/Sunny Places
- Seguridad de la inversión por medio de SMA Smart Connected
- Modbus como interfaz de tercero

### Funciones del SISTEMA AMPLIADO

- Funciones del sistema básico
- Reducción del consumo de la red y aumento del autoconsumo mediante el uso de energía fotovoltaica almacenada provisionalmente
- Máxima utilización de la energía con una carga basada en la previsión
- Autoconsumo ampliado gracias a una gestión de la carga inteligente
- Rendimiento máximo de la planta gracias a la tecnología de módulos inteligentes

#### Con SMA Energy Meter

- Rendimiento máximo de la planta gracias a la limitación dinámica de la inyección a red entre el 0 % y el 100 %
- Visualización de los consumos energéticos



## Sencillo

- Rápida instalación con el sistema plug & play
- Visualización gráfica de los valores de medición actuales en Sunny Portal y la interfaz web local

## Flexible

- Formato de carcasa compacto que ahorra espacio en el montaje sobre carril DIN en la red de distribución de la casa
- Uso flexible en aplicaciones de > 63 A mediante transformadores de corriente externos

- Modo de uso universal, independiente de los contadores de energía existentes

## Potente

- Registro trifásico rápido y bidireccional de los valores de medición para gestionar la energía de manera eficaz\*
- Perfecta coordinación con los equipos de SMA para una actividad de regulación estable

## SMA ENERGY METER

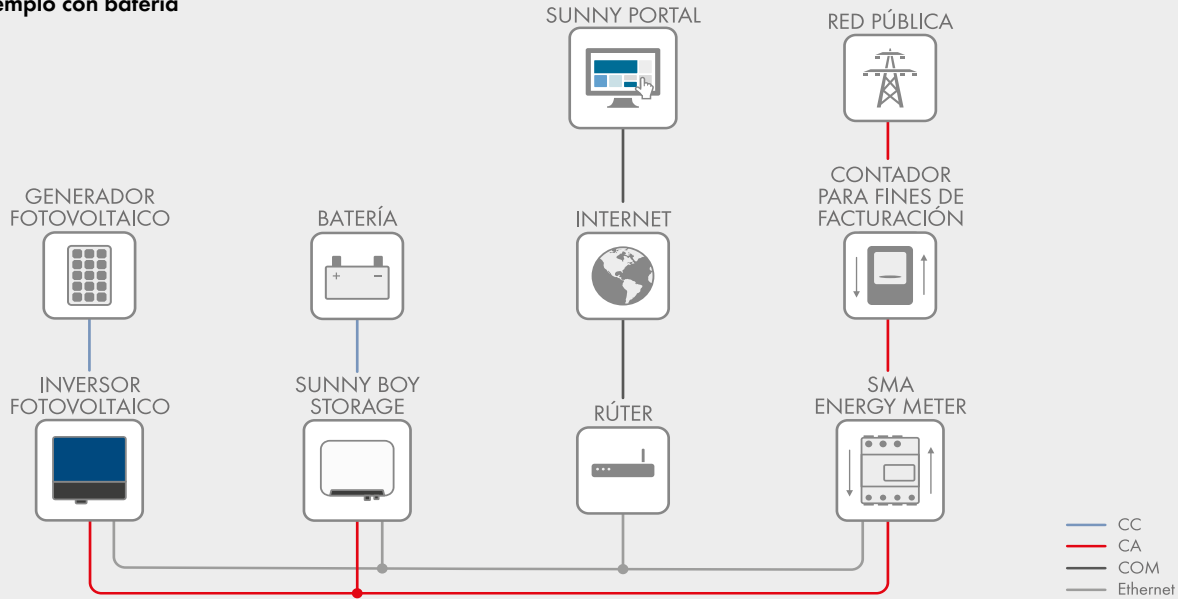
Registro universal de los valores de medición para una gestión inteligente de la energía

Esta potente solución de medición garantiza una gestión inteligente de la energía en plantas fotovoltaicas con equipos de SMA. El SMA Energy Meter determina los valores de medición eléctricos de forma precisa para cada conductor de fase y en forma de valores saldados, y los comunica a través de ethernet en la red local. Esto permite transmitir todos los datos de inyección a red y consumo de red, e incluso los relativos a la generación de energía fotovoltaica de otros inversores fotovoltaicos, con una precisión y frecuencia elevadas a los sistemas de SMA.

La combinación con el SMA Energy Meter supone en todos los casos una configuración de sistema perfectamente coordinada, la cual garantiza un mejor rendimiento y estabilidad para un ahorro de costes máximo y la optimización del autoconsumo.

\* También se puede utilizar en sistemas monofásicos.

## Ejemplo con batería



| Datos técnicos  | SMA Energy Meter   |
|---|--|
| <b>Comunicación</b>   |  |
| Conexión con el router local  | A través de cable ethernet (10/100 Mbit/s, conector RJ45)                          |
| <b>Entradas (tensión y corriente)</b>                                       |  |
| Tensión nominal   | 230 V/400 V  |
| Frecuencia  | 50 Hz/±5 %   |
| Corriente nominal/límite por cada conductor de fase                         | 5 A/63 A (>63 A combinado con transformadores de corriente externos)               |
| Corriente de arranque   | <25 mA   |
| Sección de conexión   | De 10 mm <sup>2</sup> a 16 mm <sup>2</sup> <sup>1)</sup> (para protección de 63 A) |
| Par de apriete para bornes roscados   | 2,0 Nm   |
| <b>Condiciones ambientales durante el funcionamiento</b>                    |  |
| Temperatura ambiente  | De -25 °C a +40 °C   |
| Rango de temperatura de almacenamiento                                      | De -25 °C a +70 °C   |
| Clase de protección (según IEC 62103)                                       | II   |
| Tipo de protección (según IEC 60529)  | IP2X   |
| Valor máximo permitido para la humedad relativa del aire (sin condensación) | De 5 % a 90 % <sup>2)</sup>  |
| Altitud sobre el nivel del mar  | De 0 m a 2000 m  |
| <b>Datos generales</b>  |  |
| Dimensiones (ancho/alto/fondo)  | 70 mm/88 mm/65 mm  |
| Espacios necesarios en el cuadro de distribución del carril DIN             | 4  |
| Peso  | 0,3 kg   |
| Lugar de montaje  | Armario de distribución o de contadores  |
| Tipo de montaje   | Montaje sobre carril DIN   |
| Indicación de estado  | 2 leds   |
| Autoconsumo   | <3 W   |
| Exactitud de medición, ciclo de medición                                    | 1 %, 1000 ms   |
| <b>Equipamiento</b>   |  |
| Garantía  | 2 años   |
| Certificados y autorizaciones (otros a petición)                            | www.SMA-Solar.com  |
| Actualizado: enero de 2019  |  |
| 1) mecánica de 1,5 mm <sup>2</sup> a 25 mm <sup>2</sup>                     |  |
| 2) 95 % solo encendido hasta 30 días al año                                 |  |
| Modelo comercial  | EMETER-20  |

# Inversor/cargador MultiPlus-II GX

MultiPlus-II 24/3000/70-32 GX, 48/3000/35-32 GX & 48/5000/70-50 GX



## Un MultiPlus-II con función LCD y GX

El MultiPlus-II GX integra un inversor/cargador MultiPlus-II y un dispositivo GX con una pantalla de 2 x 16 caracteres.

## Pantalla y Wi-Fi

La pantalla muestra parámetros de la batería, el inversor y el controlador de carga solar. Se puede acceder a estos parámetros con un *smartphone* u otro dispositivo con Wi-Fi.

## Dispositivo GX

El dispositivo GX integrado incluye:

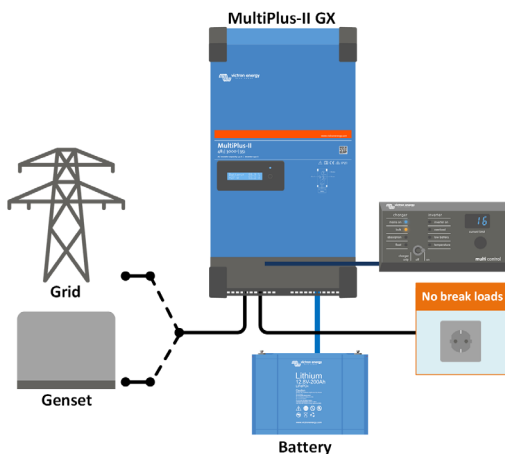
- Una interfaz VE.Can. Puede usarse para conectarse a dispositivos Victron VE.Can (p. ej.: MPPT VE.Can) o el puerto puede reconfigurarse a través de la consola remota para usarlo con una batería de ion litio CAN-bus compatible.
- Un puerto USB.
- Un puerto Ethernet.
- Un puerto VE.Direct.

## Aplicaciones

El MultiPlus-II GX está pensado para aplicaciones en las que es necesario conectarse a otros productos o tener control remoto, como sistemas de almacenamiento de energía, tanto conectados como desconectados de la red eléctrica, y ciertas aplicaciones móviles.

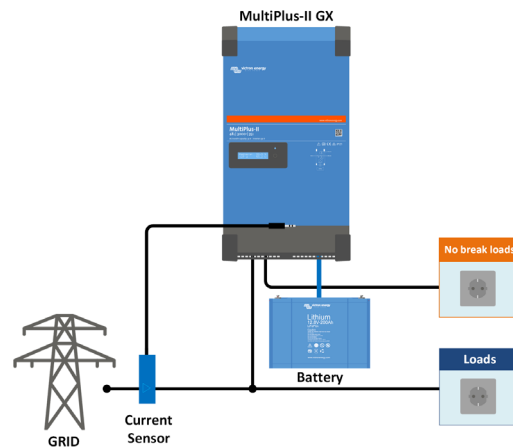
## Funcionamiento paralelo y trifásico

Solo se necesita una unidad GX para el funcionamiento paralelo y trifásico.



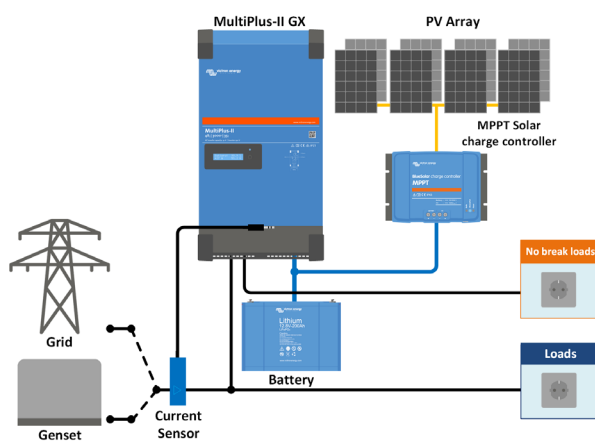
### Aplicación marina, móvil o desconectada de la red eléctrica estándar

Las cargas que deberían apagarse cuando la alimentación de la entrada de CA no esté disponible pueden conectarse a una segunda salida (no se muestra en la imagen). La función PowerControl y PowerAssist tendrá en cuenta estas cargas para limitar la entrada de corriente CA hasta un valor seguro cuando haya corriente CA.



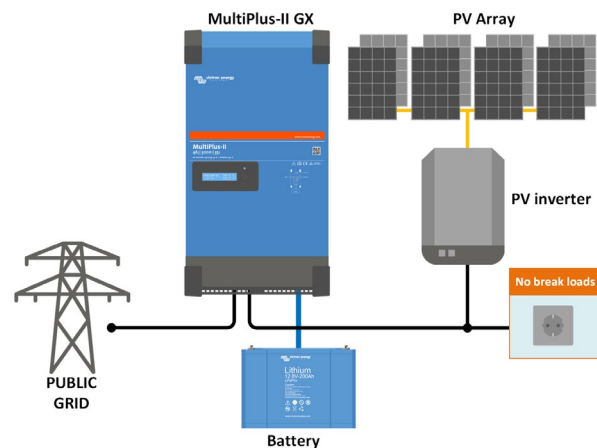
### Aplicación móvil estándar o desconectada de la red eléctrica con sensor de corriente externa

Máximo rango del sensor de corriente: 50 A resp 100 A



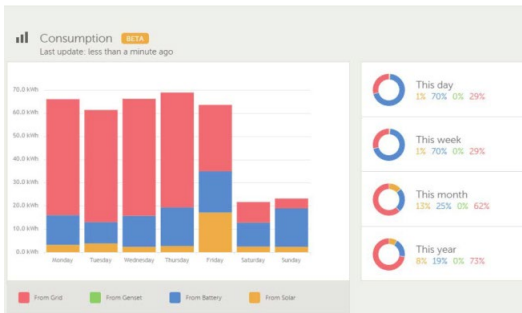
### Topología paralela a la red con controlador de carga solar MPPT

El MultiPlus-II utilizará los datos del sensor de corriente alterna externo (que debe pedirse por separado) o del medidor de energía para optimizar el autoconsumo y, si es necesario, evitar la devolución a la red del excedente de energía solar. En caso de un corte del suministro eléctrico, el MultiPlus-II seguirá alimentando las cargas críticas.



### Topología en línea con la red con inversor FV

La energía FV se convierte directamente en CA. El MultiPlus-II utilizará el exceso de energía fotovoltaica para cargar las baterías o para devolver energía a la red, y descargará la batería o utilizará energía de la red para complementar la falta de energía fotovoltaica. En caso de un corte del suministro eléctrico, el MultiPlus-II se desconectará de la red y seguirá alimentando las cargas.



### Portal VRM

Nuestra web gratuita de seguimiento remoto (VRM) puede mostrar todos los datos de su sistema en un completo formato gráfico. Los ajustes del sistema pueden modificarse a distancia a través del portal. Se pueden recibir alarmas por correo electrónico.



### App VRM para Wi-Fi

Controle y gestione su sistema Victron Energy desde su *smartphone* o tableta. Disponible tanto para iOS como para Android.



### GX GSM

Un modem celular que proporciona Internet móvil al sistema y conexión a Victron Remote Management (VRM). Opcional: antena GSM exterior y antena GPS. Para más información introduzca *GX GSM* en el cuadro de búsqueda de nuestro sitio web.



Área de conexión

| MultiPlus-II GX   | 24/3000/70-32   | 48/3000/35-32 | 48/5000/70-50      |
|---|---|---------------|--------------------|
| PowerControl y PowerAssist                                  | Sí  |               |                    |
| Commutador de transferencia                                 | 32 A  | 50 A          |                    |
| Corriente máxima de entrada CA                              | 32 A  | 50 A          |                    |
| Salida auxiliar   | Sí (32 A)   |               |                    |
| <b>INVERSOR</b>   |   |               |                    |
| Rango de tensión de entrada CC                              | 19 – 33 V   | 38 – 66 V     |                    |
| Salida  | Tensión de salida: 230 V CA ± 2%<br>Frecuencia: 50 Hz ± 0,1% (1)  |               |                    |
| Potencia cont. de salida a 25 °C (3)                        | 3000 VA   | 5000 VA       |                    |
| Potencia cont. de salida a 25°C                             | 2400 W  | 4000W         |                    |
| Potencia cont. de salida a 40 °C                            | 2200 W  | 3700W         |                    |
| Potencia cont. de salida a 65 °C                            | 1700 W  | 3000W         |                    |
| Balance neto máximo aparente (corriente retornada a la red) | 2500 VA   | 4000VA        |                    |
| Pico de potencia  | 5500 W  | 9000W         |                    |
| Eficiencia máxima   | 94%   | 95%           | 96%                |
| Consumo en vacío  | 13W   | 11W           | 18W                |
| Consumo en vacío en modo AES                                | 9W  | 7W            | 12W                |
| Consumo en vacío en modo búsqueda                           | 3W  | 2W            | 2W                 |
| <b>CARGADOR</b>   |   |               |                    |
| Entrada de CA   | Rango de tensión de entrada: 187-265 V CA<br>Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz                              |               |                    |
| Tensión de carga de "absorción"                             | 28,8V   | 57,6V         |                    |
| Tensión de carga de "flotación"                             | 27,6V   | 55,2V         |                    |
| Modo de almacenamiento                                      | 26,4V   | 52,8V         |                    |
| Máxima corriente de carga de la batería (4)                 | 70A   | 35A           | 70A                |
| Sensor de temperatura de la batería                         | Sí  |               |                    |
| <b>GENERAL</b>  |   |               |                    |
| Interfaces  | VE.Can, USB, Ethernet, VE.Direct, Wi-Fi   |               |                    |
| Sensor de CA externa (opcional)                             | 50 A  | 100 A         |                    |
| Relé programable (5)  | Sí  |               |                    |
| Protección (2)  | a – g   |               |                    |
| Puerto de comunicación VE.Bus                               | Para funcionamiento paralelo y trifásico, control remoto e integración del sistema                          |               |                    |
| Puerto de comunicaciones de uso general                     | Sí, 2 puertos   |               |                    |
| On/Off remoto   | Sí  |               |                    |
| Temperatura de trabajo                                      | -40 a +65°C (refrigerado por ventilador)  |               |                    |
| Humedad (sin condensación)                                  | máx. 95%  |               |                    |
| <b>CARCASA</b>  |   |               |                    |
| Material y color  | acero, azul RAL 5012  |               |                    |
| Grado de protección   | IP22  |               |                    |
| Conexión de la batería                                      | Pernos M8   |               |                    |
| Conexión 230 V CA   | Bornes de tornillo de 13 mm <sup>2</sup> (6 AWG)  |               |                    |
| Peso  | 19 kg   | 30 kg         |                    |
| Dimensiones (al x an x p)                                   | 506 x 275 x 147 mm  |               | 565 x 323 x 148 mm |
| <b>NORMAS</b>   |   |               |                    |
| Seguridad   | EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1, EN-IEC 62109-2   |               |                    |
| Emissiones, Inmunidad                                       | EN 55014-1, EN 55014-2<br>EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3<br>IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3 |               |                    |
| Sistema de alimentación ininterrumpida                      | IEC 62040-1   |               |                    |
| Antiisla  | Puede consultar los certificados en nuestro sitio web   |               |                    |

- 1) Puede ajustarse a 60 Hz
- 2) Claves de protección:
  - a) cortocircuito de salida
  - b) sobrecarga
  - c) tensión de la batería demasiado alta
  - d) tensión de la batería demasiado baja
  - e) temperatura demasiado alta
  - f) 230 VCA en la salida del inversor
  - g) ondulación de la tensión de entrada demasiado alta
- 3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1
- 4) A 25°C de temperatura ambiente
- 5) Relé programable que puede configurarse para las funciones de alarma general, subtensión CC o señal de arranque para el generador. Capacidad nominal CA: 230 V/4 A, Capacidad nominal CC: 4 A hasta 35 VCC y 1 A hasta 60 VCC



### Sensor de corriente de 100 A:50 mA

Para implementar PowerControl y PowerAssist y para optimizar el autoconsumo gracias a la detección de la corriente externa. Corriente máxima: 50 A resp. 100 A. Longitud del cable de conexión: 1 m



### Panel Digital Multi Control

Una solución práctica y de bajo coste para el seguimiento remoto, con un selector giratorio con el que se pueden configurar los niveles de PowerControl y PowerAssist.



# RA12-200 (12V200Ah)

RA series is a general purpose battery with 10 years design life in float service. It meets with IEC, JIS and BS standards. With up-dated AGM valve regulated technology and high purity raw materials, the RA series battery maintains high consistency for better performance and reliable standby service life. It is suitable for UPS/EPS, medical equipment, emergency light and security system applications.



## Specification

|  |   |
|--|---|
| Cells Per Unit                             | 6   |
| Voltage Per Unit                           | 12  |
| Capacity                                   | 200Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C   |
| Weight                                     | Approx. 60.0 Kg (Tolerance ± 1.5%)  |
| Max. Discharge Current                     | 2000A (5 sec)   |
| Internal Resistance                        | Approx. 4 mΩ  |
| Operating Temperature Range                | Discharge: -20°C~60°C<br>Charge: 0°C~50°C<br>Storage: -20°C~60°C  |
| Normal Operating Temperature Range         | 25°C ± 5°C  |
| Float charging Voltage                     | 13.6 to 13.8 VDC/unit Average at 25°C   |
| Recommended Maximum Charging Current Limit | 60 A  |
| Equalization and Cycle Service             | 14.6 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C   |
| Self Discharge                             | RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using. |
| Terminal                                   | Terminal F10  |
| Container Material                         | A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.   |



MH28539



G4M20206-0910-E-16



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK

**CERTIFICATE**

Postcode: 421001

is in conformity with

ISO 14001:2004 Standard



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK

**CERTIFICATE**

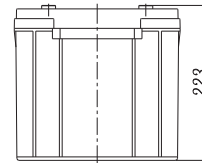
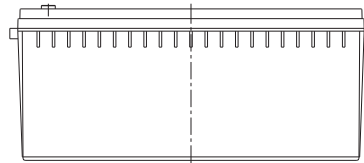
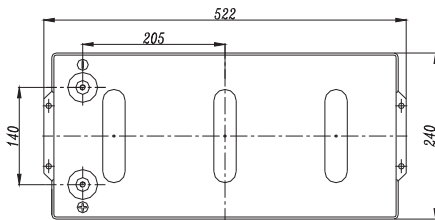
Postcode: 421001

is in conformity with

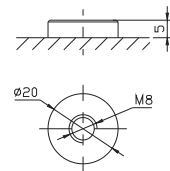
OHSAS 18001:1999 Standard

## Dimensions

Unit: mm Dimension: 522(L)×240(W)×223(H)



Terminal F10



## Constant Current Discharge Characteristics: A (25°C)

| F.V/Time | 5MIN  | 10MIN | 15MIN | 30MIN | 1HR   | 2HR   | 3HR   | 4HR   | 5HR   | 8HR   | 10HR  | 20HR  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9.60V    | 569.6 | 426.7 | 344.7 | 200.9 | 124.8 | 77.07 | 52.38 | 42.23 | 35.06 | 23.09 | 20.81 | 11.02 |
| 10.0V    | 553.2 | 406.0 | 337.6 | 198.4 | 123.2 | 75.52 | 51.41 | 41.63 | 34.75 | 23.00 | 20.61 | 10.81 |
| 10.2V    | 536.8 | 391.7 | 332.3 | 195.3 | 122.0 | 74.72 | 50.95 | 41.22 | 34.52 | 22.79 | 20.40 | 10.61 |
| 10.5V    | 482.0 | 361.4 | 316.4 | 190.0 | 120.5 | 73.74 | 50.50 | 40.61 | 34.23 | 22.59 | 20.20 | 10.40 |
| 10.8V    | 435.1 | 329.6 | 291.7 | 183.7 | 118.8 | 73.14 | 49.91 | 39.22 | 34.06 | 22.50 | 20.02 | 10.30 |
| 11.1V    | 371.5 | 294.6 | 261.6 | 176.7 | 116.0 | 70.20 | 48.93 | 38.65 | 33.81 | 22.32 | 19.78 | 9.88  |

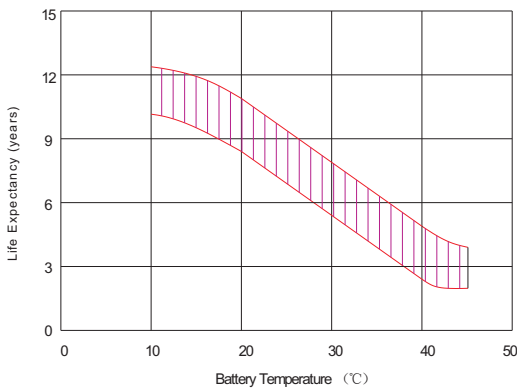
## Constant Power Discharge Characteristics: W(25°C)

| F.V/Time | 5MIN | 10MIN | 15MIN | 30MIN | 1HR  | 2HR   | 3HR   | 4HR   | 5HR   | 8HR   | 10HR  | 20HR  |
|----------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9.60V    | 5892 | 4544  | 3792  | 2300  | 1447 | 903.2 | 616.7 | 505.5 | 420.0 | 276.5 | 249.6 | 132.7 |
| 10.0V    | 5776 | 4405  | 3731  | 2276  | 1433 | 892.2 | 607.5 | 498.4 | 416.2 | 275.5 | 247.6 | 130.4 |
| 10.2V    | 5710 | 4289  | 3689  | 2257  | 1425 | 885.8 | 604.8 | 493.7 | 413.7 | 273.4 | 245.4 | 128.0 |
| 10.5V    | 5198 | 3994  | 3518  | 2211  | 1416 | 874.6 | 599.9 | 487.1 | 410.4 | 271.1 | 243.0 | 125.6 |
| 10.8V    | 4734 | 3681  | 3252  | 2158  | 1398 | 868.1 | 593.2 | 470.6 | 408.5 | 269.9 | 240.6 | 124.4 |
| 11.1V    | 4159 | 3328  | 2927  | 2099  | 1377 | 835.6 | 583.2 | 463.9 | 407.0 | 268.0 | 238.0 | 119.9 |

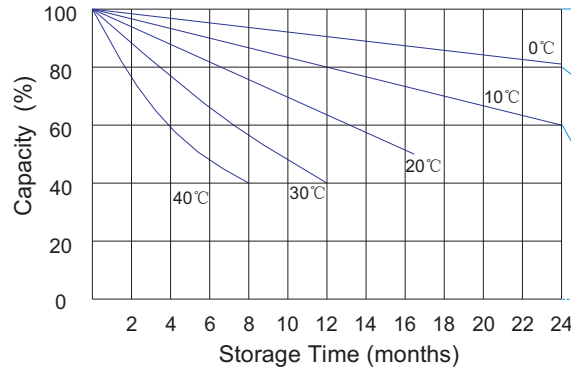
All mentioned values are average values(Tolerance ± 2%).



### Effect of temperature on long term float life



### Storage characteristic



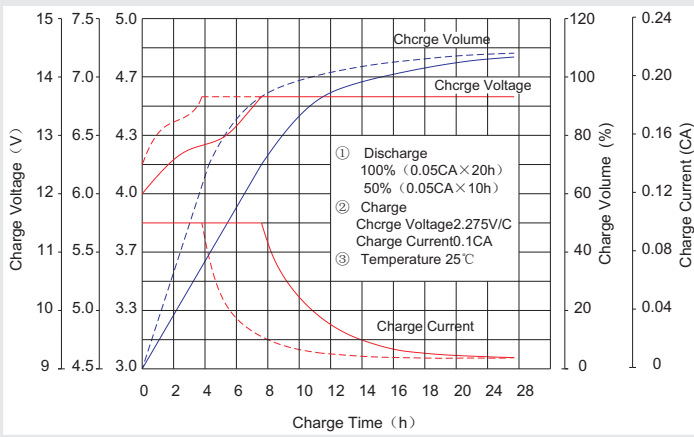
Supplementary charge required (Carry out supplementary charge before use if 100% capacity is required)

Supplementary charge required before use. This supplementary charge will help to recover the capacity and should be made as early as possible.

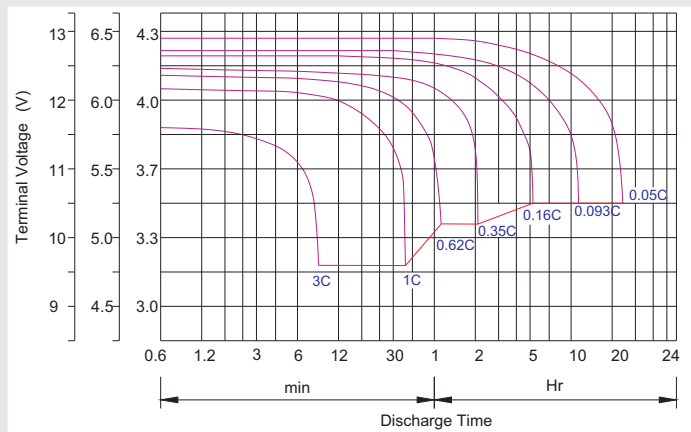
Supplementary charge may often fail to recover the capacity. The battery should never be left standing till this state is reached

Supplementary charge and storage guidelines

### Charge characteristic Curve for standby use



### Discharge characteristic Curve



### Capacity Factors With Different Temperature

| Battery Type |        | -20°C | -10°C | 0°C | 5°C | 10°C | 20°C | 25°C | 30°C | 40°C | 45°C |
|--------------|--------|-------|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| GEL Battery  | 6V&12V | 50%   | 70%   | 83% | 85% | 90%  | 98%  | 100% | 102% | 104% | 105% |
|              | 2V     | 60%   | 75%   | 85% | 88% | 92%  | 99%  | 100% | 103% | 105% | 106% |
| AGM Battery  | 6V&12V | 46%   | 66%   | 76% | 83% | 90%  | 98%  | 100% | 103% | 107% | 109% |
|              | 2V     | 55%   | 70%   | 80% | 85% | 92%  | 99%  | 100% | 104% | 108% | 110% |

### Discharge Current VS. Discharge Voltage

| Final Discharge Voltage V/cell | 1.75V      | 1.70V             | 1.60V      |
|--------------------------------|------------|-------------------|------------|
| Discharge Current (A)          | (A) ≤ 0.2C | 0.2C < (A) < 1.0C | (A) ≥ 1.0C |

Charge the batteries at least once every six months, if they are stored at 25°C.

Charging Method:

|                  |  |
|------------------|--|
| Constant Voltage | -0.2Cx2h+2.4-2.45V/cellx24h, Max. Current 0.3C |
| Constant Current | -0.2Cx2h+0.1Cx12h                              |
| Fast             | -0.2Cx2h+0.3Cx4h                               |

|          |                       |                  |                       |
|----------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| Bolt     | M5                    | M6               | M8                    |
| Terminal | F3 F4 F13 F18 T25 T26 | F8 F11 F12-1 F15 | F5 F9 F10 F12 F14 F16 |
| Torque   | 6~7N·m                | 8~10N·m          | 10~12N·m              |

### Maintenance & Cautions

#### Float Service:

- ※ Every month, recommend inspection every battery voltage.
- ※ Every three months, recommend equalization charge for one time.

Equalization charge method:

Discharge: 100% rate capacity discharge.

Charge: Max. current 0.3CA, constant voltage 2.4-2.45V/Cell charge 24h.

※ Effect of temperature on float charge voltage: -3mV/°C/Cell.

※ Length of service life will be directly affected by the number of discharge cycles, depth of discharge, ambient temperature and charging voltage.