

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Títol: Anàlisi i optimització del consum energètic d'una explotació agroturística

Document: Memòria i annexos

Alumne: Ferran Frigola Coll

Tutors: Joan Colomer Llinas i Marc Cañiguerol Maurici

Departament: Departament d'enginyeria elèctrica, electrònica industrial i automàtica

Àrea: Enginyeria de sistemes i automàtica

Convocatòria (mes/any): Juny 2022

AGRAÏMENTS

M'agradaria agrair a totes les persones que han aportat el seu granet de sorra per ajudar-me, motivar-me i aconseguir que aquest treball de final de grau hagi sortit endavant. En primer lloc, els dos tutors: en Joan Colomer per donar-me la confiança i en Marc Cañigüeral pels aprenentatges adquirits amb la programació. A tots dos agrair-los el temps dedicat a mi.

També m'agradaria agrair a part de la família per tenir la paciència d'explicar-me com funcionen certes coses de la instal·lació i a l'altre part familiar juntament amb els amics per donar-me el suport necessari i consells.

ÍNDEX DE CONTINGUTS

AGRAÏMENTS	3
ÍNDEX DE CONTINGUTS.....	I
ÍNDEX DE FIGURES.....	I
ÍNDEX DE TAULES	II
1 INTRODUCCIÓ	1
1.1 Antecedents	1
1.2 Objecte del treball	1
1.3 Emplaçament.....	1
1.4 Problemàtica o necessitat	2
1.5 Abast	3
1.6 Motivació	3
2 ELEMENTS UTILITZATS PER A L'OBTENCIÓ DE DADES	5
2.1 ESP32.....	5
2.2 FreeRTOS	6
2.3 Amazon Web Services (AWS)	7
2.4 AWS IoT Core	7
2.5 AWS <i>DynamoDB</i>	8
2.6 Protocol MQTT.....	9
3 SENSOR DE CORRENT AMB ESP32.....	11
3.1 Hardware.....	11
3.2 Software	12
3.3 Muntatge del sensor de corrent	13

3.4	Programació del microcontrolador ESP32	15
4	ELEMENTS MESURATS I CONCEPTES.....	19
4.1	Conceptes importants.....	19
4.2	Zones o aparells mesurats.....	21
5	TRACTAMENT DE DADES.....	23
5.1	Codi del tractament de dades	23
5.2	Anàlisi dels elements mesurats.....	24
5.2.1	Refrigeradora.....	24
5.2.2	Congeladors.....	25
5.2.3	Depuradora.....	28
5.2.4	Grup d'aigua	30
5.2.5	Cuina.....	31
5.2.6	Inversor.....	33
6	ANÀLISI DE PROPOSTES DE MILLORA	35
6.1	Instal·lar més plaques fotovoltaïques.....	35
6.2	Instal·lació de bateries	46
6.3	Actuar ens els consums de refrigeració	49
6.3.1	Actuar sobre la refrigeradora	49
6.3.2	Actuar sobre els congeladors	50
6.4	Propostes de futur	59
7	RESUM DEL PRESSUPOST.....	61
8	CONCLUSIONS.....	63
9	RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	67
10	REFERÈNCIES	69
11	ANNEXOS.....	71
11.1	“L'agrovoltatge”	71

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1: Situació del Mas Saulot a la comarca del Baix Empordà (Font: ICGC).....	2
Figura 2: Emplaçament del Mas Saulot a prop dels pobles de Fontclara, Palau-Sator i Fontanilles. (Font:ICGC).....	2
Figura 3: Esquema de la utilització de les claus en el DynamoDB.	8
Figura 4: Esquema dels elements d'una comunicació MQTT.	9
Figura 5: Esquema del funcionament d'una publicació d'un missatge MQTT.	9
Figura 6:Esquema elèctric del muntatge.	11
Figura 7: PCB (Printed Circuit Board) amb coure d'una sola capa que s'ha utilitzat.....	12
Figura 8:Procediments del muntatge i instal·lació dels mesuradors de corrent..	15
Figura 9: Esquema simplificat de les tasques del codi.	16
Figura 10: Tarifa 3.0TD amb els diferents trams horaris per la península. (Font: es.support.somenergia.coop).....	19
Figura 11: Despesa en potència de la refrigeradora durant 1 mes.....	24
Figura 12: Dades de la potència de la refrigeradora entre el 19 i el 21 d'abril.	25
Figura 13: Consum d'energia de la refredadora entre el 18 i el 26 d'abril.	25
Figura 14: Despesa en potència per un congelador durant 1 dia.	26
Figura 15: Consum diari del congelador durant un mes.	27
Figura 16: Consum horari del congelador durant 1 setmana.	27
Figura 17: Perfil diari del congelador.	27
Figura 18: Consum de la depuradora durant 1 setmana.	28
Figura 19: Consum de la depuradora durant 2 dies.....	28
Figura 20: Gràfic de barres de l'energia consumida per la depuradora amb el temps.....	29
Figura 21: Perfil diari de la depuradora.	29
Figura 22: Anàlisi de la despesa de potència del grup d'aigua durant 1 mes.	30
Figura 23: Consum energètic del grup d'aigua durant un mes.	30
Figura 24: Potència de la cuina.	31
Figura 25: Perfil de la cuina de dies laborables.....	31
Figura 26: Consum de la cuina entre el 9 i el 23 de maig.	32
Figura 27: Perfil diari de consum energètic de la cuina en dies laborables..	32
Figura 28: Perfil diari de consum de de la cuina en dies no laborables, és a dir dilluns i dimarts.	33
.....	33
Figura 29: Generació solar amb potència entre el 9 i el 21 d'abril.	33
Figura 30: Energia generada gràcies a les plaques fotovoltaïques.	34
Figura 31: Perfil diari mitjà de l' inversor al mes d'abril.	34
Figura 32: Gràfic de consum, generació fotovoltaïca, consum de la xarxa i possible injecció a la xarxa.	38
Figura 33: Exemple de demostració de les fórmules de la taula.	38
Figura 34: Estalvi anual per diferents valors de kilowatts pic de potència.	40
Figura 35: Despesa d'energia anual per diferents valors de kilowatts pic.....	40
Figura 36: Amortització acumulada per instal·lacions amb potències màximes entre 70 i 130 kilowatts pic.....	44

Figura 37: Amortització acumulada per instal·lacions amb potències màximes entre 142 i 200 kWpic.....	44
Figura 38: Gràfic de consum de xarxa amb bateries i sense.....	47
Figura 39 :Esquema del funcionament de la refrigeradora.....	49
Figura 40: Funcionament del congelador actualment.....	51
Figura 41: Experiment 1.....	52
Figura 42: Consum d'energia en l'experiment 1.....	52
Figura 43: Experiment 2.....	53
Figura 44: Energia consumida durant l'experiment 2.....	54
Figura 45: Energia consumida per variació de temperatura.....	56
Figura 46: Tarifa del mes de maig. (Font: energigreen.com).....	57
Figura 47: Simulació del perfil òptim de consum.....	57
Figura 48: Simulació comparativa entre l'actualitat i l'òptim.....	58
Figura 49: Coordinació de consums d'energia de la depuradora i la cuina en un gràfic de barres del perfil diari.....	59
Figura 50: Coordinació de consums d'energia de la depuradora i la cuina sumades en un gràfic de barres del perfil diari.....	60
Figura 51: El concepte d'agrovoltatge a la dreta en una vinya i a l'esquerra en un camp de pereres.....	71

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1: Característiques del microcontrolador ESP32.....	6
Taula 2: Definició de les claus i l'atribut utilitzats.....	8
Taula 3: Format de la taula al extreure les dades de DynamoDB amb programació R.....	23
Taula 4: Format de la taula un cop tractades les dades.....	24
Taula 5: Taula d'ampliació de kWpic amb el seu corresponent percentatge sobre la instal·lació.....	36
Taula 6: Taula global d'exemple de consum, preus, generació i cost.....	36
Taula 7: Estalvi d'energia en euros gràcies a la generació solar per diferents dimensions d'instal·lacions.....	41
Taula 8: Despesa d'energia en euros per diferents dimensions d'instal·lacions fotovoltaïques.....	42
Taula 9: Generació i consum de xarxa per diferents kilowatts pic de potència.....	43
Taula 10: Cost per fer ampliacions de la instal·lació per diferents kilowatts pic.....	43
Taula 11: Total acumulat amortitzat per instal·lacions entre 70kWpic i 155kWpic.....	45
Taula 12: Total acumulat amortitzat per instal·lacions entre 170kWpic i 400kWpic.....	46
Taula 13: Consum de xarxa amb bateries i sense.....	47
Taula 14: Estalvi amb bateries.....	48
Taula 15: Amortització acumulada de les bateries.....	49
Taula 16: Diferències entre experiments.....	54
Taula 17: Taula resum dels experiments per trobar l'interval òptim.....	55
Taula 18: Taula de control per congeladors òptim.....	57
Taula 19: Preus actuals i optimitzats del consum.....	58

Taula 20: Comparació de l'actualitat i l'òptim. 58

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

El Mas Saulot, ubicat a la població del Baix Empordà Palau-Sator, és una masia antiga construïda el 1877 on al llarg dels anys s'hi han dut a terme diferents activitats de diversos sectors econòmics començant per una petita granja de vaques, continuant per al cultiu de diferents arbres fruiters. Actualment, s'hi practiquen tres activitats econòmiques molt diferenciades entre elles: cultiu de pomes, elaboració de productes derivats de la poma majoritàriament en forma de suc de poma i sidra i la restauració.

En l'actualitat, hi conviuen dues empreses diferents, però ambdues dirigides per la família Frigola, l'Agroalimentària Mas Saulot dedicada al cultiu de pomes i l'elaboració de productes de poma i la Sidreria Mooma que és un restaurant.

És per aquestes activitats que la potència contractada i també el consum d'energia són elevats i és d'interès analitzar el consum elèctric per poder buscar una solució que permeti planificar-lo i optimitzar-lo. El primer pas per a reduir aquest consum ha estat una instal·lació de plaques fotovoltaïques.

1.2 Objecte del treball

Anàlisi energètica de l'explotació per al monitoratge, planificació i optimització dels consums i la generació elèctrica. Subobjectius: aquesta anàlisi es durà a terme, en primer lloc, amb la instal·lació de mesuradors de corrent en diferents quadres elèctrics del Mas Saulot. En segon lloc i tercer lloc, s'obtidran dades dels mesuradors, es tractaran i s'analitzaran i per últim es faran propostes de millora a més a més de propostes de futur.

1.3 Emplaçament

El Mas Saulot s'emplaça a la província de Girona, més concretament a la comarca del Baix Empordà i a les afores del poble de Palau-Sator amb codi postal 17256 i amb direcció Mas Saulot S/N. La masia situada entre camps ocupa 15 hectàrees. Les coordenades geogràfiques són UTM31N – ET3S89: 511035,5E – 4649877,8N. A la Figura 1 i a la Figura 2 es mostra la situació de la masia entre pobles del Baix Empordà i allà on es dur a terme les activitats.



Figura 1: Situació del Mas Saulot a la comarca del Baix Empordà (Font: ICGC)



Figura 2: Emplaçament del Mas Saulot a prop dels pobles de Fontclara, Palau-Sator i Fontanilles. (Font:ICGC)

1.4 Problemàtica o necessitat

La problemàtica és purament econòmica, durant els dos últims anys, 2021 i en els darrers mesos de 2022, el preu de la llum ha anat a l'alça fent arribar a màxims històrics, i això ens ha portat a buscar mètodes per reduir el cost del consum d'energia. En contrapartida, hi ha una necessitat global d'obtenir i consumir energia verda, en el nostre cas a través de l'energia solar.

1.5 Abast

L'estudi constarà, en primer lloc, d'una primera part de muntatge i instal·lació d'aparells de mesura per capturar el comportament de diferents instal·lacions des del punt de vista del consum energètic. Es crearà una base de dades històrica amb els consums adquirits i les dades de la instal·lació fotovoltaica. Posteriorment, s'analitzaran les dades recollides per tal de buscar solucions i optimitzar el consum energètic tant a nivell de planificació (incloent-hi la producció) com de flexibilització. Els objectius de l'optimització són ajustar els consums, aplanar els pics de potència i reduir els costos sense afectar a l'activitat normal de l'explotació.

1.6 Motivació

En aquests anys he estat cursant el grau en enginyeria de tecnologies industrials i he decidit focalitzar l'estudi en la vessant més d'energia per tal d'aprendre més sobre l'anàlisi de consums.

Com a membre més jove de la família Frigola Coll, em sento responsable per aportar el meu gra de sorra en el futur de l'empresa familiar i poder canviar petites coses per a la millora del negoci.

Un punt important a tenir en compte és que soc el tercer descendent que podria continuar amb l'empresa, però actualment estic enfrontat amb el dilema del successor que valora, per una banda, continuar el seu camí professional a través dels estudis, per altra banda, continuar el seu camí professional en l'empresa familiar o bé considerar un camí professional alternatiu en altres empreses o institucions.

La motivació principal per a mi, és que l'elaboració d'aquest treball de final de grau m'ajudi a aprendre sobre el funcionament de l'energia i aportar organització i optimització del consum energètic a l'empresa familiar per tal d'estalviar en recursos.

2 ELEMENTS UTILITZATS PER A L'OBTENCIÓ DE DADES

2.1 ESP32

El microcontrolador que s'utilitza es el ESP32. Es tracta d'un dispositiu encarat al desenvolupament de dispositius per al lot (*Internet of Things*). Hi ha diverses plaques de desenvolupament que incorporen l'ESP32, ja que fan més accessibles els pins del microcontrolador. Aquestes plaques permeten integrar una *protoboard* que permet connectar l'ordinador via USB.

L'ESP32 presenta una sèrie de característiques que el fan molt útil per a moltes aplicacions IoT, de les quals es destaquen:

- Es tracta d'un microcontrolador amb connectivitat WiFi que ofereix la potència necessària i a un molt baix preu.
- Disposa de les suficients GPIOs (Entrada / Sortida de Propòsit General) per aquesta aplicació en concret.
- Es pot realitzar fàcilment un prototip amb una protoboard, es pot programar amb Arduino IDE o FreeRTOS i es pot trobar molt suport, ja que es tracta d'un dispositiu molt estès.
- És robust i molt versàtil.
- Disposa d'elements de seguretat com un accelerador d'enciptació per hardware i permet l'enciptació del codi a la flash.

En la següent taula es mostren les característiques principals de l'ESP32:

Taula 1: Característiques del microcontrolador ESP32.

Característica	ESP32
Processador	Tensilica Xtensa LX6 32 Dual-Core a 160 MHz (fins a 240 MHz)
Memòria RAM	520 KB
Memòria Flash	Fins a 16 MB
ROM	448 kB.
Alimentació	2.2 a 3.6 V
Rang de temperatures	-40 °C a 125°C
Consum de corrent	80 mA (promig). 225 mA màxim.
Consum en mode somni profund	2.5 uA (10 uA RTC + memòria RTC)
Coprocessador de baix consum	Sí. Consum inferior a 150 uA
WiFi	802.11b/g/n (fins a +20 dBm) WEP, WPA
Soft-AP	Sí
Bluetooth	V4.2 BR/EDR i BLE
UART	3
I2C	2
SPI	4
GPIO (utilitzables)	11
PWM	16
ADC	18 (12 bit)
ADC amb preamplificador	Sí (baix soroll) Fins a 60 dB
DAC	2 (8 bit)
1-Wire	Implementat per software
I2S	2
CAN bus	1 x 2.0
Ethernet	10/100 Mbps MAC
Sensor de temperatura	Sí
Sensor efecte HALL	Sí
IR	Sí
Temporitzadors	4 (64 bits)
Encriptació per hardware	Sí (AES, SHA, RSA, ECC)
Gen. De números aleatoris	Sí
Encriptació flash	Sí
Arrancada segura	Sí

2.2 FreeRTOS

El FreeRTOS és un sistema operatiu desenvolupat per Amazon Web Services de temps real de codi obert utilitzat per microcontroladors que facilita la programació, la implementació, la protecció, la connexió i l'administració dels dispositius petits i de baix consum. El seu llenguatge de programació és el C. Està distribuït sota la llicència de software MIT.

La seva principal característica i la raó per la qual s'ha escollit aquest llenguatge és que té una compatibilitat en executar diferents tasques a la vegada. El programa també es pot configurar per operacions tant preventives com cooperatives.

2.3 Amazon Web Services (AWS)

Amazon Web Services (AWS) és una empresa filial d'Amazon.com que ofereix plataformes d'informàtica al núvol. Disposa d'una gran quantitat de serveis entre com ara emmagatzematge al núvol, base de dades (*DynamoDB*), màquines virtuals o eines d'anàlisi, entre molts altres.

Aquest servei d'Amazon té diferents competències en el mercat, tanmateix, presenta més coses positives com ara:

- Quantitat de serveis que ofereix i bona interrelació entre ells
- Gran disponibilitat de manera gratuïta. De la majoria de serveis ofereix la versió gratuïta (*Free Tier*) que contempla un ús reduït del servei, però en aquest cas suficient per a poder implementar la solució sense cap restricció.
- Facilitat d'ús i molta documentació aportada.
- Àmpliament utilitzat.

En el cas del nostre treball, s'utilitzaran els serveis *AWS IoT Core* i el *AWS DynamoDB* de Amazon Web Services, a continuació s'expliquen els detalls d'aquestes plataformes de serveis.

2.4 AWS IoT Core

AWS IoT és una plataforma al núvol que permet dispositius connectats com ara automòbils, bombetes, sensors, etc, interactuar de manera senzilla i segura amb aplicacions al núvol o bé amb altres dispositius.

Per a cada un d'aquests dispositius connectats es crea un **objecte (thing)** en la plataforma. A través d'aquest objecte, es poden generar certificats per tal que el dispositiu es comuniqui de manera segura via HTTPS (*HyperText Transfer Protocol Secure*).

AWS IoT fa de Broker MQTT a través del punt d'enllaç (*endpoint*). També disposa d'un panell de monitoratge que permet veure quantes vegades s'ha connectat el dispositiu i els missatges enviats i rebuts, entre altres.

Finalment, AWS IoT permet crear una sèrie de **regles** cada vegada que arriba un missatge MQTT en un determinat tòpic. En aquest cas es crearà una regla per tal que quan arribi el missatge al tòpic corresponent, automàticament es guardin les dades que conté el missatge a una taula creada a la *DynamoDB*.

2.5 AWS DynamoDB

Amazon DynamoDB és un servei de **base de dades** NoSQL que utilitza un model de dades clau-valor. Les bases de dades NoSQL són sistemes de gestió que s'allunyen del model clàssic, l'aspecte més important és que no usen SQL (*Structured Query Language*) com a llenguatge principal de consultes. Els avantatges d'aquest estil de base de dades NoSQL és que són efectives en la consulta i permeten un gran escalat horitzontal.

DynamoDB treballa principalment amb taules, elements i atributs. Els elements o ítems vindrien a ser les files o registres de la taula i els atributs serien els camps o columnes.

S'utilitzen unes claus primàries (*Primary Key*) per a identificar de forma exclusiva cada element d'una taula. Pel que fa a les claus primàries, admet dos tipus de claus:

- Partition Key: es tracta d'una simple clau primària composta per un únic atribut.
- Partition Key i Sort Key: es tracta d'una clau primària composta formada per dos atributs.

A la següent figura es mostra un esquema com a exemple.

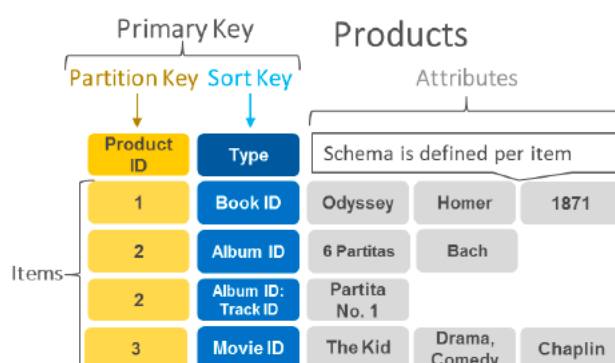


Figura 3: Esquema de la utilització de les claus en el DynamoDB.

Cada ítem basat en el valor de la clau primària (Primary Key), és emmagatzemat en la base de dades que ha de ser única. Tots els ítems amb la mateixa clau de partició són emmagatzemats junts i ordenats a través de la clau d'ordenació (Sort Key), en cas que estigui definida.

En el nostre cas, la clau de partició és la data i hora en la qual s'ha enviat el missatge i no hi ha clau d'ordenació. La resta d'atributs corresponen a mesures realitzades, en el nostre cas el corrent.

Taula 2: Definició de les claus i l'atribut utilitzats.

Primary Key	Timestamp
Sort Key	-
Attributes	Corrent

2.6 Protocol MQTT

MQTT (*Message Queing Telemetry Transport*) és un protocol de missatgeria tipus publicació/subscripció que treballa sobre TCP (*Transmission Control Protocol*). Les parts que intervenen en aquest protocol són: per una banda, els **publishers** (publicadors), que generen missatges a enviar i seguint el flux de les comunicacions trobaríem el **broker** (intermediari), que és l'encarregat de distribuir els missatges als **subscribers** (consumidors).

MQTT destaca per ser lleuger, senzill d'implementar i és apropiat per dispositius de baixa potència. És per això que s'ha emprat per a l'elaboració d'aquest treball. A continuació es mostra un esquema dels elements d'una comunicació MQTT.

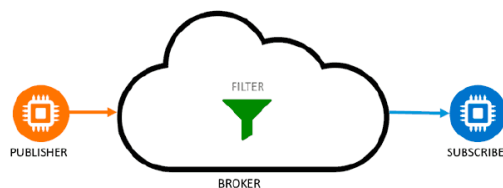


Figura 4: Esquema dels elements d'una comunicació MQTT.
(Font: <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>)

Per tal de classificar la informació s'utilitzen els **tòpics**, a partir dels quals els missatges s'organitzen jeràrquicament. Cada informació publicada del *Publisher* estarà associada a un *tòpic* que emmagatzema en el *broker*. La informació arribarà als *subscribers* que s'hagin subscrit al *tòpic* en particular.

En aquest cas el node IoT actuarà com a publicador en enviar les mesures de corrent i el servei de *broker* en aquest cas és proporcionat pel mateix AWS IoT Core. A continuació es mostra un esquema d'exemple del funcionament d'una publicació d'un missatge MQTT.

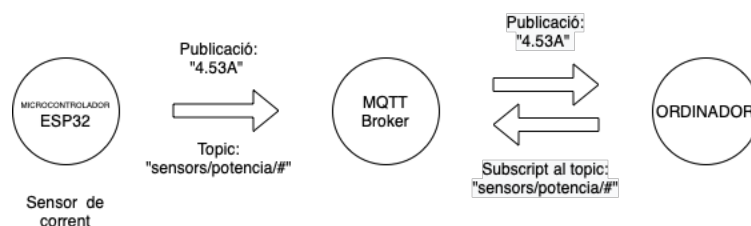


Figura 5: Esquema del funcionament d'una publicació d'un missatge MQTT.

MQTT disposa d'un mecanisme de **qualitat de servei (QoS)** per a gestionar la robustesa dels missatges enfront de possibles fallades. Els nivells QoS són tres:

- **QoS 0 unacknowledget (at most one):** El missatge s'envia a una única vegada. En cas de fallada pot ser que algun missatge no s'entregui.

- **QoS 1 unacknowledged (at least one):** el missatge s'envia fins que es garanteixi l'entrega. En cas de fallada, el subscriptor pot rebre algun missatge duplicat.
- **QoS 2 assured (exactly one):** es garanteix que cada missatge s'entrega al subscriptor i una sola vegada.

En funció de les característiques i necessitats de fiabilitat del sistema s'utilitzarà un nivell o un altre. Un nivell QoS superior requereix una major càrrega del sistema. En aquest cas, com que no seria greu que una determinada dada de corrent no s'enviés en un moment concret, es pot utilitzar el **QoS 0**, el nivell 0.

3 SENSOR DE CORRENT AMB ESP32

3.1 Hardware

El sensor de corrent és un transformador de corrent de relació 30A/1V o bé per situacions amb més potència i corrent de 50A/1V, parlem de valors eficaços. La tensió del transformador de corrent serà llegida pel microcontrolador ESP32-WROOM-32D a través d'una entrada analògica.

S'ha utilitzat un divisor de tensió per elevar l'ona i obtenir valors només positius de voltatge (entrada analògica és de 0-3.3V), ja que una ona sinusoidal té un rang de valors positius i negatius.

També s'utilitza dues resistències de 100 kohms cadascuna i un condensador de 100 nF entre el GND i cada entrada analògica per tal de filtrar els sorolls del senyal.

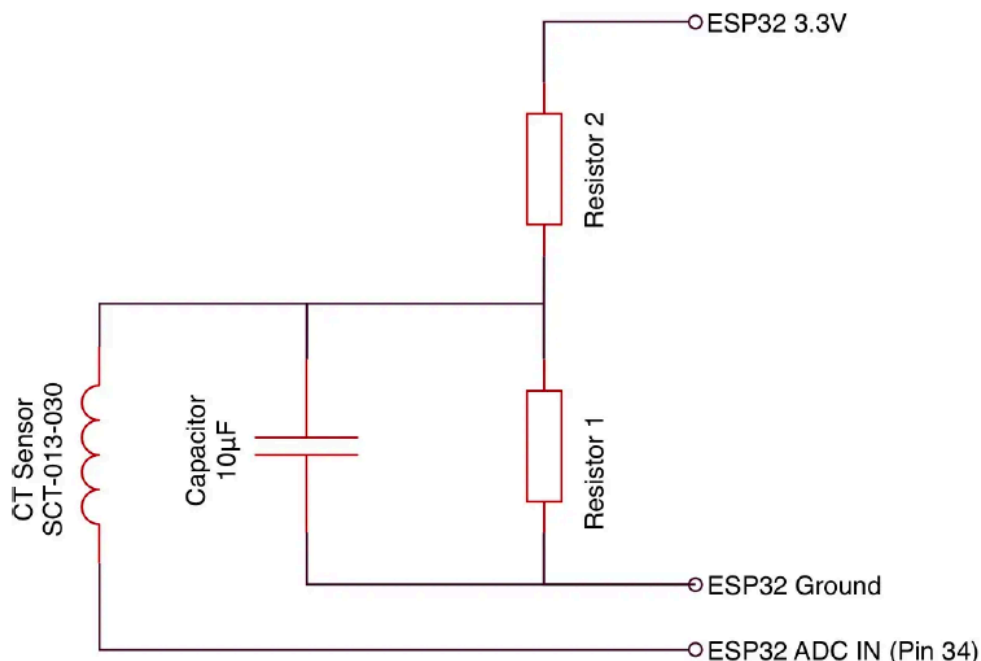


Figura 6: Esquema elèctric del muntatge.

Les connexions entre components s'han fet amb una PCB amb coure d'una sola capa preparada per poder-hi connectar 3 pines si fos necessari. Per tal de connectar la pinça amperimètrica a la PCB (*Printed Circuit Board*) es fan servir uns connectar jack de 3.5 mm. I tot aquest muntatge serà encaixada en una caixa elaborada amb la impressora 3D.

En resum els materials necessaris per fer-ne un són:

- Microcontrolador ESP32-WROOM-32D
- Dues resistències de 100 kohms
- Dos condensadors de 100nF
- PCB amb coure d'una sola capa
- Pinça amperimètrica (transformador de corrent)
- Jack de 3.5 mm
- Un pin mascle-femella

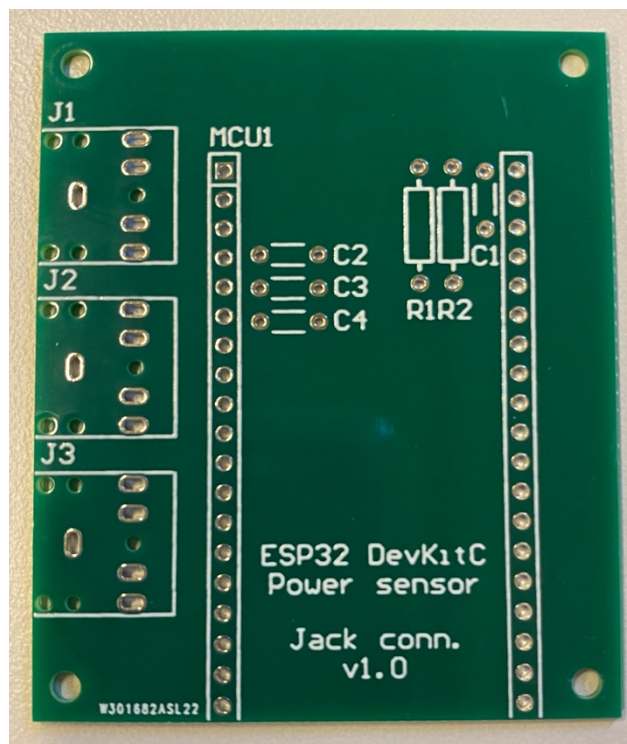


Figura 7: PCB (Printed Circuit Board) amb coure d'una sola capa que s'ha utilitzat.

3.2 Software

El protocol de comunicació entre els sensors i la base de dades que s'utilitza és el MQTT, com s'ha comentat anteriorment. Aquest protocol és utilitzat en varis àmbits de l'anomenat Internet Of Things (IoT).

El missatge enviat pel protocol és en format JSON (*JavaScript Object Notation*) i es rebrà a un tòpic prèviament creat. El format JSON és un format de text senzill per l'intercanvi de dades. És fet servir per estructurar dades en format de text i transmetre'ls d'un sistema a un altre, l'avantatge que té és que és fàcilment analitzable i comprensible.

Des de l'Amazon Web Services, s'ha creat el IoT Core que serveix per configurar les "Things" que serien els nostres sensors i per gestionar els missatges que es reben via MQTT. També és necessari tenir la base de dades DynamoDB on s'emmagatzema la informació que arriba per MQTT operativa. Per relacionar la base de dades amb els sensors es tindrà a punt el IoT Rule, que és la rutina per executar cada cop que arriba un missatge MQTT.

El format del missatge enviat serà de l'estil {"current": 40} i serà rebut a un tòpic en el format `sensors/power/#` on el coixinet serà el codi d'identificador de cada un dels sensors utilitzats en format de 4 dígits en lletres i números, per exemple: `OXYO`.

3.2.1.1 Millora del software

El software és una millora d'un programari creat amb llenguatge Arduino pel departament d'enginyeria elèctrica, electrònica industrial i automàtica de la Universitat de Girona.

Millores aplicades al software:

- Canvi a llenguatge FreeRTOS.
- Actualment permet executar múltiples tasques.
- Facilitat en la definició de les variables i paràmetres.
- Actualització del senyal de wifi cada cert temps.
- Lectura del corrent cada minut, al fer la mitjana de 5 lectures cada 12 segons.
- Correcció de la primera mesura.
- Inclou les llibreries modificades.

Per tal de millorar-lo, es va decidir canviar el llenguatge i utilitzar el FreeRTOS que permet executar múltiples tasques al mateix temps. En executar tasques a la vegada, s'ha pogut crear un codi amb el qual el microcontrolador cada cert temps comprova que el senyal de wifi arriba correctament. Això ens serà útil quan el senyal de wifi que arribi en la zona on estigui situat el sensor de corrent sigui feble i així no perdre la connexió. També s'ha aprofitat la ben entesa per facilitar la definició de variables i paràmetres per tal que sigui fàcilment utilitzable per altra gent no experimentada en el tema. L'anterior programa llegia el corrent cada 5 minuts, actualment la millora llegeix el senyal de corrent 12 segons i quan porta 5 mesures, és a dir 1 minut, en fa la mitjana i arriba la mitjana. Aquest sistema permet tenir més precisió de les lectures. El programa tenia el problema que la primera mesura no es calibrava i enviava mesures errònies que no corresponien amb la realitat, actualment està solucionat i també s'ha evitat que les llibreries es descarreguin cada vegada que s'importa al programa al microcontrolador per tal d'evitar que s'esborrin els canvis que hi han estat efectuats.

3.3 Muntatge del sensor de corrent

En aquest apartat s'explicarà el procés que s'ha seguit per muntar els mesuradors de corrent. Es tracta d'un procés de soldadura amb estany en una placa base. En aquests tipus de muntatge de microcomponents sempre es comença muntant els elements de menys altura. Els passos a seguir han estat els següents:

Fig. A

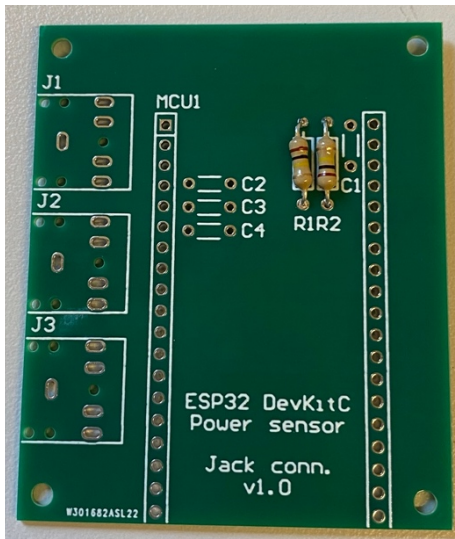


Fig. B

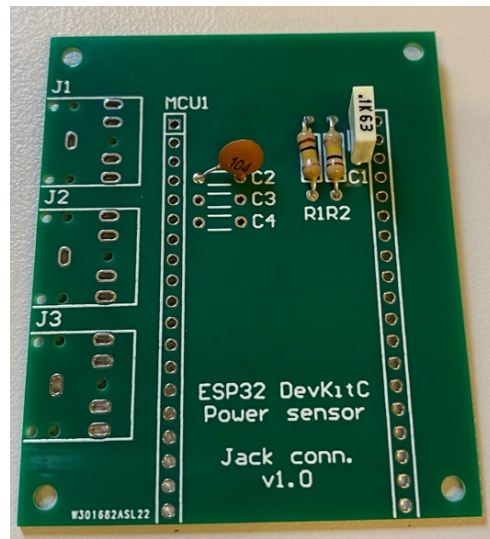


Fig. C

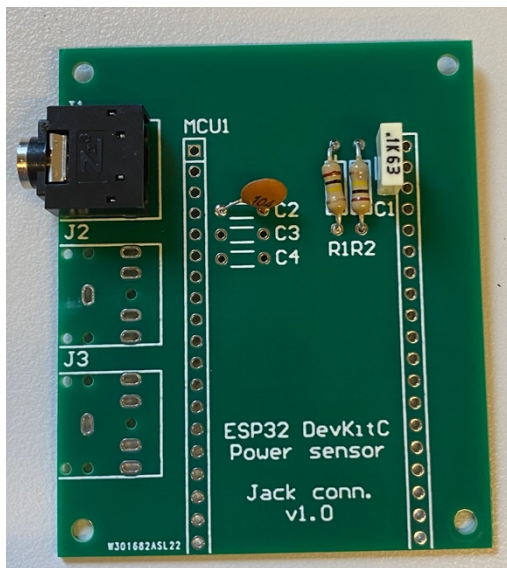


Fig. D

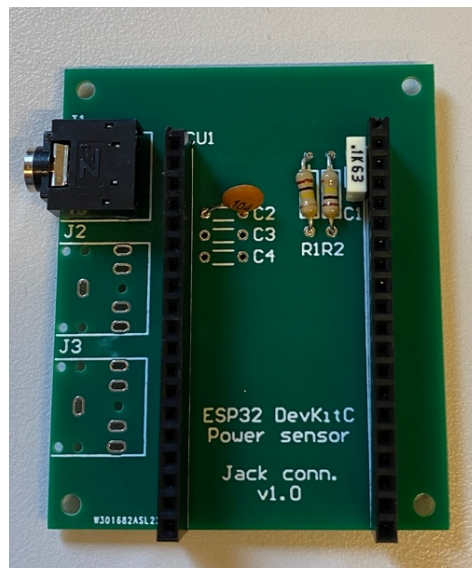


Fig. E

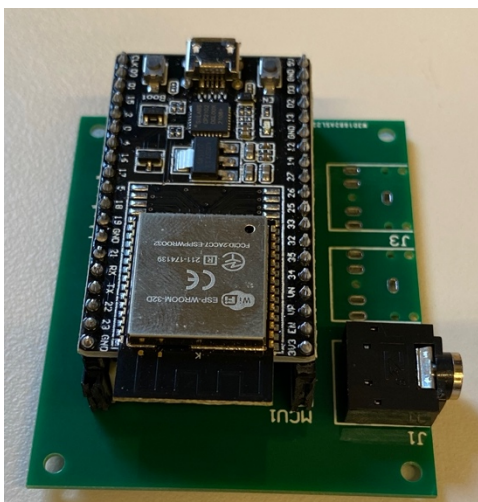


Fig. F



Fig. G

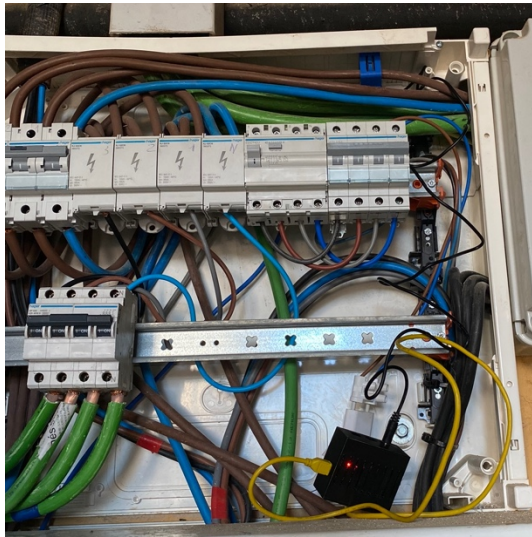


Fig. H



Figura 8: Procediments del muntatge i instal·lació dels mesuradors de corrent..

En la figura A i B s'observa les dues resistències 100 kohms i els dos condensadors de 100 nF muntats respectivament. En la C es veu el Jack de 3,5 mm i en la D ja estan col·locats els pins mascle-femella. En últim lloc, pel que fa al muntatge, en la figura E ja hi ha instal·lat el microcontrolador ESP32-WROOM-32D en els pins. Tot seguit es mostra el treball soldat manualment en la figura F i la instal·lació en els quadres elèctrics en la G i la H.

3.4 Programació del microcontrolador ESP32

El codi es divideix en diferents parts:

- Definició i configuració de les variables (wifi, Topic, nombre de mesures, temps entre mesures...).
- Certificats per la connexió d'Amazon Web Services.
- Codi de les tasques que s'executaran alhora.
- Arxius autogenerats per obtenir el format de missatge JSON.
- Llibreries

De manera simplificada, les tasques del codi es divideixen en 3 parts:

1. Lectura del corrent
2. Connexió al servidor de Amazon Web Services IoT Core (Broker MQTT) i enviament i publicació de la mesura al DynamoDB.
3. Connexió a la xarxa wifi i actualització de la intensitat del senyal de wifi

A continuació (Figura 9) es mostra un esquema simplificat del funcionament de les tasques del codi fet amb FreeRTOS per a la programació dels microcontroladors lectors de corrent.

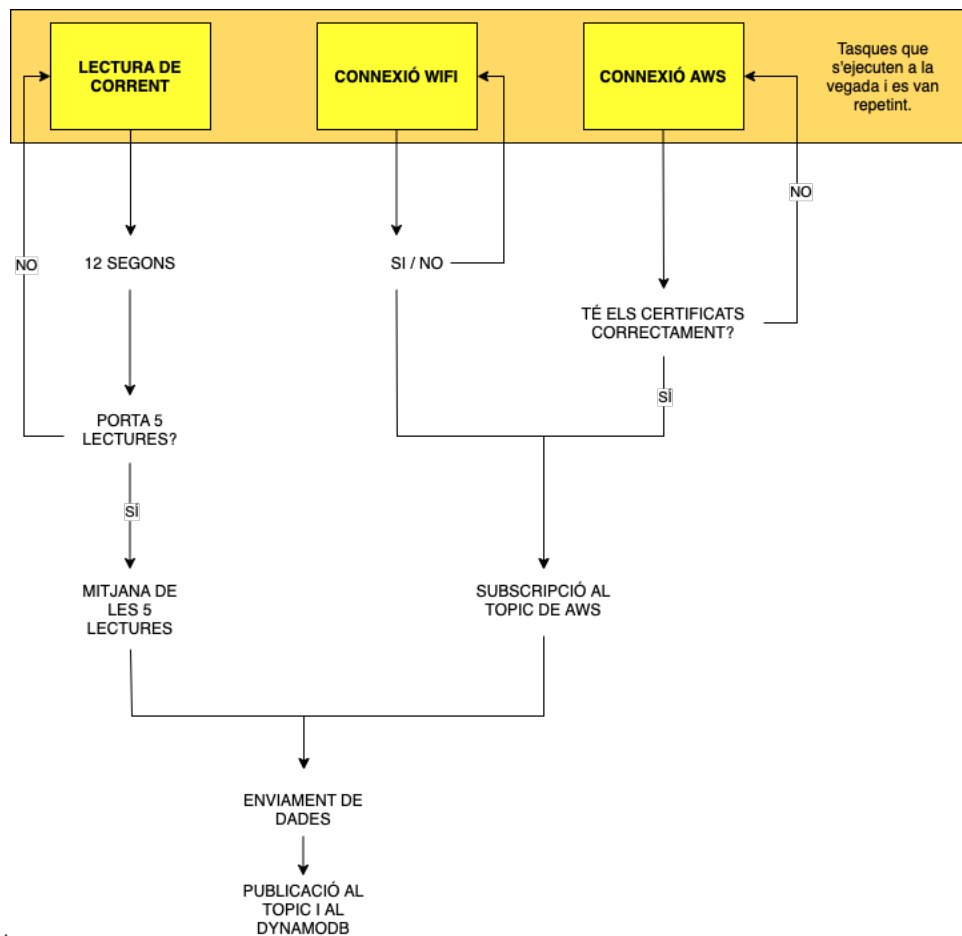


Figura 9: Esquema simplificat de les tasques del codi.

Quantes mesures es podrien arribar a fer?

El servei de Amazon Web Services permet un emmagatzematge de fins a 25 GB. Les mesures extretes inicials ens indiquen cada un, té un pes d'aproximadament d'uns 50 bytes.

Fent la divisió d'emmagatzematge entre el pes d'una lectura extraiem el nombre total de mesures que es pot obtenir.

$$\text{Nombre de lectures} = \frac{25 \cdot 10^9}{50} = 500.000.000 \quad \text{Eq.1}$$

Com que es vol obtenir una lectura cada minut per 8 mesuradors diferents, fent el següent càlcul s'obtindrà la quantitat de dies que es podran mesurar.

$$\text{Nombre de dies que es pot mesurar} = \frac{500.000.000}{24 \cdot 60 \cdot 8} = 43402,77 \text{ dies} \quad \text{Eq.2}$$

És a dir 119 anys.

Aquest càlcul ha estat vital per tal de decidir si es feien mesures cada 5 minuts o bé cada minut, ja que ens demostra que no tenim un límit de mesures.

4 ELEMENTS MESURATS I CONCEPTES

Els mesuradors de corrent han estat instal·lats a llocs estratègics per tal d'obtenir dades d'elements possibles a sectoritzar, controlar o canviar el perfil diari de consum. D'aquesta manera, es mourien els seus consums cap a trams horaris més barats, o cap a trams horaris on el consum general sigui menor o bé cap a franges horàries on hi hagi major generació d'energia solar. Per tal d'entendre la sectorització, primer s'han d'entendre una sèrie de conceptes.

4.1 Conceptes importants

4.1.1.1 Trams horaris

La tarifa contractada actual és la 3.0TD. És la tarifa per tots els punts de subministrament de baixa tensió amb més de 15 kW de potència contractada. Aquesta tarifa té uns períodes (P1, P2, P3, P4, P5, P6) corresponents a un preu de l'energia (kWh) i de potència (kW) diferents. Aquests períodes venen establerts pel següent calendari:

PENÍNSULA													SCM
MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	SABADOS, DOMINGOS Y FESTIVOS
0-1	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
1-2	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
2-3	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
3-4	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
4-5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
5-6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
6-7	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
7-8	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
8-9	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
9-10	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
10-11	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
11-12	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
12-13	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
13-14	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
14-15	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
15-16	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
16-17	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
17-18	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
18-19	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
19-20	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
20-21	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
21-22	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
22-23	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
23-0	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6

Figura 10: Tarifa 3.0TD amb els diferents trams horaris per la península. (Font: es.support. somenergia.coop)

En les tarifes contractades, els preus de cada tram varien al llarg de l'any. A continuació es mostren els preus per potència contractada i per tram del mes d'abril del 2022.

$$P1 = 1,18683000 \text{ €/kW}$$

$$P2 = 0,91455000 \text{ €/kW}$$

$$P3 = 0,42111000 \text{ €/kW}$$

$$P4 = 0,34830000 \text{ €/kW}$$

$$P5 = 0,21021000 \text{ €/kW}$$

$$P6 = 0,14634000 \text{ €/kW}$$

4.1.1.2 Potència contractada

És el límit de kilowatts dels quals disposa un subministrament i determina el nombre d'aparells elèctrics que es poden tenir connectats a la vegada. En aquest cas, la potència contractada és de 87 kW.

4.1.1.3 Pic de potència

És la màxima potència elèctrica que es consumeix al llarg del dia al mateix temps. Cada vegada que una potència o un pic de potència sigui major a la potència contractada, la comercialitzadora ho penalitza amb un recàrrec de diners. Aquest recàrrec també depèn dels trams horaris.

4.1.1.4 Consum d'energia elèctrica

És la despesa total d'energia utilitzada. Les unitats són kilowatts/hora. Els preus del consum d'energia activa del mes d'abril del 2022 van ser:

$$\text{Energia en P1} = 0,3368 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Energia en P2} = 0,4292 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Energia en P3} = 0,3824 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Energia en P4} = 0,2632 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Energia en P5} = 0,2459 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Energia en P6} = 0,2440 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Les hores més econòmiques se solen dir hores vall i les hores més cares hores pic. Més endavant seran utilitzats per calcular les despeses i costos corresponents, pel que fa al consum d'energia.

El cost mitjà de l'energia durant l'any, tenint en compte que els preus de l'abril de 2022 es mantenen constant durant tot l'any és de $0,308 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$.

4.1.1.5 Instal·lació trifàsica

Tots els elements que són mesurats estan col·locats en quadres trifàsics. És a dir, cada quadre compte amb tres fases i tres corrents alternes diferents que divideixen la instal·lació entre tres. La seva tensió normalitzada és de 380 V. És necessari saber que s'està treballant davant d'una instal·lació de tres fases per poder calcular adequadament la potència a través de la intensitat que obtenim.

4.1.1.6 Consum base

El consum base és el consum fixe que té la instal·lació sense estar treballant. Per exemple, una nevera engegada o bé alguna màquina connectada al corrent encara que no estigui funcionant.

4.2 Zones o aparells mesurats

La majoria d'elements mesurats són elements movibles, és a dir, el seu consum és movable a diferents trams horaris que ens interressi. Per exemple, es podria moure el seu consum a la nit on el preu és més barat o bé en hores de generació solar en cas de tenir-ne suficient. També s'ha optat per mesurar elements de consum importants en el total de l'explotació. A continuació s'expliquen els elements que s'han mesurat i perquè s'han escollit.

4.2.1.1 Cuina

Es mesura el consum general de la cuina. La cuina consta de neveres, fregidores, planxes, rentaplats, llums, etc. Són molts els aparells i màquines que configuren dins el quadre general de la cuina i és indispensable que tots funcionin durant unes hores determinades. S'ha trobat interessant saber la despesa energètica que suposa fer anar la totalitat de la cuina, ja que aquesta treballa majoritàriament els migdies i vespres coincidint amb els trams horaris més cars.

Una bona solució per reduir la despesa energètica seria poder fer funcionar la totalitat de la cuina amb generació solar, perquè majoritàriament els dies que es treballa són estiuencs i amb radiació solar elevada, però només seria possible durant servei de migdia.

4.2.1.2 Inversor de les plaques solars

És un dels elements amb més despesa energètica. Pot arribar a gastar fins a uns 30 kW i és per això que és necessari poder estudiar el seu consum. El glicol és un anticongelant que en barrejar-se amb aigua li permet no congelar-se per temperatures menors de 0°C. El funcionament d'aquesta màquina és refredar l'aigua amb glicol per refredar els tancs de fermentació i els circuits de fred de congeladors i neveres. S'engega quan percep que la temperatura és elevada i necessita refredar-se.

4.2.1.3 Refrigeradora

És un dels elements amb més despesa energètica. Pot arribar a gastar fins a uns 30 kW i és per això que és necessari poder estudiar el seu consum. El glicol és un anticongelant que en barrejar-se amb aigua li permet no congelar-se per temperatures menors de 0°C. El funcionament d'aquesta màquina és refredar l'aigua amb glicol per refredar els tancs de fermentació i els circuits de fred de congeladors i neveres. S'engega quan percep que la temperatura és elevada i necessita refredar-se.

4.2.1.4 Congeladors

Al restaurant existeixen diversos congeladors. Se n'han mesurat tres en total, dos junts i un de sol. Són elements amb despesa energètica alta, i els més possibles de modificar el comportament a través d'aplicar-los un control.

Igual que en el sistema de la refrigeradora, al congelador seria possible fer-li abaixar la temperatura durant trams horaris més econòmics per tal que aguanti durant el dia. En canvi, en el cas de les neveres és més complicat, ja que si s'abaixés considerablement la temperatura els aliments es congelarien i es podrien malmetre. També s'hauria de tenir en compte a nivell veterinari fins a quina temperatura permet estar cada aliment.

4.2.1.5 Grup d'aigua

Està compost per una sèrie de bombes i motors que transporten i emmagatzemen l'aigua. S'ha decidit mesurar-lo pel seu consum alt. És complicat sectoritzar-lo o controlar-lo. El grup d'aigua consta de bombes i descalcificadors com a elements amb més consum.

4.2.1.6 Depuradora

Com en altres casos, la depuradora té un consum d'energia alt i es podria sectoritzar o controlar fent-la funcionar en trams horaris més barats o de generació d'energia solar, intentant que no es veies sobrepassada durant les hores que estigués aturada. La depuradora consta d'un airejador de 4 kW més dues bombes de 0,75 kW cadascuna.

5 TRACTAMENT DE DADES

Un cop obtingudes les dades a la base de dades de Amazon Web Services i emmagatzemades al servei DynamoDB és el moment d'analitzar-les. L'anàlisi s'ha dut a terme amb el llenguatge de programació R a través del programa R studio. És un entorn de desenvolupament de programari per a l'obtenció de càlculs i gràfics estadístics

La programació executada amb R constarà de les següents parts: obtenció de les dades, tractament de les dades, filtració de dades o planteig de restriccions i per últim la visualització de les dades a través de l'elaboració de gràfics.

5.1 Codi del tractament de dades

- Obtenció de les dades

A través de la *key id* i de el *secret accés key* es pot accedir a la taula DynamoDB i estirar les dades per tal de construir una taula amb el format següent:

Taula 3: Format de la taula al extreure les dades de DynamoDB amb programació R.

ID	DATA	TIMESTAMP
ffffb848	list(corrent = 4.904553)	1648810459728

- Tractament de les dades

Un cop s'ha obtingut la taula, és modificada per tal que ens mostri el que ens ajudarà a fer els gràfics.

En primer lloc es passa el corrent mesurat a potència, com que tenim una instal·lació que treballa amb trifàsic s'utilitza la fórmula següent:

$$P = 380 \cdot \sqrt{3} \cdot I \quad \text{Eq.3}$$

on la I és la intensitat de corrent mesurada i P la potència que busquem.

I per tal d'obtenir les dades en kilowatts es dividirà entre 1000.

En segon lloc cal convertir el *timestamp*, que és una marca temporal que compte tots segons o bé els mil·lisegons des del 1/01/1970, a data convencional en el format `%Y/%m/%d %H:%m:00`.

S'obté una taula amb el format següent:

Taula 4: Format de la taula un cop tractades les dades.

ID	DATETIME	POWER (Kw)
8f5	2022-04-06 16:48:00	24.9168513

- Filtració de dades

S'executaran una sèrie de filtres a través del codi de programació R per tal d'estudiar diferents gràfics de diferents zones o aparells mesurats.

5.2 Anàlisis dels elements mesurats

5.2.1 Refrigeradora

S'analitza el consum de la refrigeradora des del dia 9 d'abril fins el 9 de maig de 2022.

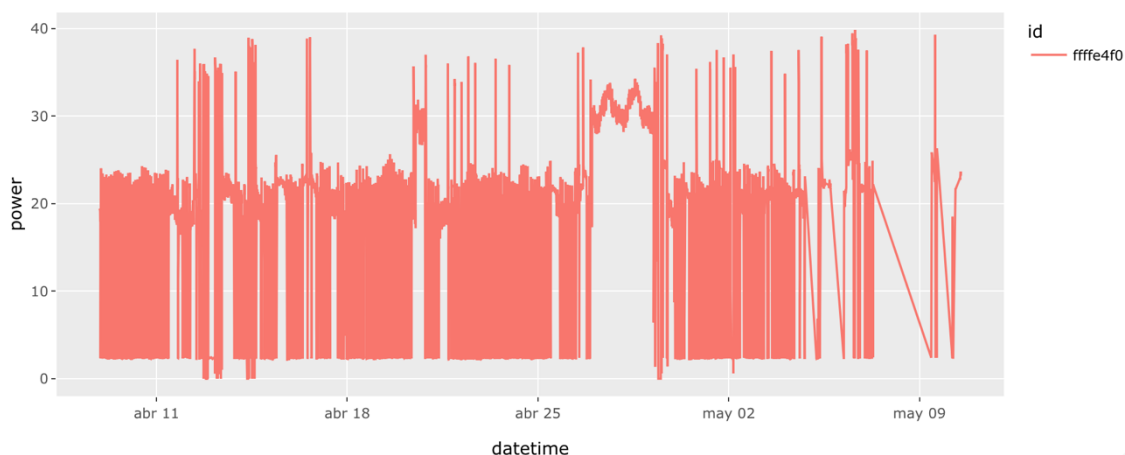


Figura 11: Despesa en potència de la refrigeradora durant 1 mes.

Amb el gràfic anterior s'observa que és una màquina que s'engega i s'apaga molt sovint, quan percep que la temperatura és elevada, s'engega per refredar aigua amb glicol i quan percep que és prou freda, es para. També es veu que es pot quedar engegada durant un parell o tres de dies a causa de la calor exterior que escalfa l'aigua amb glicol.

Si s'analitza un gràfic (Figura 12) més precís de només tres dies, es poden analitzar encara amb més detall aquestes fluctuacions. Fins i tot se'n pot extreure com a conclusió que la màquina es passa més temps funcionant que parada i que no té un perfil diari definit. Es veu sobrepasada, no té prou capacitat per refredar tota la instal·lació.

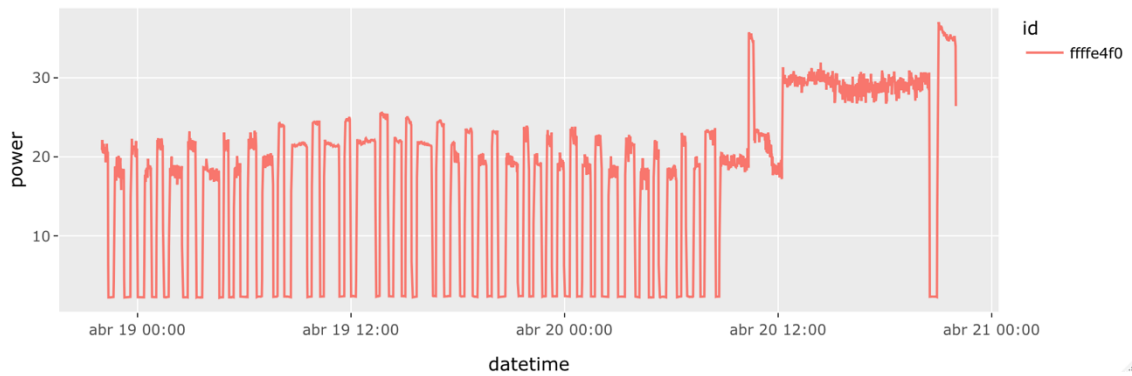


Figura 12: Dades de la potència de la refrigeradora entre el 19 i el 21 d'abril.

Un altre possible punt de vista, és a través de l'energia consumida per la refredadora en *kWh*. Aquest exemple és entre el 18 i el 26 d'abril. És una bona opció, ja que és la manera amb què ens arriba la major part de la factura de la llum, és a dir, la despesa més gran es calcula amb l'energia elèctrica consumida.

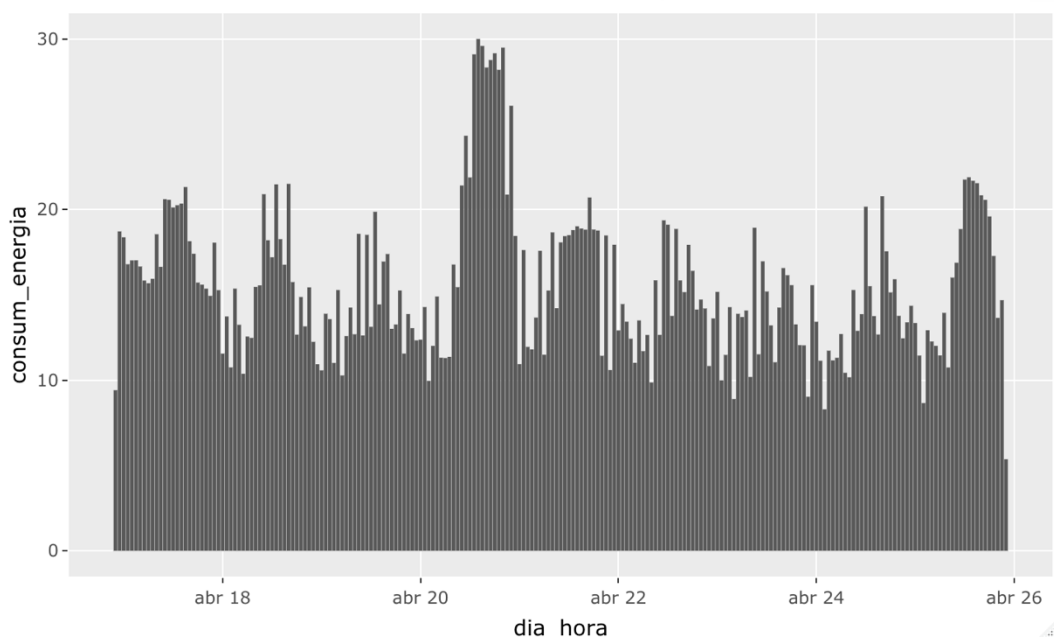


Figura 13: Consum d'energia de la refredadora entre el 18 i el 26 d'abril.

De mitjana consumeix 15,7 kW/h, diàriament consumeix 377 kW/h i mensualment 11500 kW/mes. D'aquesta manera s'observa que el consum per aquesta màquina és molt elevat, i és necessari buscar-hi una solució.

5.2.2 Congeladors

En primer lloc, es mostra el consum de potència d'un congelador al llarg d'un dia, perquè és la millor manera de veure el seu cicle. Aquest cicle consta d'un pic de potència aproximadament cada 6 hores que arriba fins als 4,3 kW i durant les 6 hores es mostra quan el congelador s'engega i s'apaga, és a dir quan el compressor s'engega i s'apaga.

Els congeladors estan programats amb una temperatura consigna màxima de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ on es vol que es talli la congelació i una histèresi de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ que marca la diferència de temperatura perquè el compressor es torni a engegar. És a dir, el congelador anirà variant la temperatura entre $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i el producte emmagatzemat tindrà una temperatura de $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$. El pic de potència és causat pel mode “defrost”, que vol dir descongelar, on el congelador fa anar els ventiladors amb aire calent per a descongelar l'entrada dels evaporadors i no obstruir la zona amb gel. Aquest pic de potència té una durada inferior de 2 minuts, si alhora de fer el codi dels microcontroladors, haguéssim optat per obtenir una dada cada 5 minuts com el programa anterior no modificat del departament d'enginyeria elèctrica, electrònica industrial i automàtica, no s'haguera pogut analitzar aquest detall.

En un gràfic més acurat hora a hora, es pot observar encara amb més detall el funcionament del congelador i del compressor, queda clar el perfil diari que segueix.

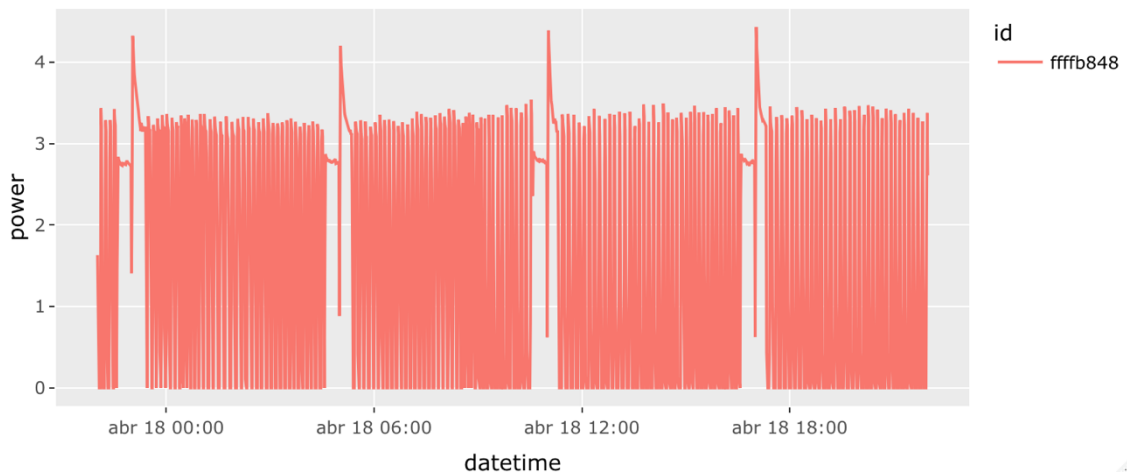


Figura 14: Despesa en potència per un congelador durant 1 dia.

Un cop analitzada la potència consumida en cada moment per un congelador, procedim a fer un estudi de la despesa en energia elèctrica. En primer lloc, es mostra un gràfic amb el consum diari durant un mes en la Figura 15, i en la Figura 16 s'analitza el consum horari durant una setmana i també es pot analitzar que cada 6 hores, és a dir quan els ventiladors amb aire calent per descongelar l'entrada dels evaporadors funcionen, consumeix més energia.

A l'hora de realitzar el perfil diari del congelador com la de la Figura 17, es veu que segueix un cicle de 3 hores, on la primera hora és la de màxima despesa energètica i l'última hora és la que té mínima despesa energètica del cicle. La mitjana diària de la despesa energètica del congelador analitzat és de $27,1\text{ kWh}$, és a dir, cada hora de mitjana consumeix $1,13\text{ kWh}$. Mensualment, pot arribar a consumir més de 815 kWh .

Memòria i annexos - Tractament de dades

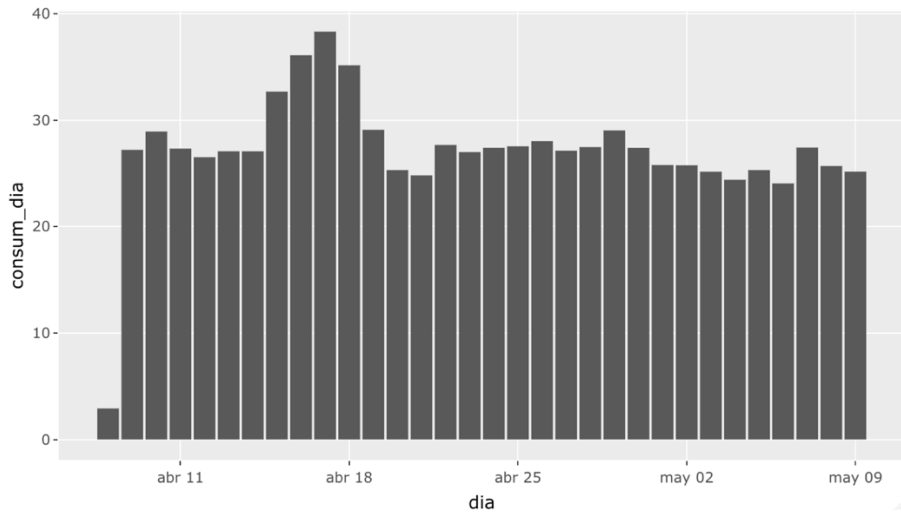
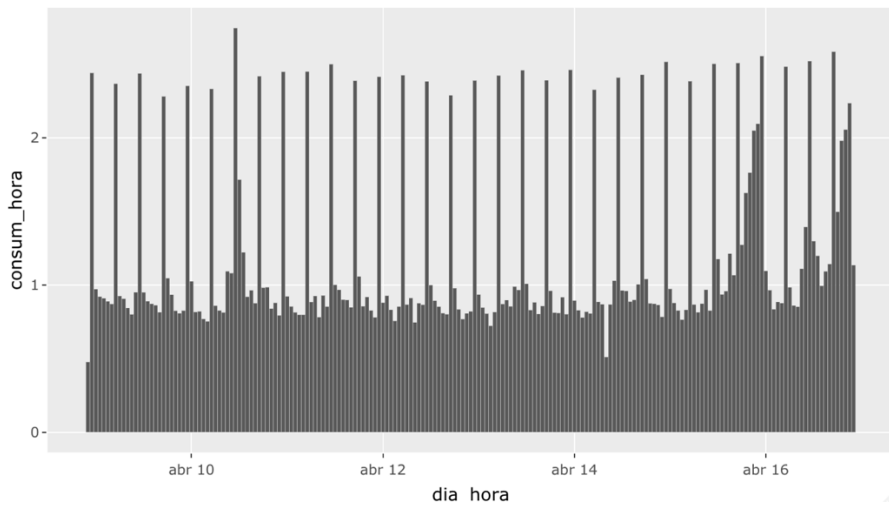


Figura 15: Consum diari del congelador durant un mes.



5.2.3 Depuradora

S'analitza el consum de la depuradora amb la Figura 18 des del dia 8 de maig fins al 16 de maig, durant una setmana.

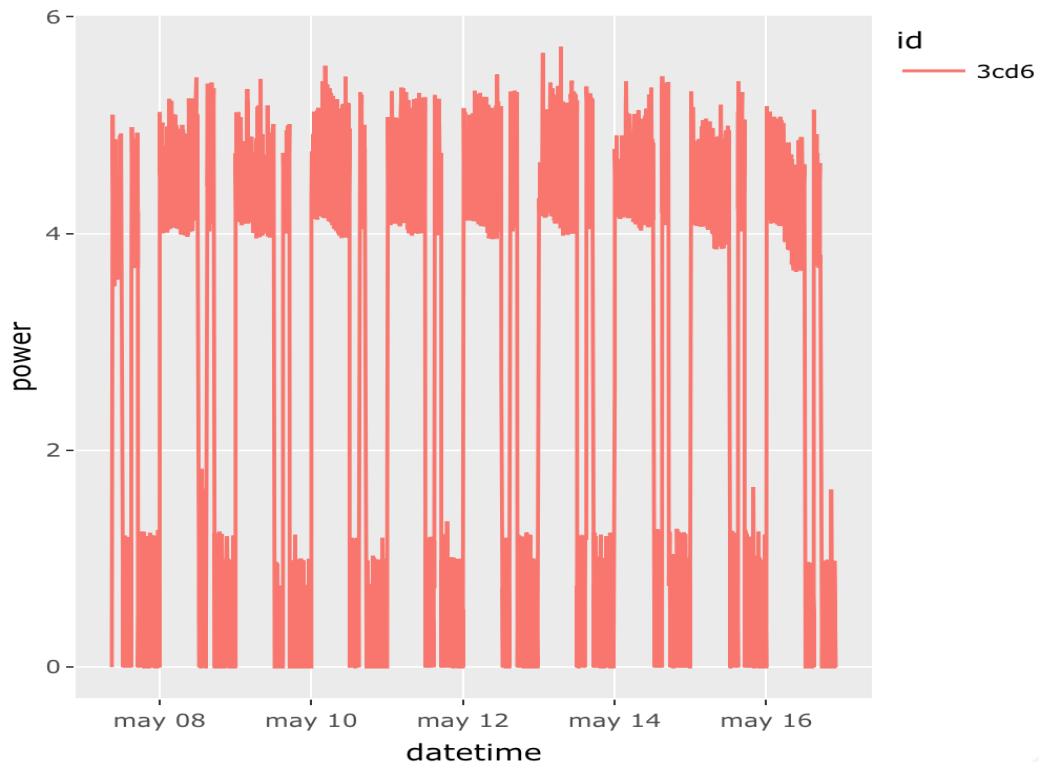


Figura 18: Consum de la depuradora durant 1 setmana.

S'observa un consum molt regular tots els set dies de la setmana, sense cap potència màxima que sobrepassi molt les altres, totes les màximes estan entre l'interval de 4,75 i 5,75 kW. Per altra banda, quan està parada, té un consum base d'1 kW. Els 4 kW són de l'airejador de quan està en funcionament i el consum base és causat per les dues bombes.

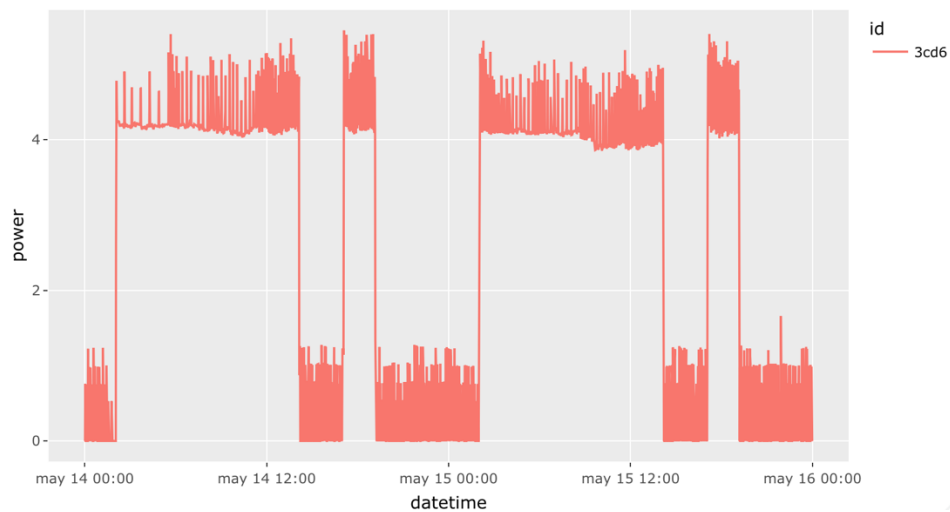


Figura 19: Consum de la depuradora durant 2 dies.

Amb un gràfic més precís en instant de temps, com es representa a la Figura 19 es pot veure com la depuradora s'engega i s'apaga sempre en les mateixes hores, més concretament l'airejador. S'extreu que és un consum ja sectoritzat en dos trams, i el seu perfil diari funciona entre les 02 h de la nit fins a les 14 h del migdia i de 17 h a 19 h de la tarda, i està parada entre les 14 h i les 17 h i entre les 19 h i les 02 h.

Pel que fa a l'energia consumida per la depuradora, s'analitza que segueix el mateix patró de funcionament i horaris. Durant les hores en què està en marxa arriba a 4,2 kWh amb pics de fins a 4,6 kWh i quan està parada té un consum d'energia base de mínim de 0,1 kWh, s'observa molt bé a la Figura 21.

Consta d'un consum de mitjana de 2,45 kWh, consum diari de la depuradora és de 58,7 kWh al dia i el consum mensual és de 5871,53 kWh al mes.

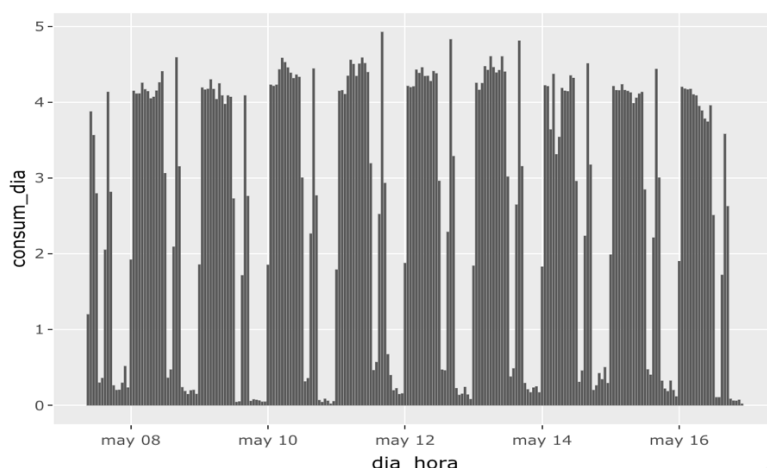


Figura 20: Gràfic de barres de l'energia consumida per la depuradora amb el temps.

Com que té un comportament cíclic i repetitiu, fent la mitjana del consum de cada hora de cada dia de la depuradora, obtenim el seu perfil diari de consum energètic, i se'ns mostra els horaris de treball comentats anteriorment. Va bé que funcioni majoritàriament de nit quan les hores del dia són més econòmiques, però, tot i això, es podria acabar d'ajustar.

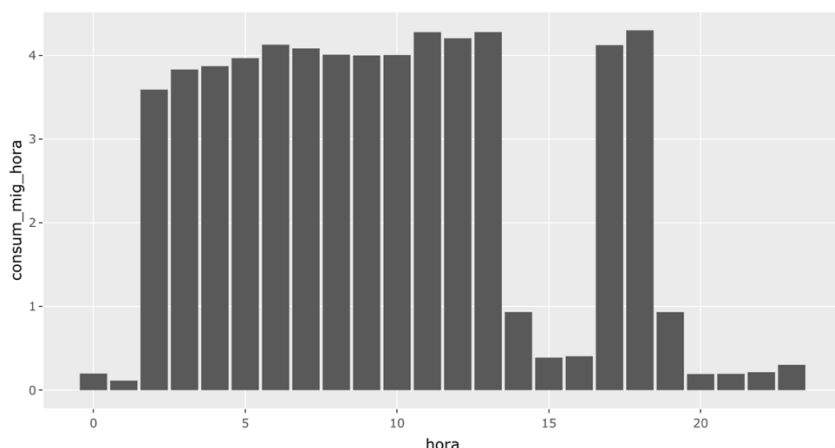


Figura 21: Perfil diari de la depuradora.

5.2.4 Grup d'aigua

El grup d'aigua s'analitza amb la Figura 22, que comprèn les dades de potències durant 1 mes. S'observa que no existeix cap perfil diari o setmanal de funcionament, no segueix cap patró analitzable. Al constar de diferents bombes i diverses màquines que funcionen quan és necessari, no ajuda que sigui fàcilment analitzable. De totes maneres, el grup d'aigua no és un element possible de traslladar el seu consum en trams horaris més beneficiosos, però és bo saber-ne la potència a la qual treballa aproximadament.

S'observa que al 3 de maig hi ha un pic important de potència que arriba fins a més de 15 kW, però normalment treballa al voltant de 6 kW. Cal afegir que consta d'un consum base, que no desapareix mai, d'1 kW.

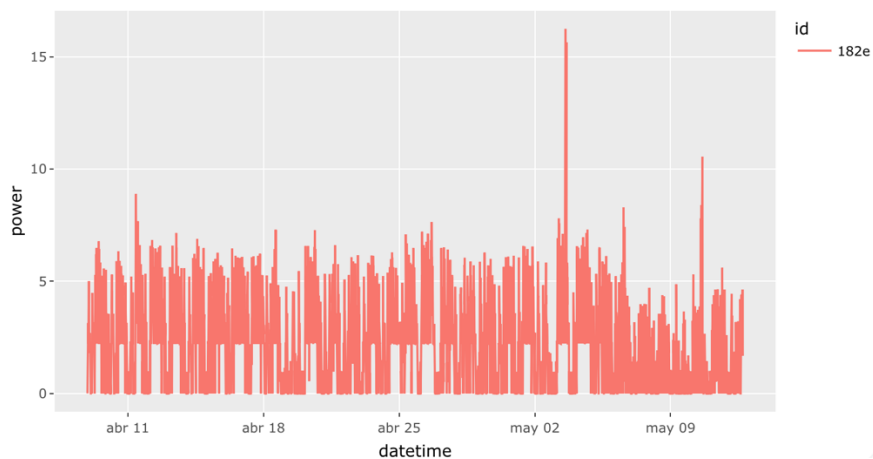


Figura 22: Anàlisi de la despesa de potència del grup d'aigua durant 1 mes.

Per contrapartida, en el gràfic de barres d'energia enfront del temps de la Figura 23, ens constata que no segueix un patró fixe de consum, el qual faciliti l'anàlisi o ens ajudi a construir-ne un perfil diari de consum. Arriba a un màxim de 8 kWh i té un consum de mitjana de 2 kWh. El consum diari és de 49,59 kWh al dia i el mensual de 1488 kWh al mes.

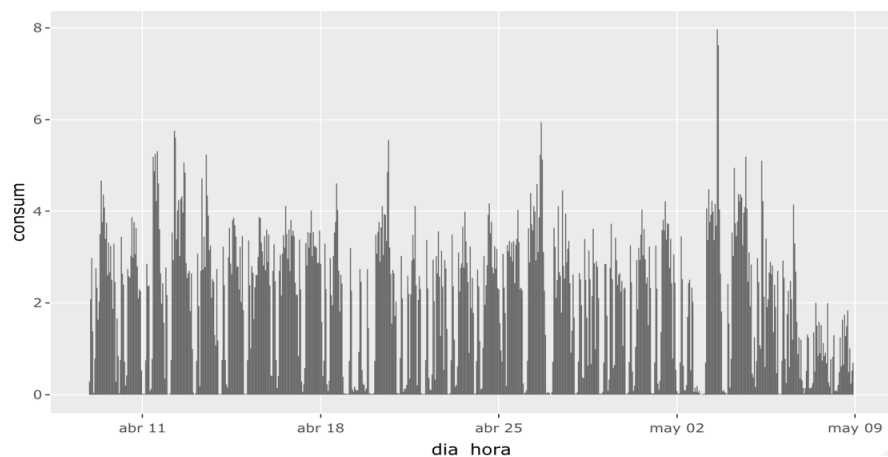


Figura 23: Consum energètic del grup d'aigua durant un mes.

5.2.5 Cuina

La cuina té un gran consum de potència. A la Figura 24, mostra que pot arribar els 40 kW en un mateix instant de temps. S'observa que apareix un consum setmanal que es repeteix, el dilluns i el dimarts que el restaurant és tancat el consum no supera els 20 kW. En canvi, quan el restaurant està obert, la resta de setmana, es mostren unes potències més elevades en funció dels horaris.

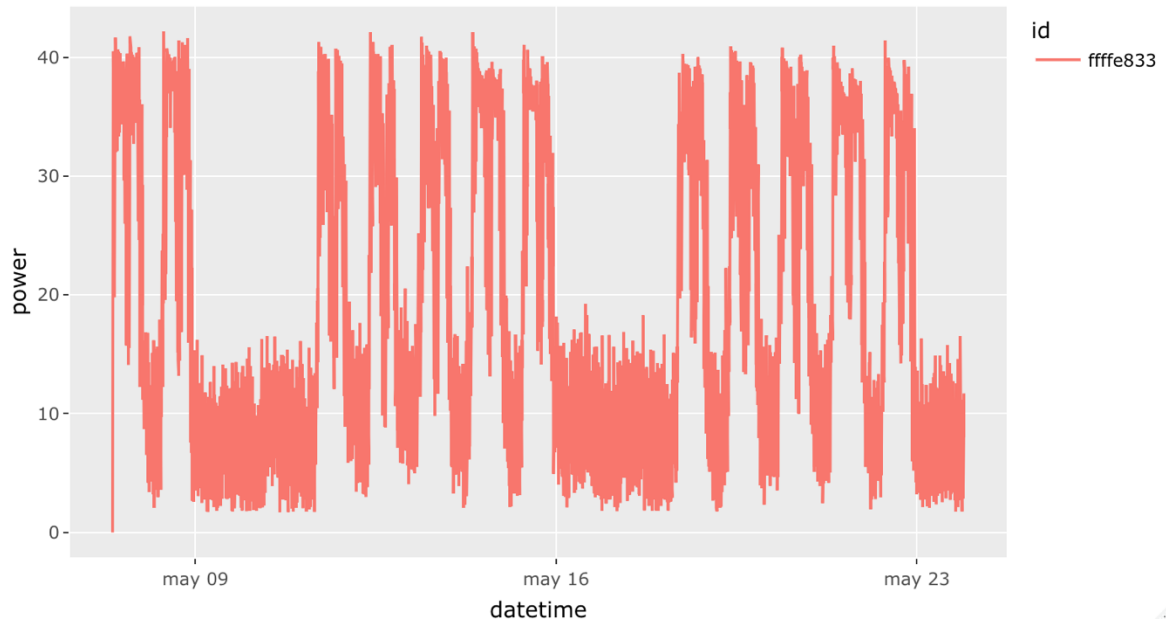


Figura 24: Potència de la cuina.

Si es filtren les dades només en els cinc dies laborables o diàriament, es poden analitzar els horaris dels perfils de despesa en potència. En la Figura 25 s'observa com la potència passa d'estar al voltant dels 15 kW durant la nit fins als 40 kW a les 12 h del matí, quan la cuina es posa en marxa. Tot seguit, segueix al voltant de potències altes fins a mitja tarda que la cuina està tancada i baixa un altre cop fins a 15 kW. Pel servei de restauració de la nit, la cuina torna a seguir el mateix patró però amb menys temps de funcionament.

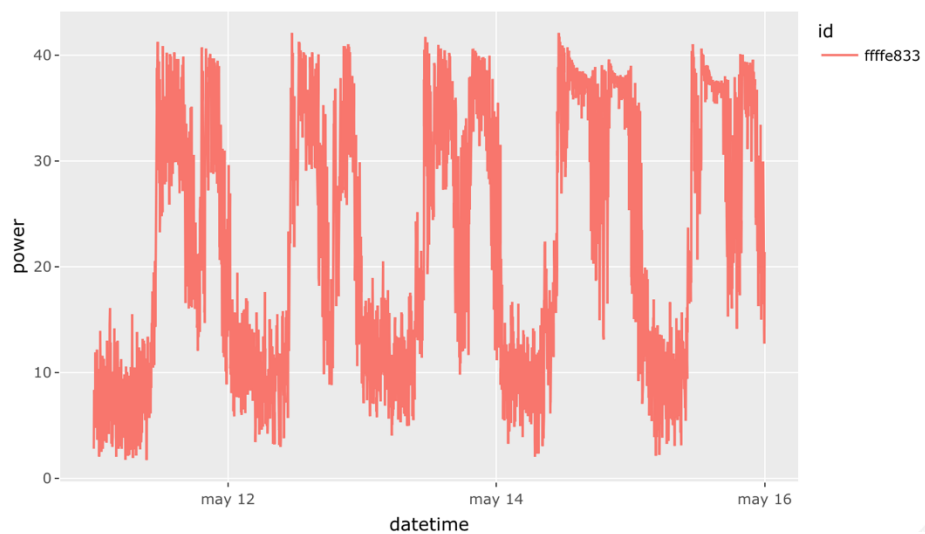


Figura 25: Perfil de la cuina de dies laborables.

El consum d'energia de la cuina és molt alt, tal com ens confirma la Figura 26. També s'hi pot observar els perfils setmanals. Pot arribar quasi fins a gairebé 40 kWh i té un consum base que no desapareix mai d'aproximadament 7 kWh.

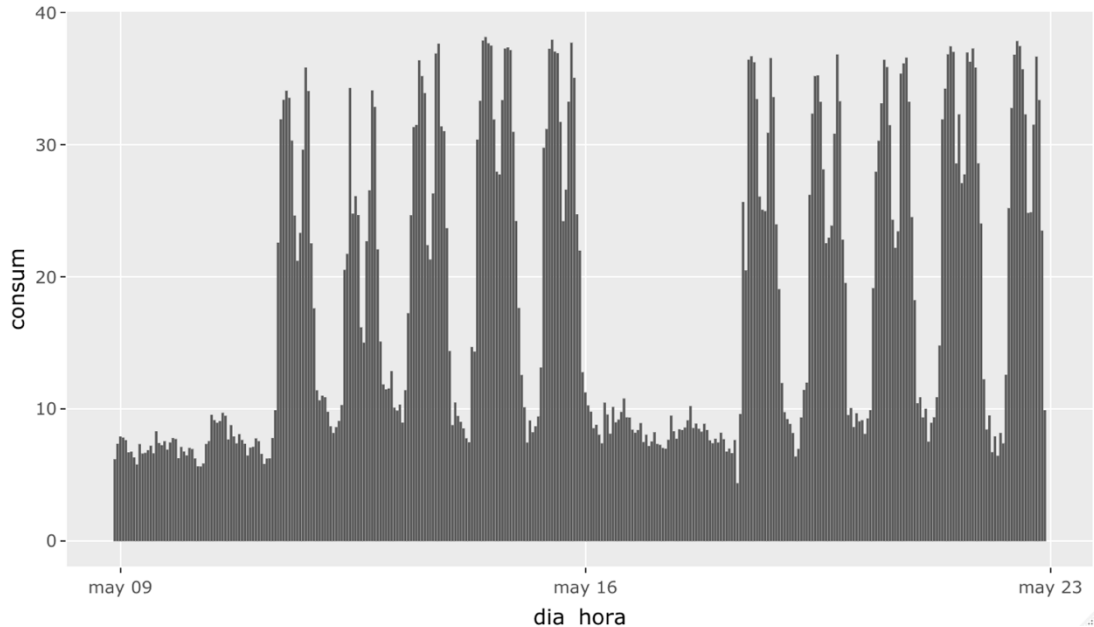


Figura 26: Consum de la cuina entre el 9 i el 23 de maig.

La cuina té un consum diari de 434 kWh, mentre que mensualment se superen els 13000 kWh. De mitjana cada hora consumeix 18 kWh.

A continuació se'ns mostra a la Figura 27 el perfil diari d'un dia laborable a la cuina. S'observa ben diferenciats els dos torns de treball entre les 12 h i les 16 h i entre les 19 h i les 00 h. També es veu el consum base d'aproximadament 7 kWh encara que la cuina no estigui en funcionament durant els dies laborables. Aquest estudi també s'ha fet durant els dies no laborables a través de la Figura 28 i ens mostra que hi ha un consum fixe de 4 kWh de mitjana en dies que no s'està treballant.

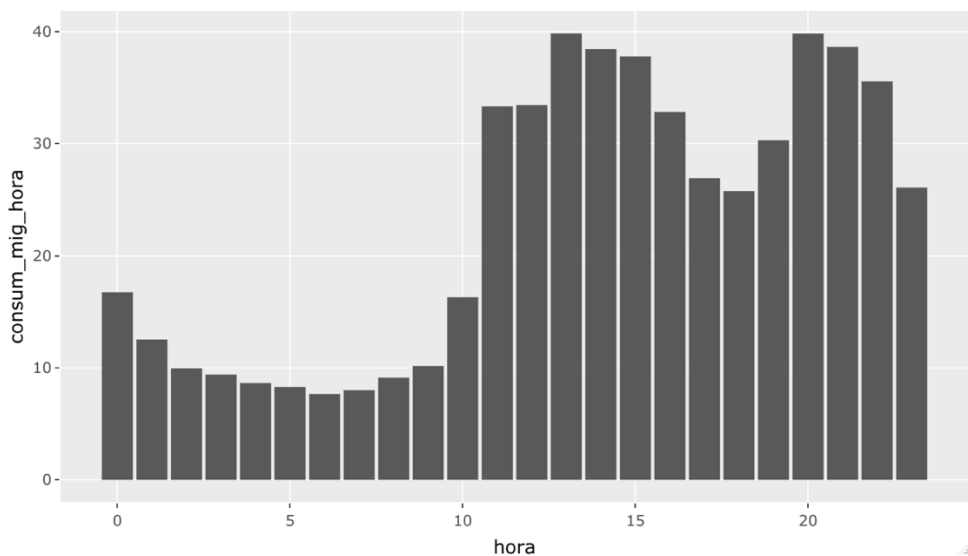


Figura 27: Perfil diari de consum energètic de la cuina en dies laborables..

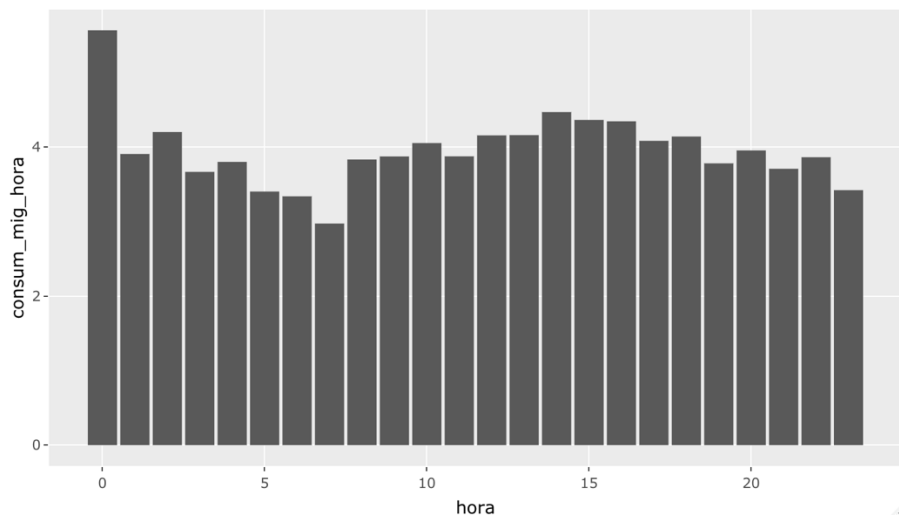


Figura 28: Perfil diari de consum de de la cuina en dies no laborables, és a dir dilluns i dimarts.

5.2.6 Inversor

La sortida de l'inversor mesurada amb els microcontroladors mostra el següent gràfic entre el 9 i el 21 d'abril. Es mostra com hi ha dies assolellats com el 16 i el 17 d'abril que marca una corba perfecte o dies sense sol com el 13 abril on la generació solar és mínima. També s'hi observen dies amb sol i núvol on la generació puja i baixa i no marca una bona corba. El perfil diari s'observa excel·lentment en les dues figures (Figura 29 i Figura 30). Encara que es tinguin 56,84 kilowatts màxims de potència, en aquest mes el màxim obtingut és d'aproximadament 42 kW o en termes d'energia 42 kWh, és a dir un rendiment d'aproximadament el 74%.

És possible elaborar un gràfic del perfil diari mitjà de generació solar del mes d'abril, la Figura 31 ens ho mostra. El pic de generació d'energia mitjana en el mes capturat, és de 30 kWh.

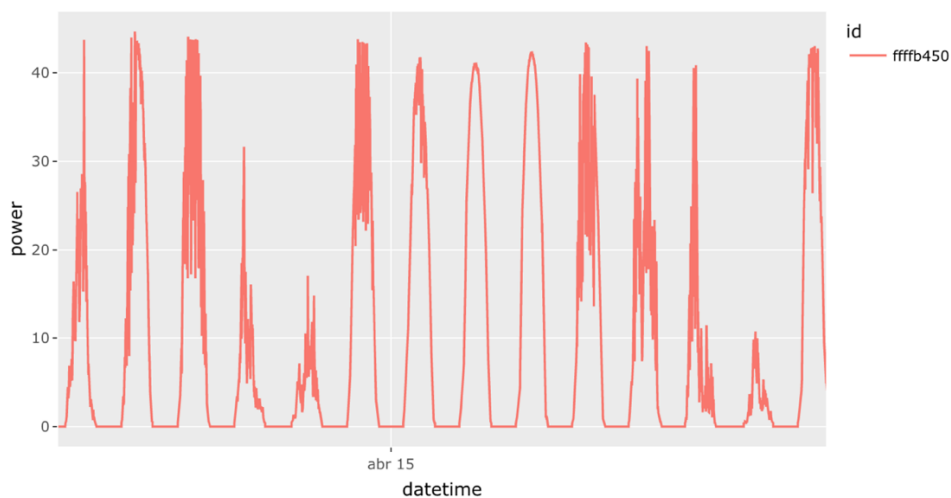


Figura 29: Generació solar amb potència entre el 9 i el 21 d'abril.

Anàlisi i optimització del consum energètic d'una explotació agroturística

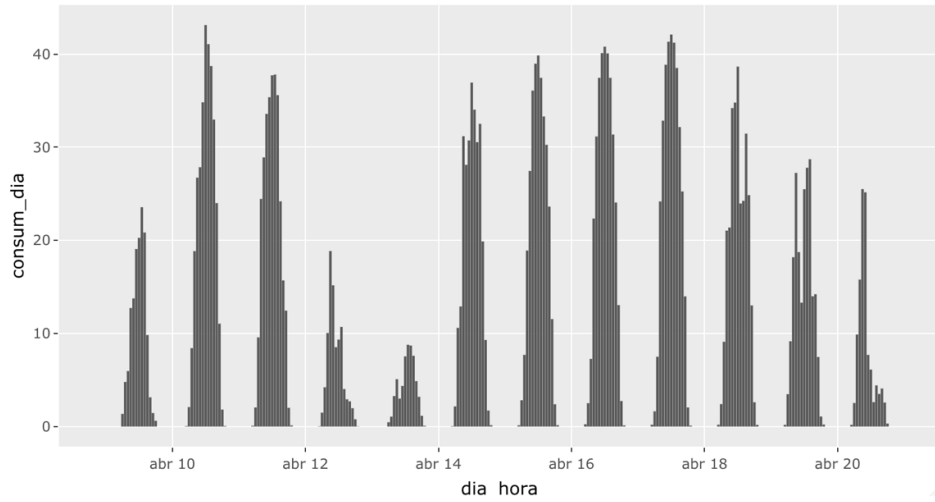


Figura 30: Energia generada gràcies a les plaques fotovoltaïques.

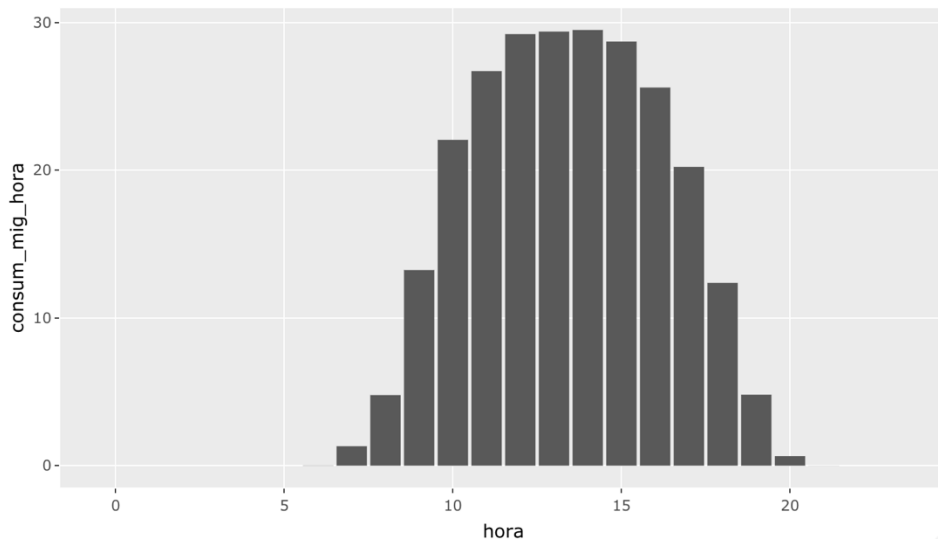


Figura 31: Perfil diari mitjà de l' inversor al mes d'abril.

6 ANÀLISI DE PROPOSTES DE MILLORA

En aquest apartat s'estudien les diferents possibilitats de línies d'actuació per les que s'ha cregut que poden ser més factibles d'implementar i a la vegada portar bons resultats. Es començarà per una anàlisi d'una ampliació de la instal·lació fotovoltaica, es continuarà per una possible implementació de bateries en el sistema i s'acabarà amb una anàlisi d'actuació sobre els consums de refrigeració i amb una prova de control sobre els congeladors. També s'hi exposen certes propostes de futur.

6.1 Instal·lar més plaques fotovoltaïques

Una possible línia d'actuació que s'estudia és l'ampliació de la instal·lació de plaques fotovoltaïques per tal d'obtenir més energia a través de l'energia solar.

L'anàlisi d'aquesta possible actuació consistirà en l'estudi de la instal·lació actual a través de les dades de la generació solar obtingudes des que es van instal·lar les plaques solars el setembre de 2021 fins a abril de 2022. Seguidament, se simularà un increment en la instal·lació de plaques fotovoltaïques de diferents valors de kilowatts pic. Aquestes dades inicials seran descarregades des de l'aplicació *FusionSolar*.

Actualment, es compten amb 56,84 kilowatts de pic, és a dir la instal·lació com a màxim podria arribar a produir aquesta xifra en el mateix moment. És una dada no significativa perquè un cop aplicat el rendiment mai s'arribaran a valors tan alts.

Pel que fa a la simulació, es faran 14 simulacions que aniran des del 25% fins al 600% d'ampliació en plaques fotovoltaïques (Taula 5), ja que el marge de millora i d'ampliació és elevat.

Per dur a terme l'anàlisi també es necessitarà saber el consum d'energia entre el setembre de 2021 i l'abril de 2022, que s'extraurà a través de la pàgina web de la comercialitzadora, i el preu d'aquesta energia consumida basada en els diferents trams horaris de la nostra tarifa. Es partirà dels preus de l'abril de 2022, expressats anteriorment en la pàgina 20.

Anàlisi i optimització del consum energètic d'una explotació agroturística

Taula 5: Taula d'ampliació de kWpic amb el seu corresponent percentatge sobre la instal·lació.

KWpic	Percentatge d'ampliació
56,84 (Actual)	0%
70	25%
85	50%
100	75%
115	100%
130	125%
142	150%
155	175%
170	200%
185	225%
200	250%
250	340%
300	425%
350	515%
400	600%

Un altre factor que es podria tenir en compte i no es pot, és l'excedent d'energia, és a dir, l'energia produïda a través de la generació que en aquell moment no es pot consumir o bé acumular, ja que no es disposen de bateries. Aquest excedent es podria injectar a la xarxa i se'ns seria retribuït amb un preu, normalment inferior al preu de compra, però que ens ajudaria a fer més rendible la inversió. Actualment, la tarifa no contempla la injecció d'excedent a la xarxa. És a dir la injecció a la xarxa, és 0. Tot i aquesta mancança, s'ha incorporat l'opció de la injecció a la xarxa i el preu d'excedent (en aquest cas de 0 €) al codi del programa de R Studio per si en un futur es pogués injectar energia a la xarxa.

S'elaborarà una taula per cada simulació. Un exemple de fila de la taula definitiva amb totes les seves columnes, seria la següent:

Taula 6: Taula global d'exemple de consum, preus, generació i cost.

Datetime	Consum (kWh)	Preu Energia (€/kWh)	Preu Excedent (€/kWh)	Energia fotovoltaica (kWh)	Consum Xarxa (kWh)	Injecció Xarxa (kWh)	Cost (€/h)
24/4/22 10:00	22	0.14634	0	17.479	4.521	0	0.06616

En la columna del *datetime*, hi ha tots els dies i les hores entre la franja estudiada. En el consum hi apareixen els kilowatts/hora consumits en aquella franja horària. El preu de l'energia correspon al tram horari en qüestió i el preu excedent serà sempre de 0 € perquè no es pot injectar a la xarxa. L'energia fotovoltaica serà l'energia produïda que tenim en aquella franja horària en kilowatts/hora. El consum xarxa serà la resta entre preu consum i energia fotovoltaica en el cas que valgui més que 0, si no serà 0. I per últim, el cost serà la multiplicació del consum pel preu d'energia. Aquest càlcul serà produït per cada hora de tots els dies presents a la taula, tant el consum de la xarxa, l'energia fotovoltaica generada, el preu excedent o el benefici seran representats horàriament en la Taula 6.

Explicació de la formulació de la taula:

Cas 1: $Consum > EnergiaFotovoltaica$

$$ConsumXarxa = Consum - EnergiaFotovoltaica \quad Eq.4$$

$$InjeccióXarxa = 0 \quad Eq.5$$

$$Cost = ConsumXarxa \cdot PreuEnergia \quad Eq.6$$

Cas 2: $EnergiaFotovoltaica > Consum$

$$InjeccioXarxa = EnergiaFotovoltaica - Consum \quad Eq.7$$

$$ConsumXarxa = 0 \quad Eq.8$$

$$Benefici = InjeccioXarxa \cdot PreuExcedent \quad Eq.9$$

Com que no hi ha la possibilitat d'injecció a la xarxa, aquesta injecció i benefici serà zero en tots els casos.

En primer lloc, cal observar, com treballa la generació enfront del consum i com això queda reflectit a la possible injecció que hi hauria a la xarxa o bé el consum de la xarxa directament. En la Figura 32, es veu com les fórmules anteriors són aplicades a la realitat, ja que quan el consum és més gran que la fotovoltaica aquest acabava de refer-se amb la xarxa elèctrica i quan l'energia solar és més elevada que el consum, aquesta s'injecta tota a la xarxa. També s'observa que quan no hi ha energia solar, tota l'energia ve directament de xarxa.

Anàlisi i optimització del consum energètic d'una explotació agroturística

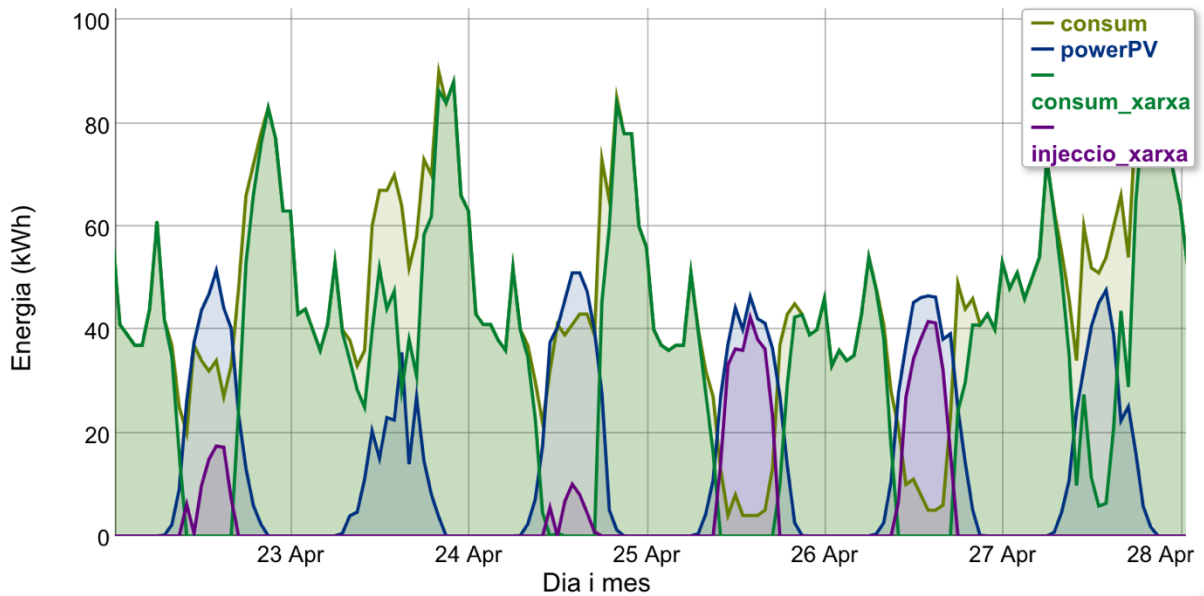


Figura 32: Gràfic de consum, generació fotovoltaica, consum de la xarxa i possible injecció a la xarxa.

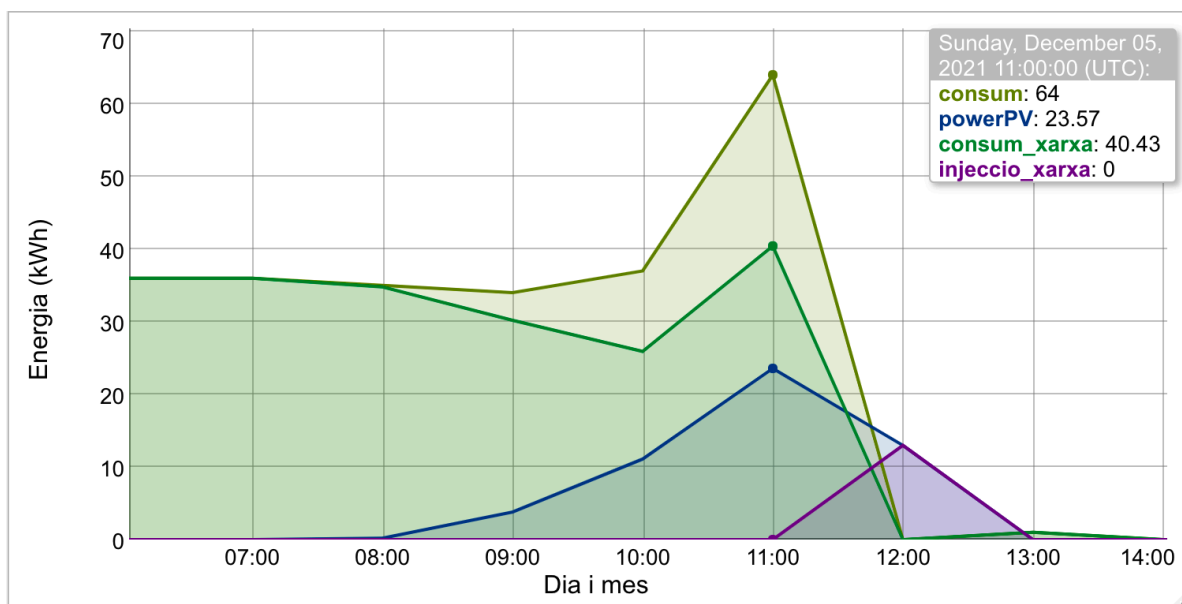


Figura 33: Exemple de demostració de les fórmules de la taula.

En la Figura 33 es demostren els càlculs del cas 1, el consum és més elevat que l'energia solar, per tant:

$$\text{ConsumXarxa} = 64 - 23,57 = 40,43 \text{ kWh}$$

- Instal·lació òptima

La instal·lació òptima, seria l'ampliació que s'hauria de dur a terme a la instal·lació fotovoltaica per tal de tenir el màxim rendiment a les plaques solars. Aquest punt òptim serà calculat a partir del valor de l'estalvi anual a causa de la generació solar. L'estalvi es calcula per cada hora present a la Taula 6 i després se suma tot.

Les fórmules de l'estalvi són les següents:

Cas 1: $Consum > EnergiaFotovoltaica$

$$Estalvi(Cas 1) = EnergiaFotovoltaica \cdot PreuEnergia \quad Eq.10$$

Cas 2: $EnergiaFotovoltaica > Consum$

$$Estalvi(Cas2) = Consum \cdot PreuEnergia + (EnergiaFotovoltaica - Consum) \cdot PreuExcedent \quad Eq.11$$

El segon terme de la fórmula del cas sempre serà 0 pel fet que de moment no és possible injectar energia a la xarxa, és a dir el preu de l'excedent serà zero.

I l'estalvi anual serà el sumatori dels estalvis de cada hora de cada dia:

$$Estalvi \text{ anual} = \sum_{i=hora} (Estalvi (Cas 1) + Estalvi (Cas 2)) \quad Eq.12$$

Es treballa amb dades de 8 mesos, és a dir, l'estalvi és a 8 mesos i s'haurà de multiplicar per 1,5 per obtenir l'estalvi anual. L'increment que se li aplica en multiplicar-lo per 1,5 podria ser major, ja que els mesos que falten per mesurar són maig, juny, juliol i agost que són mesos on la producció d'energia solar és molt més alta. Tot i això, no s'ha volgut arriscar amb dades incertes.

L'estalvi anual en energia enfront dels kilowatts pic que tingui la instal·lació, segueix una llei logarítmica tal com s'observa a Figura 34. El gràfic demostra que com més gran és la instal·lació, més diners s'estalvien durant els kilowatts d'establiment (temps d'establiment). Un cop arriba a l'estat estacionari, els kilowatts pic ja no impliquen més estalvi, s'arriba a un punt de no retorn. El valor òptim de la gràfica seria un punt que no comportés una gran inversió en plaques solars i a la vegada obtinguéssim un estalvi elevat, com per exemple seria entre els 125 i 175 kWpic.

També és possible analitzar-ho amb la despesa anual en consum de la xarxa enfront dels kilowatts pic de la instal·lació. La Figura 35 mostra com també s'acaba estabilitzant per valors de kilowatts alts. Per instal·lacions de kilowatts pic altes tendint a valors grans es tindria la mateixa despesa amb energia anual. Com a resum de les dues gràfiques, es pot afirmar que l'estalvi màxim que es pot obtenir partint de què ara hi ha instal·lats 56,84 kWpic, és d'aproximadament uns 20.000 € anuals, ja que és la diferència entre la imatge de 56,84 i el valor on la corba s'estableix a l'infinit.

Anàlisi i optimització del consum energètic d'una explotació agroturística

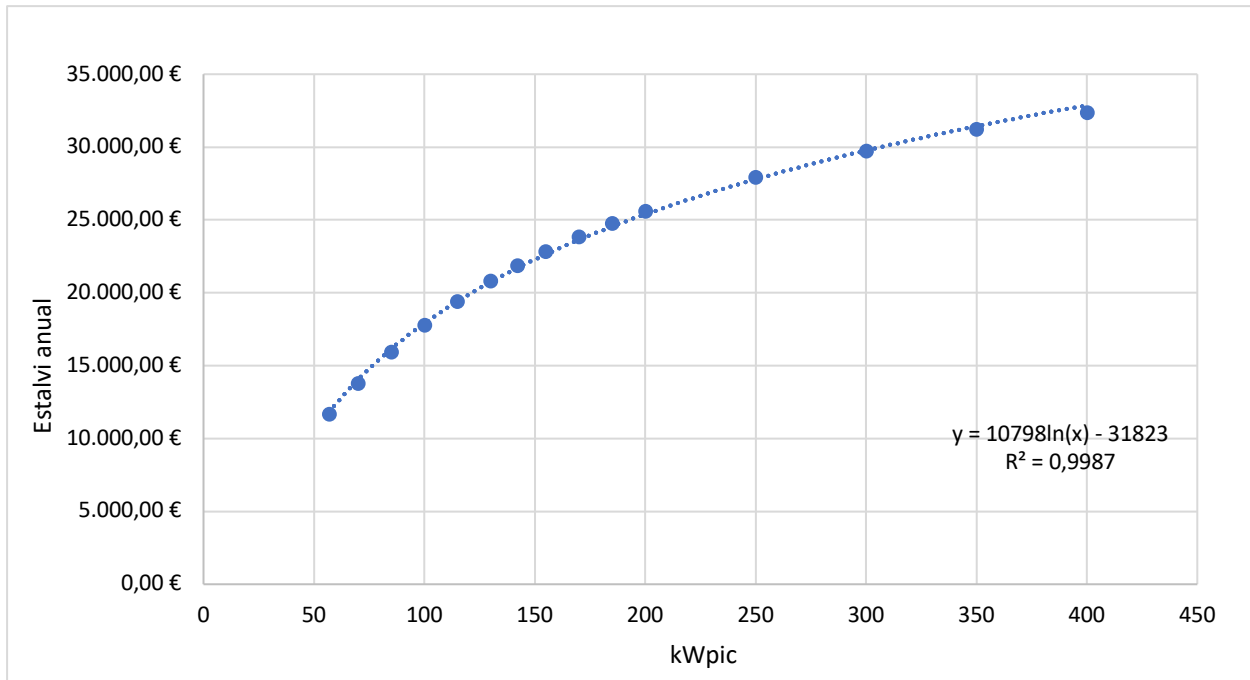


Figura 34: Estalvi anual per diferents valors de kilowatts pic de potència.

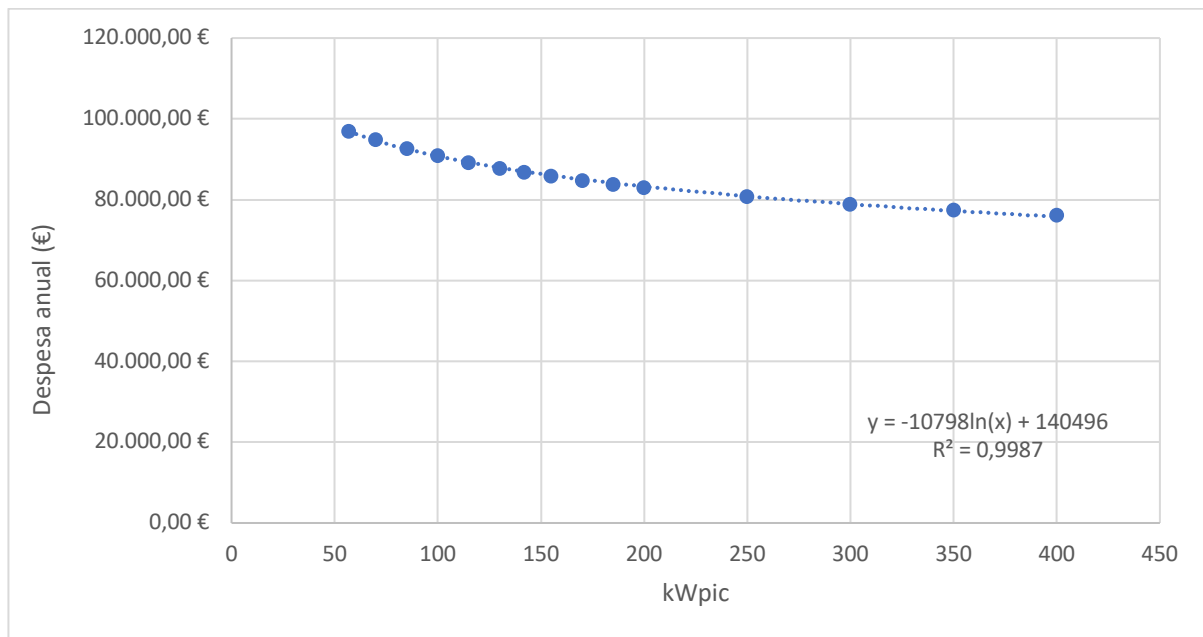


Figura 35: Despesa d'energia anual per diferents valors de kilowatts pic.

- Despesa i estalvi anual en energia de la xarxa

Si es suma el cost de cada dia i hora, s'obté l'estalvi o bé despesa total en energia de cada simulació:

Taula 7: Estalvi d'energia en euros gràcies a la generació solar per diferents dimensions d'instal·lacions.

KWpic	Estalvi a 8 mesos degut a la generació solar (€)	Estalvi anual degut a la generació solar(€)	Estalvi anual en comparació a l'actualitat (€)
56,84	7.794,00 €	11.691,00 €	0,00 €
70	9.202,00 €	13.803,00 €	2.112,00 €
85	10.623,00 €	15.934,50 €	4.243,50 €
100	11.869,00 €	17.803,50 €	6.112,50 €
115	12.952,00 €	19.428,00 €	7.737,00 €
130	13.894,00 €	20.841,00 €	9.150,00 €
142	14.573,00 €	21.859,50 €	10.168,50 €
155	15.230,00 €	22.845,00 €	11.154,00 €
170	15.916,00 €	23.874,00 €	12.183,00 €
185	16.529,00 €	24.793,50 €	13.102,50 €
200	17.082,00 €	25.623,00 €	13.932,00 €
250	18.619,00 €	27.928,50 €	16.237,50 €
300	19.842,00 €	29.763,00 €	18.072,00 €
350	20.812,00 €	31.218,00 €	19.527,00 €
400	21.592,00 €	32.388,00 €	20.697,00 €

A favor d'aquestes dades, de la Taula 7 i la Taula 8, com s'ha comentat anteriorment, no es tenen dades dels mesos entre maig i agost, ja que les plaques fotovoltaïques no estaven instal·lades i en ser mesos més assolellats que els altres s'obtindria un major estalvi anual. També es pot observar que aquests valors són els que es deixarien de pagar a la comercialitzadora gràcies al fet que es tindrien més plaques solars, multiplicant la generació pel preu que se li compraria. Simulat per diferents ràtios de kilowatts pic. Des de la instal·lació de les plaques solars l'1 de setembre de 2021 fins a 31 d'abril de 2022 hi ha hagut un estalvi de 7.794,00 €.

Anàlisi i optimització del consum energètic d'una explotació agroturística

Taula 8: Despesa d'energia en euros per diferents dimensions d'instal·lacions fotovoltaïques.

KWpic	Despesa en energia en 8 mesos (€)	Despesa en energia anual (€)
56,84	64.655,00 €	96.982,50 €
70	63.246,00 €	94.869,00 €
85	61.826,00 €	92.739,00 €
100	60.579,00 €	90.868,50 €
115	59.496,00 €	89.244,00 €
130	58.554,00 €	87.831,00 €
142	57.875,00 €	86.812,50 €
155	57.218,00 €	85.827,00 €
170	56.532,00 €	84.798,00 €
185	55.919,00 €	83.878,50 €
200	55.367,00 €	83.050,50 €
250	53.830,00 €	80.745,00 €
300	52.607,00 €	78.910,50 €
350	51.636,00 €	77.454,00 €
400	50.856,00 €	76.284,00 €

Per contrapartida, la despesa i l'estalvi també es poden expressar en kWh i no amb euros tal com s'ha fet fins ara. Es suposa un consum anual constant de 364615,5 kWh en totes les simulacions de diferents kilowatts pic de potència i a través de R Studio també s'aconsegueixen les dades que es tindrien de generació i de consum de xarxa.

A través de la Taula 9, s'ha tingut en compte un detall, encara que el consum sigui constant, i la generació solar augmenti molt, el consum de xarxa no disminueix excessivament. Per aquesta raó, fa pensar que encara que es tingui molta generació d'energia gràcies als panells solars, al tenir consum fora d'horaris no ens serveix de res, es malgasta la producció.

Memòria i annexos - Anàlisi de propostes de millora

Taula 9: Generació i consum de xarxa per diferents kilowatts pic de potència.

KWpic	Consum (kWh)	Generació (kWh)	Consum Xarxa (kWh)
56,84	364165,5	43944	326928
70	364165,5	54117	320253
85	364165,5	65713,5	314886
100	364165,5	77311,5	307638
115	364165,5	88908	302536,5
130	364165,5	100504,5	298092
142	364165,5	109782	294886,5
155	364165,5	119832	291798
170	364165,5	131428,5	288586,5
185	364165,5	143025	285724,5
200	364165,5	154621,5	283140
250	364165,5	193276,5	275922
300	364165,5	231933	270159
350	364165,5	270588	265566
400	364165,5	309243	261850,5

- Amortització de l'ampliació de la instal·lació

Es parteix d'un pressupost elaborat per l'empresa *SolarCasa* que ens determina que una ampliació de 73 kWpic, és a dir arribar fins a 130 kWpic, costa 70.789,84 €.

Taula 10: Cost per fer ampliacions de la instal·lació per diferents kilowatts pic.

KWpic	Ampliació kWpic	Inversió (€)
56,84	0	0,00 €
70	13,16	12.733,66 €
85	28,16	27.247,70 €
100	43,16	41.761,75 €
115	58,16	56.275,79 €
130	73,16	70.789,84 €
142	85,16	82.401,08 €
155	98,16	94.979,92 €
170	113,16	109.493,96 €
185	128,16	124.008,01 €
200	143,16	138.522,05 €

Anàlisi i optimització del consum energètic d'una explotació agroturística

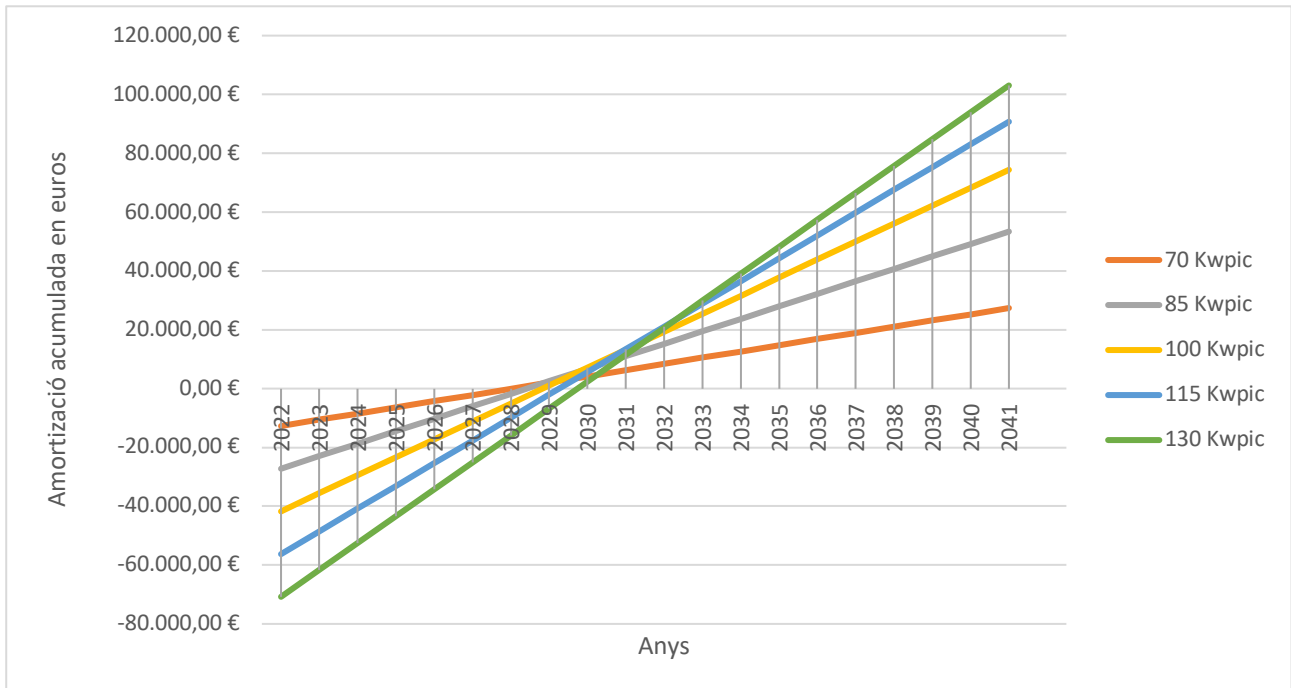


Figura 36: Amortització acumulada per instal·lacions amb potències màximes entre 70 i 130 kilowatts pic.

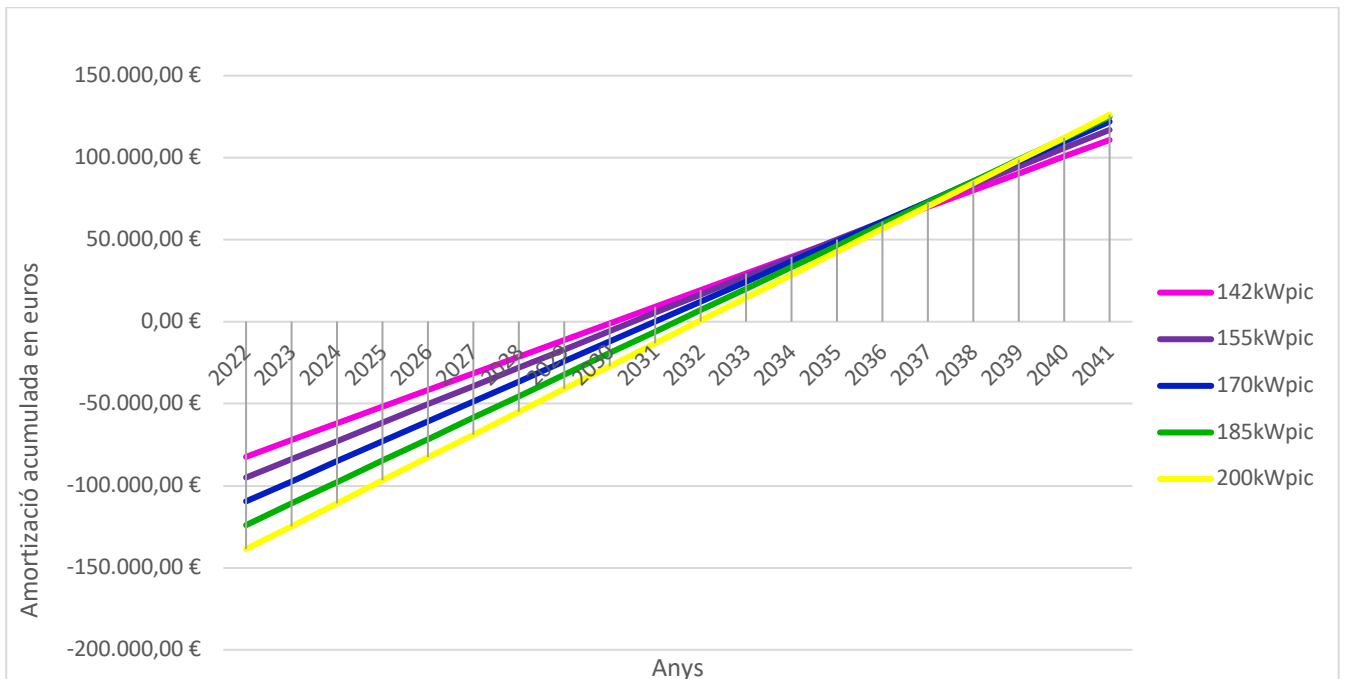


Figura 37: Amortització acumulada per instal·lacions amb potències màximes entre 142 i 200 kWpic.

Memòria i annexos - Anàlisi de propostes de millora

Gràcies als gràfics de la Figura 36 i de la Figura 37, es veu que com més petita és la instal·lació més aviat s'amortitza. S'amortitza quan la línia de tendència es creua amb l'eix d'abscisses. Una dada destacable, observant els gràfics és que totes les simulacions de diferents potències, tarden menys de 10 anys en amortitzar-se. Es considera que el valor òptim per preu de la inversió i d'estalvi seria entre **130 i 155 kWpic** de potència. Es tardarien 8 anys a amortitzar-se i no s'hauria de fer una inversió desproporcionada.

Taula 11: Total acumulat amortitzat per instal·lacions entre 70kWpic i 155kWpic.

ANY	TOTAL ACUMULAT AMORTIZAT						
	70 Kwpic	85 Kwpic	100 Kwpic	115 Kwpic	130 Kwpic	142 kWpic	155 kWpic
2022	-12.733,66 €	-27.247,70 €	-41.761,75 €	-56.275,79 €	-70.789,84 €	-82.401,08 €	-94.979,92 €
2023	-10.621,66 €	-23.004,20 €	-35.649,25 €	-48.538,79 €	-61.639,84 €	-72.232,58 €	-83.825,92 €
2024	-8.509,66 €	-18.760,70 €	-29.536,75 €	-40.801,79 €	-52.489,84 €	-62.064,08 €	-72.671,92 €
2025	-6.397,66 €	-14.517,20 €	-23.424,25 €	-33.064,79 €	-43.339,84 €	-51.895,58 €	-61.517,92 €
2026	-4.285,66 €	-10.273,70 €	-17.311,75 €	-25.327,79 €	-34.189,84 €	-41.727,08 €	-50.363,92 €
2027	-2.173,66 €	-6.030,20 €	-11.199,25 €	-17.590,79 €	-25.039,84 €	-31.558,58 €	-39.209,92 €
2028	-61,66 €	-1.786,70 €	-5.086,75 €	-9.853,79 €	-15.889,84 €	-21.390,08 €	-28.055,92 €
2029	2.050,34 €	2.456,80 €	1.025,75 €	-2.116,79 €	-6.739,84 €	-11.221,58 €	-16.901,92 €
2030	4.162,34 €	6.700,30 €	7.138,25 €	5.620,21 €	2.410,16 €	-1.053,08 €	-5.747,92 €
2031	6.274,34 €	10.943,80 €	13.250,75 €	13.357,21 €	11.560,16 €	9.115,42 €	5.406,08 €
2032	8.386,34 €	15.187,30 €	19.363,25 €	21.094,21 €	20.710,16 €	19.283,92 €	16.560,08 €
2033	10.498,34 €	19.430,80 €	25.475,75 €	28.831,21 €	29.860,16 €	29.452,42 €	27.714,08 €
2034	12.610,34 €	23.674,30 €	31.588,25 €	36.568,21 €	39.010,16 €	39.620,92 €	38.868,08 €
2035	14.722,34 €	27.917,80 €	37.700,75 €	44.305,21 €	48.160,16 €	49.789,42 €	50.022,08 €
2036	16.834,34 €	32.161,30 €	43.813,25 €	52.042,21 €	57.310,16 €	59.957,92 €	61.176,08 €
2037	18.946,34 €	36.404,80 €	49.925,75 €	59.779,21 €	66.460,16 €	70.126,42 €	72.330,08 €
2038	21.058,34 €	40.648,30 €	56.038,25 €	67.516,21 €	75.610,16 €	80.294,92 €	83.484,08 €
2039	23.170,34 €	44.891,80 €	62.150,75 €	75.253,21 €	84.760,16 €	90.463,42 €	94.638,08 €
2040	25.282,34 €	49.135,30 €	68.263,25 €	82.990,21 €	93.910,16 €	100.631,92 €	105.792,08 €
2041	27.394,34 €	53.378,80 €	74.375,75 €	90.727,21 €	103.060,16 €	110.800,42 €	116.946,08 €

Anàlisi i optimització del consum energètic d'una explotació agroturística

Taula 12: Total acumulat amortitzat per instal·lacions entre 170kWpic i 400kWpic.

ANY	TOTAL ACUMULAT AMORTIZAT						
	170 kWpic	185 kWpic	200 kWpic	250 kWpic	300 kWpic	350 kWpic	400 kWpic
2022	-109.493,96 €	-124.008,01 €	-138.522,05 €	-186.902,21 €	-235.282,36 €	-283.662,51 €	-332.042,67 €
2023	-97.310,96 €	-110.905,51 €	-124.590,05 €	-170.664,71 €	-217.210,36 €	-264.135,51 €	-311.345,67 €
2024	-85.127,96 €	-97.803,01 €	-110.658,05 €	-154.427,21 €	-199.138,36 €	-244.608,51 €	-290.648,67 €
2025	-72.944,96 €	-84.700,51 €	-96.726,05 €	-138.189,71 €	-181.066,36 €	-225.081,51 €	-269.951,67 €
2026	-60.761,96 €	-71.598,01 €	-82.794,05 €	-121.952,21 €	-162.994,36 €	-205.554,51 €	-249.254,67 €
2027	-48.578,96 €	-58.495,51 €	-68.862,05 €	-105.714,71 €	-144.922,36 €	-186.027,51 €	-228.557,67 €
2028	-36.395,96 €	-45.393,01 €	-54.930,05 €	-89.477,21 €	-126.850,36 €	-166.500,51 €	-207.860,67 €
2029	-24.212,96 €	-32.290,51 €	-40.998,05 €	-73.239,71 €	-108.778,36 €	-146.973,51 €	-187.163,67 €
2030	-12.029,96 €	-19.188,01 €	-27.066,05 €	-57.002,21 €	-90.706,36 €	-127.446,51 €	-166.466,67 €
2031	153,04 €	-6.085,51 €	-13.134,05 €	-40.764,71 €	-72.634,36 €	-107.919,51 €	-145.769,67 €
2032	12.336,04 €	7.016,99 €	797,95 €	-24.527,21 €	-54.562,36 €	-88.392,51 €	-125.072,67 €
2033	24.519,04 €	20.119,49 €	14.729,95 €	-8.289,71 €	-36.490,36 €	-68.865,51 €	-104.375,67 €
2034	36.702,04 €	33.221,99 €	28.661,95 €	7.947,79 €	-18.418,36 €	-49.338,51 €	-83.678,67 €
2035	48.885,04 €	46.324,49 €	42.593,95 €	24.185,29 €	-346,36 €	-29.811,51 €	-62.981,67 €
2036	61.068,04 €	59.426,99 €	56.525,95 €	40.422,79 €	17.725,64 €	-10.284,51 €	-42.284,67 €
2037	73.251,04 €	72.529,49 €	70.457,95 €	56.660,29 €	35.797,64 €	9.242,49 €	-21.587,67 €
2038	85.434,04 €	85.631,99 €	84.389,95 €	72.897,79 €	53.869,64 €	28.769,49 €	-890,67 €
2039	97.617,04 €	98.734,49 €	98.321,95 €	89.135,29 €	71.941,64 €	48.296,49 €	19.806,33 €
2040	109.800,04 €	111.836,99 €	112.253,95 €	105.372,79 €	90.013,64 €	67.823,49 €	40.503,33 €
2041	121.983,04 €	124.939,49 €	126.185,95 €	121.610,29 €	108.085,64 €	87.350,49 €	61.200,33 €

6.2 Instal·lació de bateries

El complement de l'anàlisi de l'ampliació de la instal·lació fotovoltaica és la incorporació de bateries, d'aquesta manera l'energia solar generada no es malgastaria.

Permetria emmagatzemar l'energia i utilitzar-la en hores de no producció, com per exemple de nit. En la Figura 38 i la Taula 13 s'observa que quan es tenen bateries aplicades en el sistema, a mesura que es té la producció solar més elevada, menys consum de xarxa s'usaria i més s'estalviaria, tal com representen la recta blava enfront de la recta groga. Tanmateix, les bateries són cares i per emmagatzemar grans quantitats de kW es tardaria a amortitzar-ho. Es podrien replantejar bateries d'aproximadament 15 kWh, depenent de l'ampliació. La columna de bateries de la Taula 13 és la suma d'energia emmagatzemada per les bateries al llarg de l'any, no s'arribaria mai a emmagatzemar-se tota aquesta quantitat a la vegada.

Taula 13: Consum de xarxa amb bateries i sense.

KWpic	Consum (kWh)	Generació (kWh)	Consum Xarxa (kWh)	Bateries (kWh)	Consum Xarxa amb Bateries (kWh)
56,84	364165,5	43944	326928	6706,5	320221,5
70	364165,5	54117	320253	10204,5	310048,5
85	364165,5	65713,5	314886	16434	298452
100	364165,5	77311,5	307638	20784	286854
115	364165,5	88908	302536,5	27279	275257,5
130	364165,5	100504,5	298092	34431	263661
142	364165,5	109782	294886,5	40503	254383,5
155	364165,5	119832	291798	47464,5	244333,5
170	364165,5	131428,5	288586,5	55849,5	232737
185	364165,5	143025	285724,5	64584	221140,5
200	364165,5	154621,5	283140	73596	209544
250	364165,5	193276,5	275922	105033	170889
300	364165,5	231933	270159	137926,5	132232,5
350	364165,5	309243	261850,5	206928	54922,5

Els càlculs pertinents de la Taula 13 han estat:

A les bateries i s’hi guarda la diferència entre consum més generació i consum de xarxa, ja que s’obtindrà la generació solar no utilitzada.

$$Bateria = Consum + Generació - Consum Xarxa \quad \text{Eq.13}$$

I per el consum de xarxa amb bateries

$$Consum de Xarxa amb bateria = Consum de Xarxa - Bateries \quad \text{Eq.14}$$

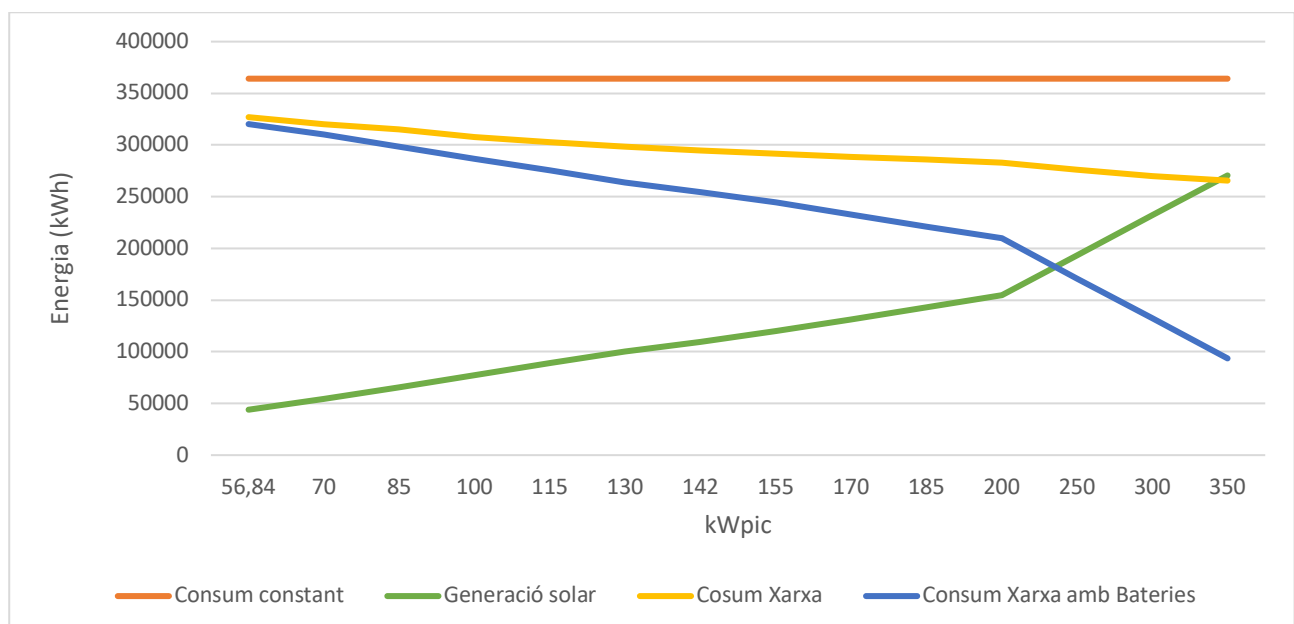


Figura 38: Gràfic de consum de xarxa amb bateries i sense.

Aleshores, es pot calcular l'estalvi anual gràcies a les bateries. Tenim en compte que s'utilitzen de nit quan el preu de l'energia és de $0,2501 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$, és a dir, en el període P6. Es té en compte fins a 350 kilowatts pic de potència perquè seria gairebé impossible tenir capacitat i pressupost per una instal·lació tan gran d'energia.

Taula 14: Estalvi amb bateries.

KWpic	Estalvi Bateries (€)
56,84	1.677,30 €
70	2.552,15 €
85	4.110,14 €
100	5.198,08 €
115	6.822,48 €
130	8.611,19 €
142	10.129,80 €
155	11.870,87 €
170	13.967,96 €
185	16.152,46 €
200	18.406,36 €
250	26.268,75 €
300	34.495,42 €
350	43.014,32 €

Es parteix d'un pressupost elaborat per l'empresa *ElectroFlux* d'una bateria de 10 kW 7812,69 €. Aquestes bateries estan formades per mòduls de 5 kWh de 2500 € cada un, és a dir, si es volgués ampliar la instal·lació i que la bateria fos bateria de 15 kWh, el pressupost seria de 10.312,69 €.

Es decideix implementar la bateria de 15 kW en el sistema fotovoltaic, l'amortització d'aquesta seria la següent. Encara que es calculi l'amortització d'una bateria per 56,84 kWpic, no té gaire sentit perquè la bateria pressupostada és el doble de gran de l'energia que s'emmagatzemaria durant l'any. La implementació de la bateria seria lògica per a instal·lacions entre de 100 kWpic de potència i 150 kWpic. En canvi, per instal·lacions més grans de 150 kWpic de potència, la bateria necessitaria ser ampliada. Es pot confirmar amb la Taula 15, ja que a partir de 150 kWpic la bateria s'amortitza amb un any, en canvi, per menors de 100 kWpic tarda més a amortitzar-se. Per exemple una instal·lació de 70 kWpic amb una bateria de 15 kWh s'amortitzaria amb 5 anys.

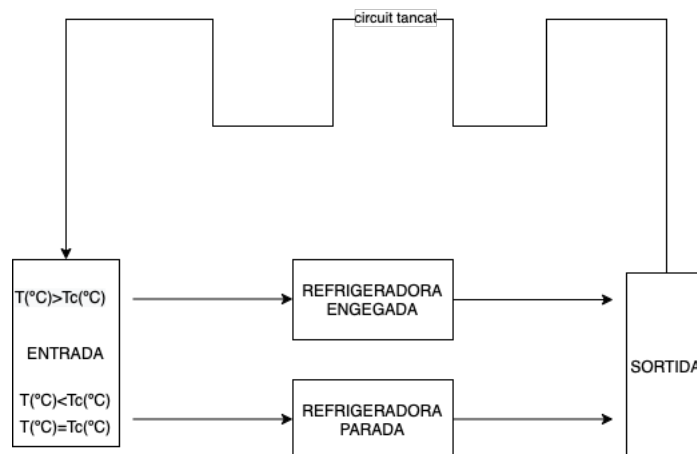
Taula 15: Amortització acumulada de les bateries.

TOTAL ACUMULAT AMORTIZAT											
ANY	56,84 kWpic	70 kWpic	85 kWpic	100 kWpic	115 kWpic	130 kWpic	142 kWpic	155 kWpic	170 kWpic	185 kWpic	200 kWpic
2022	-10.312,69 €	-10.312,69 €	-10.312,69 €	-10.312,69 €	-10.312,69 €	-10.312,69 €	-10.312,69 €	-10.312,69 €	-10.312,69 €	-10.312,69 €	-10.312,69 €
2023	-8.635,39 €	-7.760,54 €	-6.202,55 €	-5.114,61 €	-3.490,21 €	-1.701,50 €	-182,89 €	1.558,18 €	3.655,27 €	5.839,77 €	8.093,67 €
2024	-6.958,10 €	-5.208,40 €	-2.092,40 €	83,47 €	3.332,27 €	6.909,70 €	9.946,91 €	13.429,05 €	17.623,23 €	21.992,23 €	26.500,03 €
2025	-5.280,80 €	-2.656,25 €	2.017,74 €	5.281,55 €	10.154,74 €	15.520,89 €	20.076,71 €	25.299,92 €	31.591,19 €	38.144,69 €	44.906,39 €
2026	-3.603,51 €	-104,11 €	6.127,88 €	10.479,62 €	16.977,22 €	24.132,08 €	30.206,51 €	37.170,80 €	45.559,15 €	54.297,14 €	63.312,75 €
2027	-1.926,21 €	2.448,04 €	10.238,03 €	15.677,70 €	23.799,70 €	32.743,28 €	40.336,31 €	49.041,67 €	59.527,11 €	70.449,60 €	81.719,11 €
2028	-248,92 €	5.000,18 €	14.348,17 €	20.875,78 €	30.622,18 €	41.354,47 €	50.466,11 €	60.912,54 €	73.495,07 €	86.602,06 €	100.125,47 €
2029	1.428,38 €	7.552,33 €	18.458,31 €	26.073,86 €	37.444,66 €	49.965,66 €	60.595,91 €	72.783,41 €	87.463,03 €	102.754,52 €	118.531,83 €

6.3 Actuar ens els consums de refrigeració

6.3.1 Actuar sobre la refrigeradora

La refrigeradora actua dins d'un circuit tancat, amb una entrada i una sortida. A l'entrada hi ha un sensor amb una temperatura consigna i aquesta va refredant aigua fins que la temperatura d'entrada arriba a la temperatura consigna. És a dir, la temperatura que surt és prou baixa per fer tot el circuit i arribar a l'entrada amb el valor desitjat. En el següent esquema de la Figura 39 es mostra el funcionament de la màquina.



on T és la temperatura que llegeix el sensor i Tc la temperatura consigna.

Figura 39 :Esquema del funcionament de la refrigeradora.

Actualment, la temperatura consigna és de $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, per tant, la màquina s'engegarà quan la temperatura de l'entrada sigui superior a aquest valor. A l'apartat 5.2.1 de la pàgina 24, s'ha analitzat com la refrigeradora s'engega i s'apaga constantment i és això el que s'hauria d'evitar, sobretot en les hores més cares del dia.

Per tal d'evitar que s'engegui i s'apagui constantment, s'hauria de fer baixar la temperatura consigna fins a -8°C durant les hores econòmiques, és a dir, de les 12 hores de la nit fins a les 8 hores del matí. I durant el dia mantenir la temperatura consigna de $-3,5^{\circ}\text{C}$ i intentar que aquesta temperatura aguanti el màxim possible durant el dia. En dies d'hivern serà més fàcil conservar la temperatura més baixa o igual que la consigna, però a l'estiu és complicat mantenir-la amb temperatures ambientals exteriors de 30°C . Un altre factor és que les temperatures més elevades sempre coincideixen en hores no econòmiques del dia. Amb aquesta solució s'aconseguiria que part del consum que es té actualment durant el dia el passéssim a la nit i així s'estalviaria en energia.

En cas d'ampliar la instal·lació de plaques solars, una segona solució seria traslladar el consum de la refrigeradora en hores de generació solar alta en comptes de fer-la treballar a la nit. I en tercera opció, es podrien unir l'opció primera i l'opció segona per tal de remarcar dos trams horaris on la refrigeradora funcionarà al 100% per tal d'aguantar en hores que no hi ha generació o bé no és de nit.

Per tal de posar en marxa la solució proposada, s'havia de programar els dos *setpoints* o temperatures consignes, en diferents trams horaris. Després de buscar en el manual de la màquina (Galleti LCX), es va trobar que no es podia fer, ja que quan es va comprar no es va agafar un complement que corresponia a un aparell que fa de rellotge per tal de programar-la en funció dels dies o bé de les hores.

6.3.2 Actuar sobre els congeladors

Control dels congeladors

El funcionament dels congeladors actualment està regulat amb una temperatura consigna de -20°C i una histèresi de 2°C , la seva temperatura varia en l'interval de $(-18,-20)^{\circ}\text{C}$. La temperatura interior i el producte emmagatzemat es manté a una mitjana de -19°C . Això provoca que el congelador s'engegui i es pari moltes vegades durant el dia.

Per tal de regular i tenir un **control** d'aquests congeladors, s'ha d'actuar sobre la **histèresi** i la **temperatura consigna** o *setpoint*. El que es busca és l'optimització de l'**energia consumida** a través de mantenir el valor de la **temperatura mitjana interior del congelador** gairebé constant. En altres paraules, es busca el menor ús elèctric i una disminució del temps de funcionament sense que els productes emmagatzemats en el congelador disminueixin de temperatura.

Experiments

S'han dut a terme dues proves preliminars o experiments, els quals consisteixen en augmentar el cicle d'histèresi i que el congelador s'engegui i es pari menys vegades durant el dia.

En el primer experiment s'ha partit de la temperatura consigna de -20°C i se li ha aplicat una histèresi de 6°C , és a dir, la temperatura del congelador es mantindrà entre -14°C i -20°C . En el segon experiment, la temperatura consigna és de -23°C i la histèresi també de 6°C , deixant un interval de treball entre -17°C i -23°C .

En primer lloc, cal analitzar com actua el congelador actualment. A la Figura 40, s'observa que la temperatura del congelador varia en dos graus. Quan està en marxa té una despesa dels voltants de 3 kW i la temperatura disminueix fins a la temperatura consigna de -20°C . Es pot extreure'n que el temps del cicle que segueix són de 6 minuts engegat en contra de 10 minuts parat. És a dir al llarg del dia està engegat el 37,5% del temps que correspon a 9 hores. Pel que fa a la temperatura ambient, es manté constant durant l'experiment i no intervé en els resultats.

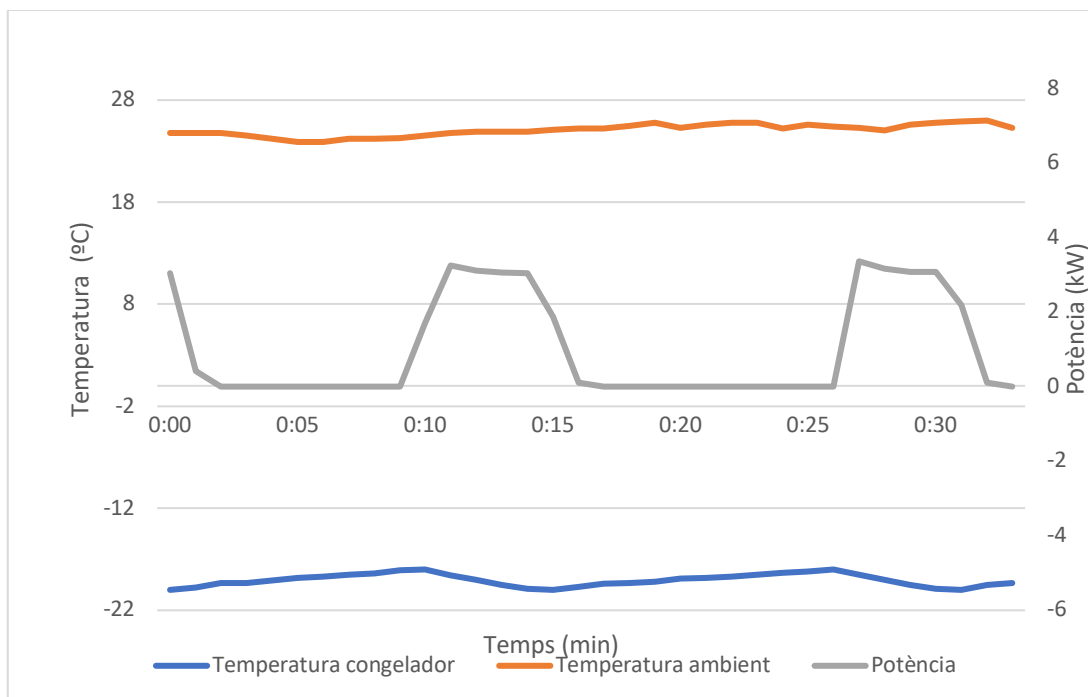


Figura 40: Funcionament del congelador actualment.

Aleshores es calcula l'energia diària que consumirà el congelador.

$$E = P \cdot t \quad \text{Eq.15}$$

on E és l'energia, la P la potència i la t el temps en funcionament al llarg del dia.

Es considera que la potència mitjana de consum són 3kW i obtenim que al llarg del dia consumeix 27kWh.

$$E = 3 \cdot 9 = 27 \text{ kWh}$$

En el primer experiment, en el qual es treballa entre -14°C i -20°C , la mitjana de potència de quan està engegada és de 3,5 kW. En aquest cas, es passa 50 minuts parada enfront de 10 minuts

engegat per tal de passar de -14°C fins a -20°C . Actua el 16,67% del dia, que en total són 4 hores. Aleshores, calculem l'energia consumida pel congelador amb aquest experiment.

$$E = 3,5 \cdot 4 = 14 \text{ kWh}$$

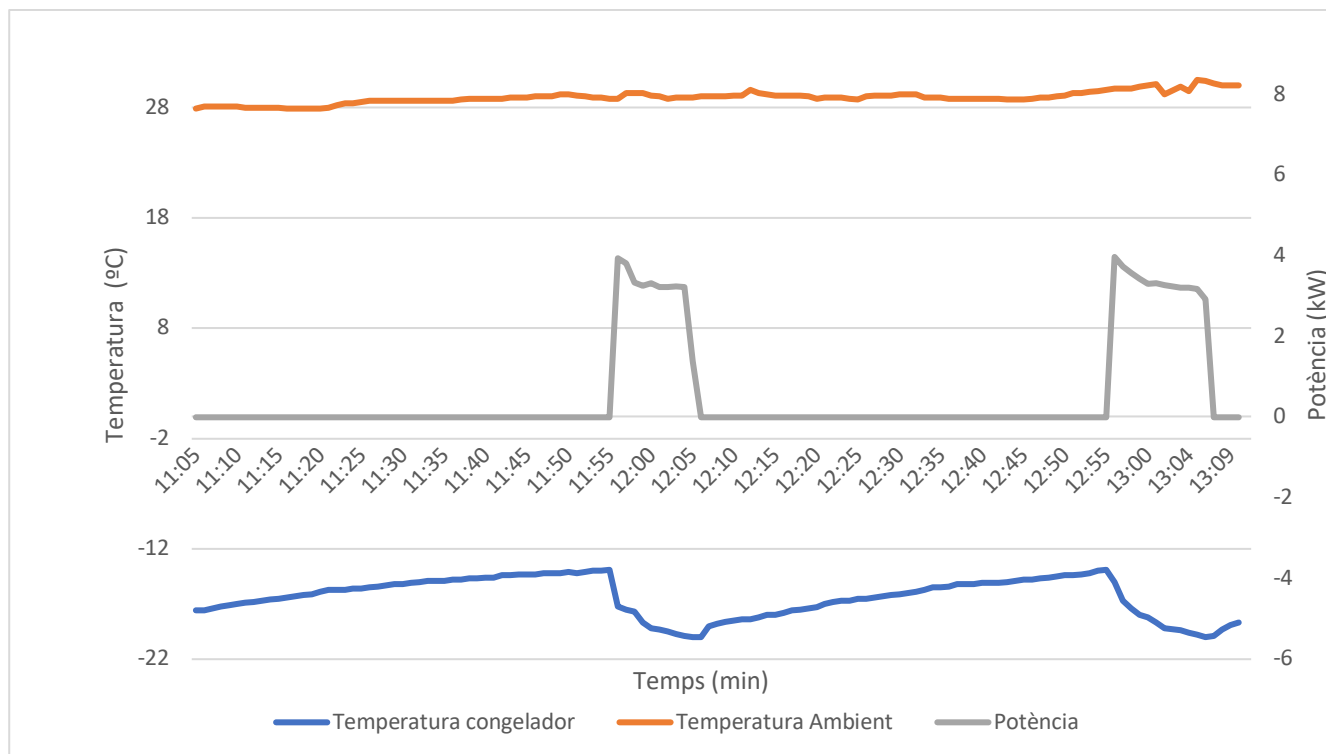


Figura 41: Experiment 1.

En la Figura 42, s'observa els temps de funcionament i els temps de repòs del congelador durant l'experiment 1 en les dues primeres columnes d'energia.

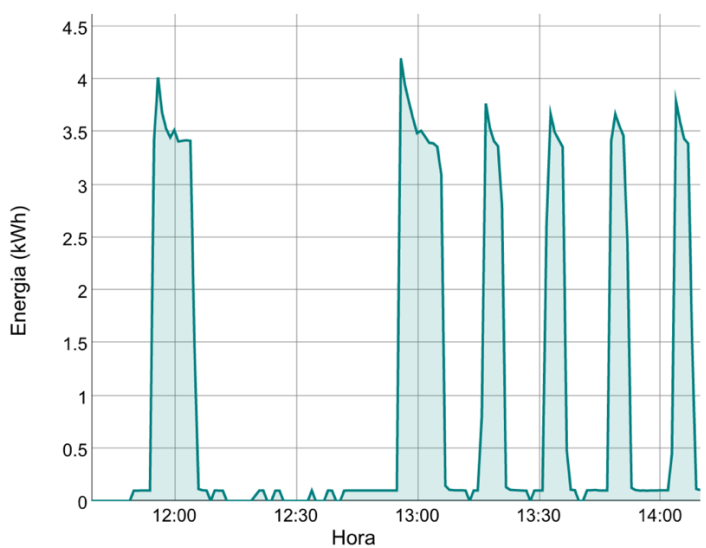


Figura 42: Consum d'energia en l'experiment 1.

En el segon experiment, en el qual es treballa entre -17°C i -23°C, la potència mitjana en la qual treballa en funcionament és de 3kW. En aquest cas, tal com s'observa a la Figura 43, funciona durant 25 minuts i està parada 35 minuts. En el global del dia actua un 41,67% del temps que correspon a 10 hores al dia. Així doncs, el càlcul de l'energia al llarg del dia és de:

$$E = 3 \cdot 10 = 30 \text{ kWh}$$

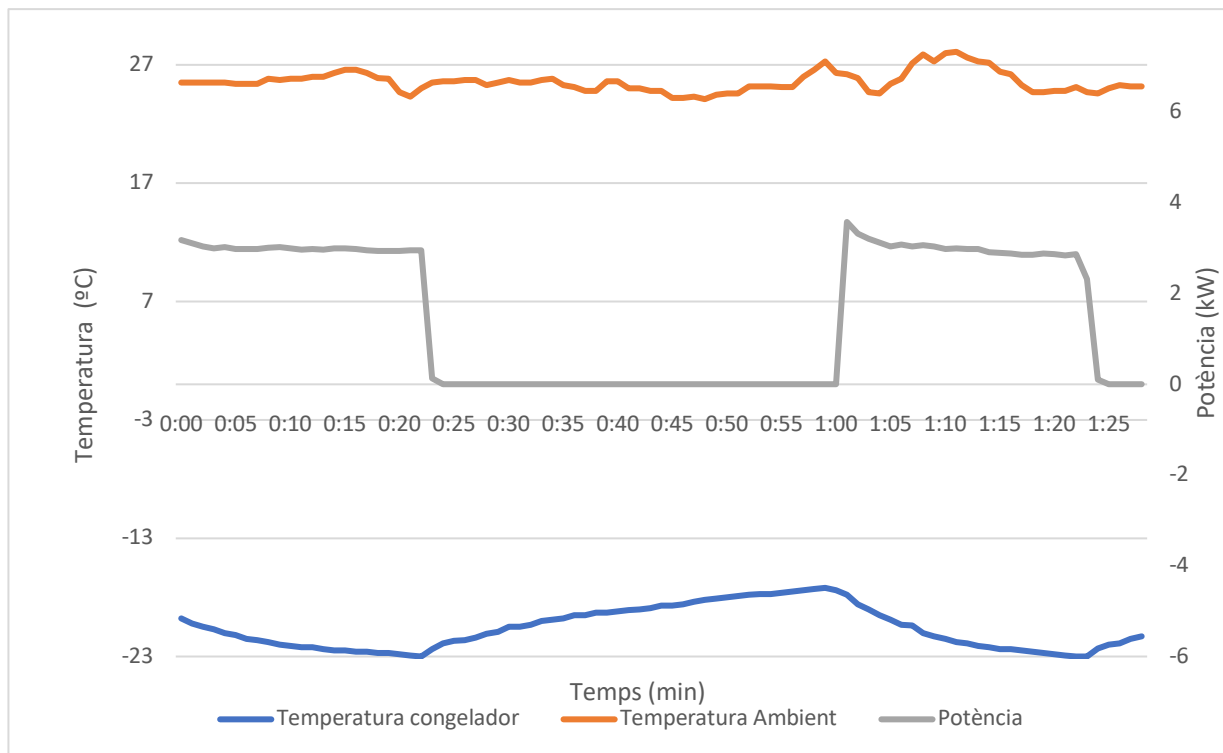


Figura 43: Experiment 2.

En la Figura 44 es veu el temps que tarda a baixar de -17°C fins a -23°C fa que es consumeixi més energia que en baixar de -18°C fins a -20°C, s'observa amb l'amplitud de les columnes tercera i quarta de la gràfica, que corresponen al segon experiment.

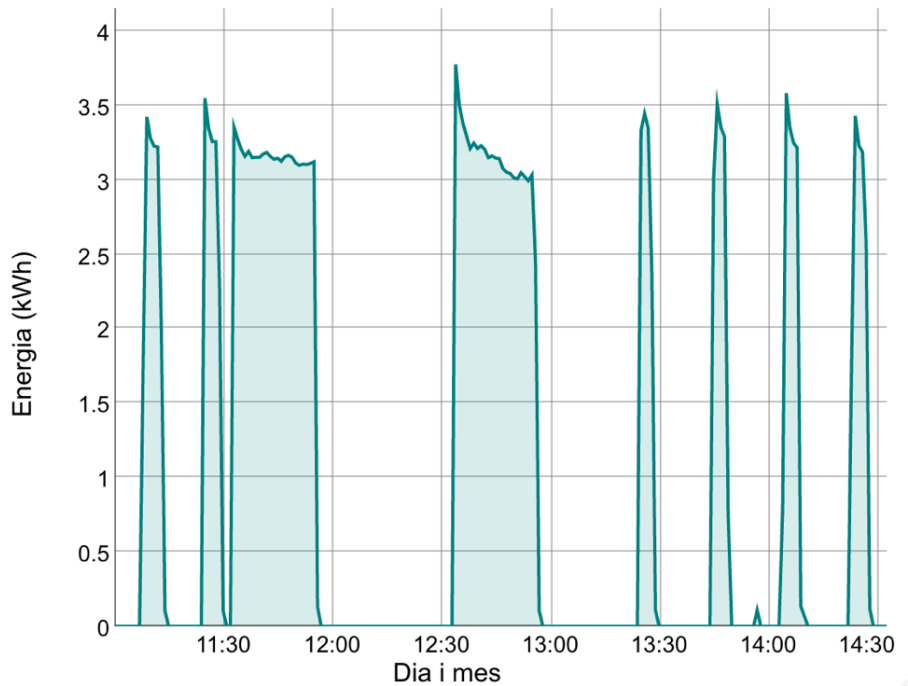


Figura 44: Energia consumida durant l'experiment 2.

Diferències entre experiments i actualment

Taula 16: Diferències entre experiments.

	Actualment	Experiment 1	Experiment 2
Temperatura màxima	-18°C	-14°C	-17°C
Temperatura mínima	-20°C	-20°C	-23°C
Temperatura mitjana	-19°C	-17°C	-20°C
Temps de cycle engegat	6 min	10 min	25 min
Temps de cycle parat	10 min	50 min	35 min
Temps en funcionament (%)	37,50%	16,67%	41,67%
Energia consumida per dia (kWh)	27	14	30
€ al dia	8,32 €	4,31 €	9,24 €

Hem tingut en compte un cost mig de 0,308€/kWh durant l'any.

S'analitzen les diferents dades obtingudes pels experiments:

- A l'experiment 1, no li suposa un problema al congelador arribar fins a -20°C, i a més manté bé la temperatura un cop s'escalfa.
- A l'experiment 2, li costa molt arribar a -23°C, i un cop hi ha arribat puja ràpidament la temperatura.
- En l'actualitat la temperatura mitjana del congelador i del producte interior emmagatzemat és de -19°C, seria bo mantenir-ho o bé abaixar-lo poc.

- S'observa que la temperatura mitjana de l'interior del congelador de l'experiment 1 disminueix fins a -17°C , en canvi, en l'experiment 2 s'eleva fins a -20°C .
- Seria bo tenir una temperatura mitjana de -20°C com a l'experiment 2, però energèticament no és viable.
- Amb experiment 1 es pot reduir fins a la meitat el cost energètic del congelador.
- No val la pena assignar una temperatura consigna més alta durant la nit perquè aguanti tot el matí perquè s'escalfa ràpidament.

A través dels experiments no es pot obtenir la histèresi òptima, però se n'han extret conclusions importants per tal d'acostar-nos-hi.

Obtenció de l'interval de temperatures òptim

Per calcular l'interval de temperatures o cicle d'histèresi òptim, el primer que hem de fer és fixar una de les dues temperatures. Es fixa la temperatura més alta a -17°C , que és a la màxima temperatura que se'ns permet tenir el congelador sanitàriament. A partir d'aquesta dada es portarà a terme 5 experiments, des d'1 grau fins a 6 graus d'histèresi i s'estudiarà l'energia consumida per cada prova en un interval de temps tancat. Cal remarcar que ens interessa que la temperatura interior del congelador mitjana sigui dels voltants de -19°C .

Cada experiment ha tingut una durada de 2 hores. Han estat portats a terme tots amb la temperatura ambient oscil·lant entre 24°C i 27°C . Se n'han extret els següents resultats:

Taula 17: Taula resum dels experiments per trobar l'interval òptim.

ΔT	Interval de temperatures ($^{\circ}\text{C}$)	Energia consumida (kWh)	Cicles	Energia/Cicle (kWh/cicle)
1	(-17,-18)	1,90	7	0,27
2	(-17-19)	1,63	6	0,27
3	(-17,-20)	1,49	5	0,30
4	(-17,-21)	1,73	4	0,46
5	(-17,-22)	1,99	3	0,66
6	(-17,-23)	2,29	2	1,15

Per cicle s'entén un període de temps que passa entre dos esdeveniments iguals que es repeteixen amb el temps. Per exemple el temps entre que s'engega per primer cop i s'engega per segon cop. Es representa la histèresi en funció de l'energia consumida a la Figura 45.

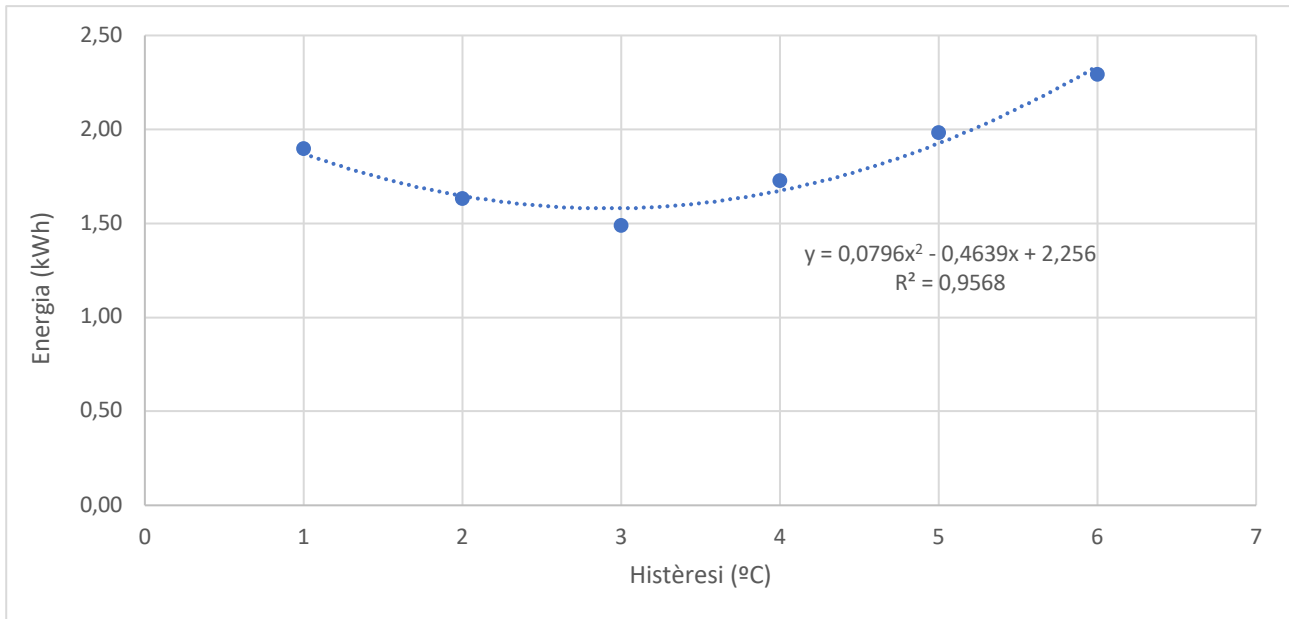


Figura 45: Energia consumida per variació de temperatura.

L'equació que s'ajusta més a la corba és de forma polinòmica.

$$E = 0,0796 \cdot \Delta T^2 - 0,4639 \cdot \Delta T + 2,256 \quad \text{Eq. 16}$$

on E és l'energia i la ΔT és la histèresi.

Aleshores si es deriva l'equació i la s'iguala a zero, es trobarà el mínim de la funció tal com es veu a la Figura 45.

$$\frac{dE}{d\Delta T} = 0,1592 \cdot \Delta T - 0,4639 = 0 \quad \text{Eq. 17}$$

$$\Delta T = 2,91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El mínim de la funció per reduir l'energia és de 2,91°C d'interval de temperatures, és a dir, entre -17°C i -19,91°C. Per tal de controlar-ho en el congelador ho s'arrodonirà entre -17°C i -20°C.

Simulació

Un cop obtingut els valors de l'interval de treball de temperatures òptim, es procedeix a simular-lo sabent que quan està en marxa té una despesa mitjana aproximada de 3 kW. Es parteix de les tarifes horàries del 31 de maig. Els preus de les tarifes de P4, P5 i P6 són de 0.2632 €/kWh, 0.2459 €/kWh i 0.2440 €/kWh respectivament.

Taula 18: Taula de control per congeladors òptim.

	Òptim
Temperatura màxima	-17°C
Temperatura mínima	-20°C
Temperatura mitjana	-18,5°C
Temps de cicle engegat	7 min
Temps de cicle parat	17 min
Temps en funcionament (%)	29,17%
kWh al dia	21 kWh



Figura 46: Tarifa del mes de maig. (Font: energigreen.com)

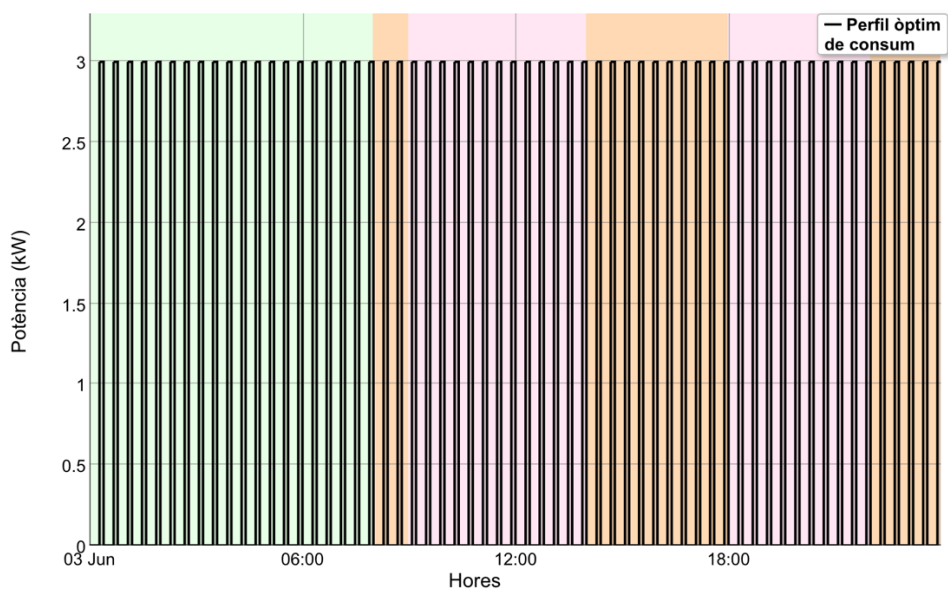


Figura 47: Simulació del perfil òptim de consum.

També es pot fer la comparativa, amb el perfil actual amb el perfil òptim calculat. Es compara en la Figura 48 que el perfil òptim funciona i deixa de funcionar menys sovint que el perfil actual i això fa que tingui un percentatge de temps de funcionament més baix.

Anàlisi i optimització del consum energètic d'una explotació agroturística

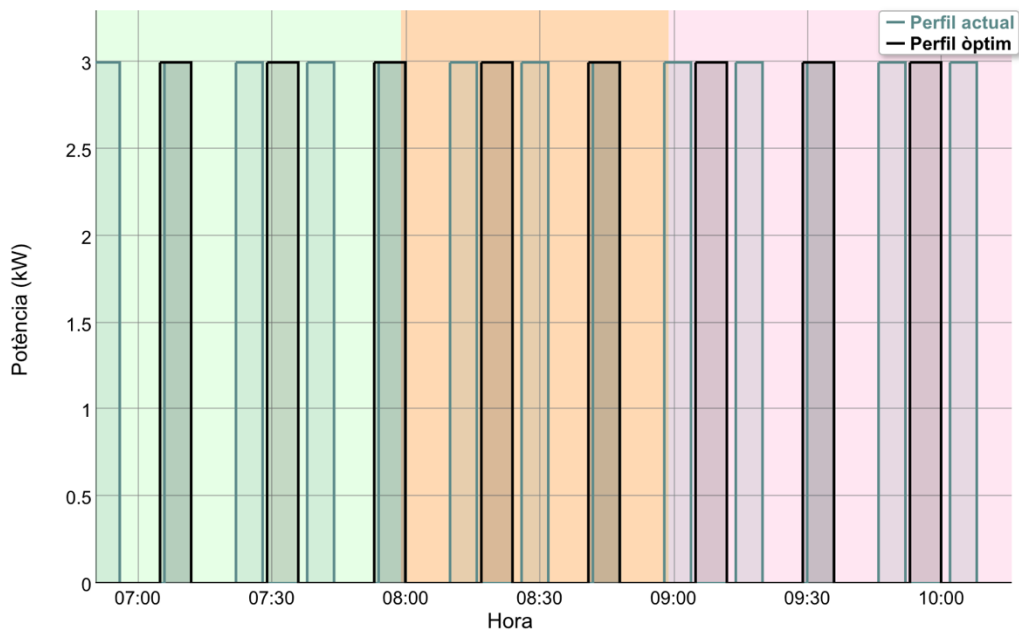


Figura 48: Simulació comparativa entre l'actualitat i l'òptim.

En termes d'estalvi diàries, es pot calcular que hagués suposat tenir la millora aplicada a dia 31 de maig amb les tarifes horàries representades a les figures anteriors. Només s'ha de multiplicar, l'energia graficada en columnes per la tarifa on està representada (P4, P5 o P6). Al simular-ho, surten els resultats de la Taula 19.

Taula 19: Preus actuals i optimitzats del consum.

Preu consum actual	6,85€/dia
Preu consum optimitat	5,33€/dia

Tenint en compte que existeixen 5 congeladors iguals de tamany i potència, en el mes de maig s'hagués tingut un estalvi 235,60 €.

Estalvi anual

Si en comptes dels preus de les tarifes del maig, tenim en compte el preu mig per kWh durant tot l'any amb les tarifes de l'abril, obtenim el preu de 0,308 €/kWh.

Taula 20: Comparació de l'actualitat i l'òptim.

	Actual	Òptim
Consum (kWh)	27	21
Cost diari (€)	8,32€	6,47€
Cost anual (€)	3036,8 €	2360,82€

L'estalvi anual per un congelador és de 675,90 € i per als 5 congeladors és de 3.379,90 €. Aquest estalvi podria haver estat calculat a través de valors reals, però la simulació ja representa aquests valors reals. Ja que un congelador de mitjana consumeix 27,1 kWh al dia com s'ha comentat a l'apartat d'anàlisi del congelador a la pàgina 25 i segons la simulació 27 kWh al dia.

6.4 Propostes de futur

En aquest apartat s'explicaran millores energètiques a tenir en compte en el futur.

- Coordinar de consums d'energia

La coordinació de consums és l'ordenació de l'energia consumida per diferents màquines o bé instal·lacions al llarg del dia. Per exemple si se sap que la cuina treballa majoritàriament entre 13 h del matí fins a 00 h de la tarda i és un dels elements de més consum, doncs la refrigeradora i la depuradora podrien treballar entre les 00 h i les 12 h del matí per tal que no coincideixin i es creïn pics de potència alts que ens generen un recàrrec a la factura de la llum. En cas de tenir molta generació solar, es podrien coordinar els consums per tal que tots els possibles coincidissin durant les hores de sol. També seria viable canviar certs consums com per exemple les bombes de reg i fer-les anar de nit que és quan l'energia és més econòmica.

En el cas de les següents figures, es veu com seria coordinar el consum de la depuradora en vermell, enfront del consum de la cuina. La depuradora funciona quan la cuina té menys necessitat energètica. En la Figura 49 s'observa els consums dels dos elements un al costat de l'altre, i en la Figura 50 se'ns mostra el perfil diari mitjà de la suma dels dos.

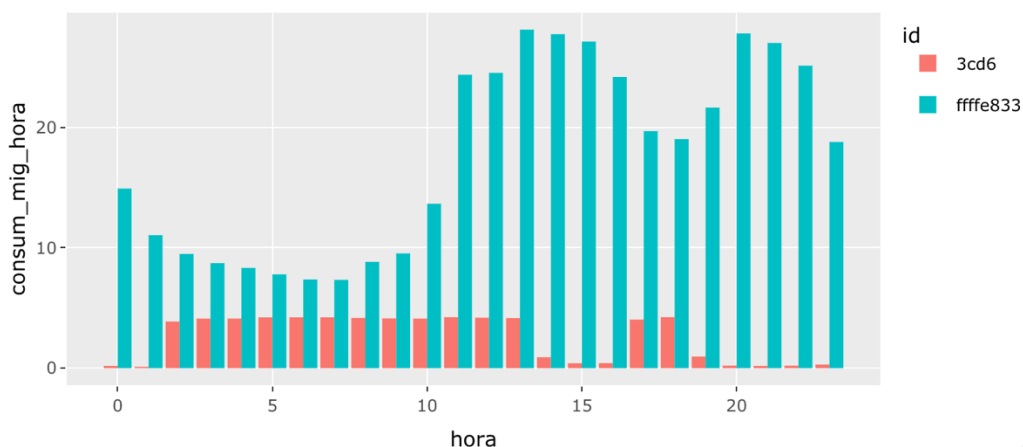


Figura 49: Coordinació de consums d'energia de la depuradora i la cuina en un gràfic de barres del perfil diari.

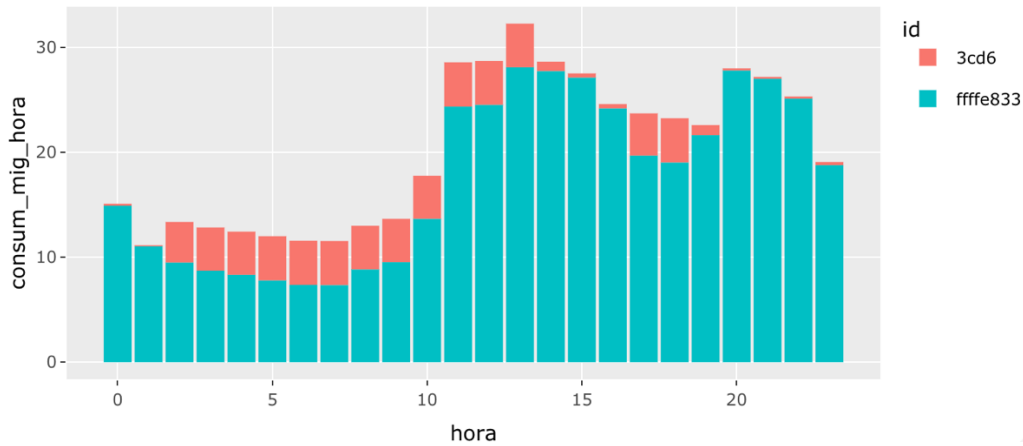


Figura 50: Coordinació de consums d'energia de la depuradora i la cuina sumades en un gràfic de barres del perfil diari.

- Il·luminació LED

La il·luminació LED són bombetes de baix consum. Ajudarien a reduir el consum però poc, ja que totes les ampliacions s'hi han instal·lat aquestes bombetes.

- Instal·lar un recuperador de calor

Un recuperador de calor funcionen mitjançant un ventilador extractor que atrau aire cap a l'interior i un ventilador d'impulsió que expulsa l'aire a l'exterior. L'aire extret de l'interior del local passa per dins l'intercanviador de calor i es creua sense mesclar-se amb l'aire impulsat a l'exterior. I així es produeix l'intercanvi de calor on l'aire més calent cedeix calor a l'aire més fred-

A l'hivern en els mesos de fred ens podria estalviar calefaccions de gas, o bé provinents de combustibles fòssils, o bé elèctriques amb un recuperador de calor. I a l'estiu o en mesos de calor ens s'estalviaria electricitat amb aires a condicionats.

- Agrovoltatge

L'agrovoltatge és un concepte que comprèn el cultiu d'arbres fruiters juntament amb una instal·lació fotovoltaica a la mateixa parcel·la del sòl. Als annexos s'inclou un apartat amb l'explicació de "L'agrovoltatge"

7 RESUM DEL PRESSUPOST

Considerant el cost del material i el cost de la mà d'obra per executar les tasques necessàries per elaborar l'estudi energètic de l'explotació agroturística, obtenim el següent resum del pressupost.

Element i descripció	Import (€)
Cost material	124,96 €
Cost de mà d'obra	
Cost de recerca i desenvolupament	5.325,00 €
Cost d'elaboració de la documentació	2.500,00 €
	SUBTOTAL COST DEL PROJECTE: 7.949,96 €
	21% IVA: 1.669,49 €
	TOTAL COST DEL PROJECTE 9.619,45 €

En total el cost del projecte és de NOU MIL SIS-CENTS DINOUS EUROS AMB QUARANTA-CINC CÈNTIMS.

SIGNATURA:

FERRAN FRIGOLA COLL

5 de Juny de 2022



8 CONCLUSIONS

Aleshores, recopilant l'objectiu principal que era: elaborar una anàlisi energètica de l'explotació pel monitoratge, planificació i optimització dels consums i de la generació elèctrica. A través de diferents subobjectius: la instal·lació de mesurador de corrent en diferents quadres elèctrics, obtenir les dades, tractar-les i analitzar-les i, en últim lloc, fer unes propostes de millora. Finalment, se'n poden extreure les següents conclusions:

En primer lloc, s'ha millorat la programació d'un codi pel microcontrolador ESP32 del departament d'enginyeria elèctrica, electrònica industrial i automàtica que serveix per mesurar el corrent elèctric. Les millores han estat un canvi de llenguatge per un que permeti executar tasques a la vegada, facilitat en la definició de les variables i paràmetres, actualització del senyal del wifi cada 20 segons i actualització de connexió a la plataforma d'Amazon Web Services cada 30 segons. També s'ha inclòs les llibreries modificades. Finalment, s'ha aconseguit rebre la primera mesura correctament i que cada 12 segons llegeixi el corrent i al cap de 5 lectures enviï la mitjana, és a dir, s'obté una lectura mitjana de cada minut. Un cop programats, es van muntar i instal·lar.

A continuació, gràcies a la implementació dels mesuradors de corrent s'han assolit resultats de diferents punts de despesa d'energia. S'han mesurat elements per dues raons: perquè tenen un consum molt elevat o bé perquè el seu consum és controlable. El tractament de dades s'ha dut a terme a través del llenguatge de programació R. S'han extret diferents resultats. La refredadora consumeix molt i no segueix cap patró de funcionament, s'ha observat que està sobrepassada, no té prou capacitat per tota la instal·lació. Els congeladors segueixen un patró cíclic de 6 hores pel que fa al seu funcionament, tenen pics de potència, però no són gaire elevats en comparació a l'energia consumida. La depuradora està sectoritzada per funcionar durant unes hores en concret, té un consum elevat i va bé que aquest consum es faci de nit quan l'energia és més econòmica, però, tot i això, es podria acabar d'ajustar. El grup d'aigua no segueix cap cicle de consum i és difícil controlar-lo, té un consum mitjà en comparació amb els altres elements. La cuina és l'element amb més consum, segueix un perfil diari molt definit i seria necessari abastir el seu consum amb generació solar per tal d'estalviar econòmicament. Per acabar, l'inversor ens ha ensenyat el rendiment de les plaques el mes d'abril mesurat amb un 74%.

Les propostes de millora han estat tres. En primer lloc, l'ampliació de la instal·lació fotovoltaica. Des de l'1 de setembre de 2021, que la instal·lació solar va estar llesta, fins a 31 d'abril de 2022 s'han estalviat gairebé 8000 € i s'han generat 29296 kWh. Després de fer diferents simulacions d'ampliacions de menys a més kilowatts màxims de potència, s'ha extret la conclusió que la instal·lació òptima per preu, amortització i estalvi, és de 130 kWpic de potència. Encara que per instal·lacions més grans de generació solar hi hauria més estalvi. Però com que la corba kWpic enfront de l'estalvi anual segueix una llei logarítmica, s'estableix a un estalvi fix per kilowatts pic de potència molt grans. La instal·lació de 130kWpic de potència aportaria un estalvi anual de 20.841,00 €, que en termes d'energia són 100 MWh a l'any. Tindria una inversió de 70789,84 € que

s'amortitzaria amb 8 anys. Perquè aquestes grans instal·lacions de plaques solars fossin viables, s'hi haurien d'afegir bateries per tal de no malgastar l'energia.

En segon lloc, la instal·lació de bateries. En la instal·lació que s'ha determinat com a millor opció, les bateries al llarg de l'any emmagatzemarien 34,4 MWh que suposarien un estalvi 8.611,19 € que s'amortitzaria amb dos anys amb una bateria de 15 kWh. És important tenir aquesta proposta en compte perquè actualment no es pot injectar energia a la xarxa per tal de vendre-la. Així es podria autoconsumir i no es malgastaria. Pel que fa a possibles instal·lacions més grans. Pel que fa a possibles instal·lacions més grans, les bateries serien fàcilment amortitzables perquè tota l'energia malgastada, podria ser aprofitada en hores no solars. Quan és gran sigui la instal·lació i disposi de més bateries, més s'estalviarà en costos.

En tercer lloc, l'actuació sobre els refrigerats. S'ha observat que la refrigeradora es veu sobrepassada, ja que el seu consum no és gens estable i es passa més temps en funcionament que parada. En cas que funcionés bé, seria possible sectoritzar-la i fer que refredés més en hores vall per tal que durant les hores pic es pogués tenir un consum o refredament més estable. En els congeladors s'ha optimitzat el seu consum i s'ha pogut reduir fins a un 25% el seu consum d'energia estudiant el seu funcionament. S'ha aconseguit un estalvi de 8 kWh al dia. Anualment representa 3.379,90 € en el conjunt de tots els congeladors.

En últim lloc, les propostes de futur. Seria important en un futur fer un estudi més extens de com coordinar el consum, perquè ens pot generar un estalvi en pics de potència. També canviar la il·luminació o bé afegir un recuperador de calor a la instal·lació pot ajudar a reduir costos.

Per concloure, s'han d'aprofitar totes les oportunitats que es tinguin per generar energia renovable, encara que sigui en excés per emmagatzemar-la o bé vendre-la, i així no consumir recursos fòssils que provoquen el canvi climàtic. També és vital tenir un estudi de l'energia consumida perquè amb els preus actuals pot fer que l'empresa no sigui econòmicament viable.

Personalment, valoro molt positivament l'experiència. He pogut aprendre dos llenguatges diferents de codi, he après nocions bàsiques sobre alguns dels serveis d'Amazon Web Services i també he après a tractar i a filtrar dades. A part de formar-me i aprendre sobre l'enginyeria de l'energia, també ho he fet sobre el tractament dels consums per tal de reduir-ne el cost, i sobretot sobre l'energia solar. D'altra banda, he pogut aprofundir-me a l'empresa familiar per tal d'ajudar, aportar el meu granet de sorra per tal de ser més viables econòmicament i conèixer dades que es desconeixien.

SIGNATURA:

FERRAN FRIGOLA COLL
5 de Juny de 2022

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ferran Frigola Coll', with a long horizontal stroke extending to the right.

9 RELACIÓ DE DOCUMENTS

El present projecte compren els següents documents:

Document n1: Memòria i annexos

Document n2: Pressupost

Document n3: Codi de programació del microcontrolador

Es pot trobar a l'enllaç de *github*: <https://github.com/ffrigola/esp32>

O bé al drive fins al 01/07/2024:

https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1W25l93VXMKJNse5KR8_tf6V6-wmrVYTg

Document n4: Codi de tractament i filtratge de dades

Es pot trobar a l'enllaç de *github*: https://github.com/ffrigola/Rstudio_dades.git

O bé al drive fins al 01/07/2024:

<https://drive.google.com/drive/folders/18ZQGwzzQSnvm0ZRp-IKRSUpU4OZSwSb1?usp=sharing>

10 REFERÈNCIES

- [1] MANUAL DE USUARIO. Controlador de temperatura y expansión electrónica para cámara frigorífica. AKO 16526. 351652601 Ed. 01
- [2] MANUAL TÉCNICO. Controlador de temperatura y expansión electrónica para cámara frigorífica. AKO 16526. 352492221 Ed. 01
- [3] MANUAL DE INSTALACIÓN, USO Y MANTENIMIENTO. Versiones solo frío, bomba de calor y free cooling. 40kW-360kW. Galleti Air Conditioning. RG66010690_rev.02. Marca: GALLETI LCX.
- [4] Pràctica del microcontrolador ESP32 del departament d'enginyeria elèctrica, electrònica industrial i automàtica.
- [5] «Installing ESP32 in Arduino IDE (Windows, Mac OS X, Linux) | Random Nerd Tutorials»,v <https://randomnerdtutorials.com/installing-the-esp32-board-in-arduino-ide-windows-instructions/>.
- [6] html.alldatasheet.com. «ESP32-WROOM-32D Datasheet(9/27 Pages) ESPRESSIF | 32-Bit MCU & 2.4 GHz Wi-Fi & BT/BLE SoCs». <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1148027/ESPRESSIF/ESP32-WROOM-32D/5222/9/ESP32-WROOM-32D.html>.
- [7] «inici – Som Energia».. <https://www.somenergia.coop/>.
- [8] Sun'Agri. «Accueil». <https://sunagri.fr/accueil/>.
- [9] EnergiGreen. «Tarifa 3.0TD». <https://www.energigreen.com/tarifas-electricidad/tarifa-3-0td/>.
- [10] Savjee.be. «Home Energy Monitor: V2». <https://savjee.be/2020/02/home-energy-monitor-v2/>.

[11] Luis Llamas. «¿Qué es MQTT? Su importancia como protocolo IoT». <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>.

[12] mcanigueral. *mcanigueral/el-meu-consum*. R, 2022. <https://github.com/mcanigueral/el-meu-consum>.

[13] «LCX | Galletti». http://www.galletti.com/es/chiller_y_bombas_de_calor_862/disipacion-en-aire/lcx.

[14] BricoGeek.com. «Cómo programar Arduino, ESP8266 y ESP32 con PlatformIO | BricoGeek.com». Blog BricoGeek.com. <https://blog.bricogeek.com/noticias/programacion/como-programar-arduino-esp8266-y-esp32-con-platformio/>.

[15] *Data analysis using data.table*. <https://cran.r-project.org/web/packages/data.table/vignettes/datatable-intro.html>.

[16] Amazon Web Services, Inc. «Diseñar una base de datos para una aplicación móvil con Amazon DynamoDB». <https://aws.amazon.com/es/getting-started/hands-on/design-a-database-for-a-mobile-app-with-dynamodb/>.

[17] Máxima Formación. «¿Necesitas ayuda con R? Aquí lo tienes todo y más». <https://www.maximaformacion.es/blog-dat/necesitas-ayuda-con-r-aqui-lo-tienes-todo-y-mas/>.

[18] «Supported data types and naming rules in Amazon DynamoDB - Amazon DynamoDB»..

[19] «ICGC - Vissir3». <http://srv.icgc.cat/vissir/index.html?zoom=6¢erRnd=true>.

[20] «Espressif 32 — PlatformIO latest documentation». <https://docs.platformio.org/en/latest/platforms/espressif32.html>.

[21] FreeRTOS. «IoT Libraries». <https://www.freertos.org/iot-libraries.html>.

[22] FreeRTOS. «IoT MQTT Library». <https://www.freertos.org/mqtt/index.html>.

11 ANNEXOS

11.1 “L’agrovoltatge”

El concepte de “l’agrovoltatge” ve del francès de traduir “*agrovoltaïsme*”, que significa la unió entre agricultura i voltatge. És una sistema innovador on s’aprofita l’espai terrestre dues vegades, per una banda hi hauria la producció agrícola al sòl i per altre banda a sobre l’energia solar. La idea de coexistir en un mateix terreny un camp fruiter amb un parc solar ja s’està portant a la pràctica per varies empreses arreu d’Europa, on sempre la prioritat és obtenir la màxima producció per la plantació de l’inferior dels panells solars. En la Figura 51 en veiem uns exemples al sud de França a la zona del Rosselló. A França aquestes produccions venen directament l’energia a la xarxa, no existeix l’autoconsum. Això es degut a que el preu al que compren l’energia és més barat a el que el venen gràcies a les subvencions que dona el govern francès perquè injectin l’energia produïda a la xarxa. En canvi a Espanya, per injectar energia a la xarxa has de tenir llicència de productor d’energia, en cas contrari només pots utilitzar l’energia per l’autoconsum i en cas de tenir-ne sobrant i no tens bateries és energia perduda.



Figura 51: El concepte d’agrovoltatge a la dreta en una vinya i a l’esquerra en un camp de pereres.

Els avantatges teòrics d’una producció agrícola amb panells solars a sobre són els següents:

- Rendiments més elevats
- Productes de més qualitat
- Reducció de pèrdues en cas de males collites
- Reducció del consum de l’aigua
- Reducció de feines agrícoles
- Ingressos addicionals i una agricultura més rendible

És un concepte amb evolució ja que s'estan estudiant els efectes que té posar ombres a sobre les plantes ja que necessiten la llum solar per fer la fotosíntesis i crear el fruit, però també és veritat que un cop fet el fruit la radiació solar pot arribar a cremar el producte i aquest fer-lo baixar de preu en el mercat. Les plaques solars mai podran sobrepassar el 40% de superfície del terreny que ocupen i al estar inclinades la major part del temps, ja que son movibles, encara n'ocupen menys.

S'ha volgut introduir aquest concepte en aquest treball perquè al fer un estudi sobre una explotació agrícola que s'inicia en la generació solar per l'autoconsum, no deixa de ser una altre manera de mirar al futur, i buscar noves maneres de trobar rendibilitat al sòl agrari i a la vegada produir energia verda que es podria injectar a la xarxa i contribuir a frenar el canvi climàtic.