



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática

Sistema de gestión de recursos energéticos en edificios
inteligentes mediante controladores predictivos

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Automática e Informática Industrial

AUTOR/A: González Tejera, Jaime Luis

Tutor/a: Sanchis Saez, Javier

Cotutor/a externo: PAJARES FERRANDO, ALBERTO

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

Máster en automática e informática industrial

Curso académico 2021 / 2022

TRABAJO FIN DE MASTER

Sistemas de gestión de recursos
energéticos en edificios inteligentes
mediante controladores predictivos

Autor:

Jaime Luis González Tejera

Tutor:

Javier Sanchís Sáez

Fecha: Septiembre de 2022

Resumen

El compromiso humano con el medio ambiente en el que habita se ve reflejado en la progresiva búsqueda de maneras de obtener energías más limpias y económicas, con la clara intención de calmar el alarmante ritmo de producción de CO₂ que se lleva produciendo desde hace unas cuantas décadas.

Este proceso de búsqueda de energías renovables para el uso doméstico se está convirtiendo en una solución factible para reducir el consumo de combustibles fósiles. Entre estas fuentes de energía renovables, la que mayor efectividad está demostrando en la actualidad se trata de la energía solar fotovoltaica.

La evolución de la tecnología ha sido capaz de plantear un modelo energético, en el cual se pueda obtener de forma individualizada (una vivienda particular) energía solar a través de paneles solares, en vez de solo abastecer la vivienda a través de la red eléctrica. No solo se queda ahí este avance tecnológico, sino que el planteamiento tiene un objetivo mucho más profundo.

El planteamiento de este trabajo consiste en crear un sistema para una vivienda unifamiliar que trabaje con predicciones tanto de energía fotovoltaica, como demanda energética y el precio de la electricidad. De esta forma se pretende controlar el comportamiento de las baterías, siendo estas capaces de alimentar energéticamente la vivienda.

Para demostrar el funcionamiento del algoritmo se ha analizado mensualmente el comportamiento y el consumo energético de la vivienda. Una vez obtenidos todos los resultados mensuales se ha estudiado el rendimiento económico empleando el algoritmo.

Abstract

The human commitment to the environment in which it lives is reflected in the progressive search for ways to obtain cleaner and cheaper energy, with the clear intention of calming the alarming rate of CO₂ production that has been occurring for a few decades. .

This process of searching for renewable energies for domestic use is becoming a feasible solution to reduce the consumption of fossil fuels. Among these renewable energy sources, the one that is currently showing the greatest effectiveness is photovoltaic solar energy.

The evolution of technology has been able to propose an energy model, in which solar energy can be obtained individually (a private home) through solar panels, instead of only supplying the home through the electrical network. Not only does this technological advance stop there, but the approach has a much deeper objective.

The approach of this work is to create a system for a single-family home that works with predictions of both photovoltaic energy, energy demand and the price of electricity. In this way, it is intended to control the behavior of the batteries, being these capable of supplying energy to the house.

To demonstrate the operation of the algorithm, the behavior and energy consumption of the dwelling have been analyzed monthly. Once all the monthly results have been obtained, the economic performance has been studied using the algorithm.

Resum

El compromís humà amb el medi ambient en què habita es veu reflectit en la progressiva recerca de maneres d'obtenir energies més netes i econòmiques, amb la clara intenció de calmar l'alarmant ritme de producció de CO₂ que es produeix des de fa unes quantes dècades .

Aquest procés de cerca d'energies renovables per a ús domèstic s'està convertint en una solució factible per reduir el consum de combustibles fòssils. Entre aquestes fonts d'energia renovables, la que més efectivitat està demostrant actualment es tracta de l'energia solar fotovoltaica.

L'evolució de la tecnologia ha estat capaç de plantejar un model energètic, en el qual es pugui obtenir de forma individualitzada (un habitatge particular) energia solar a través de panells solars, en comptes de proveir només l'habitatge a través de la xarxa elèctrica. No només s'hi queda aquest avenç tecnològic, sinó que el plantejament té un objectiu molt més profund.

El plantejament d'aquest treball consisteix a crear un sistema per a un habitatge unifamiliar que treballi amb prediccions tant d'energia fotovoltaica, com demanda energètica i el preu de l'electricitat. D'aquesta manera es pretén controlar el comportament de les bateries, i aquestes són capaces d'alimentar energèticament l'habitatge.

Per demostrar el funcionament de l'algorisme s'ha analitzat mensualment el comportament i consum energètic de l'habitatge. Un cop obtinguts tots els resultats mensuals s'ha estudiat el rendiment econòmic fent servir l'algorisme.

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS	2
3	ESTADO DEL ARTE	4
3.1	Introducción.....	4
3.2	Problemas energéticos mundiales.....	7
3.3	Sistema eléctrico actual:	8
3.4	Generación.....	9
3.5	Transporte.....	9
3.6	Subestaciones	10
3.7	Distribución.....	10
3.8	Centros de transformación.....	10
3.8.1	Alta, media y baja tensión.....	10
3.8.2	Frecuencia	11
3.8.3	Instalaciones monofásicas y trifásicas	11
3.9	Red Inteligente.....	11
3.10	Generadores Distribuidos Utilizados en Microrredes	14
3.11	Energía eólica.....	14
3.12	Energía solar.....	14
3.13	Energía Solar Fotovoltaica	14
3.14	Normativa	15
4	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER	17
4.1	Introducción.....	17
4.2	Componentes de un sistema fotovoltaico	18
5	DESCRIPCIÓN SOLUCIÓN ADOPTADA.....	20
5.1	Fuente de datos	20
5.1.1	API precio de la luz:.....	21
5.1.2	Demanda y energía fotovoltaica	22

5.2	Diseño del programa para leer precios de la electricidad desde una API	23
5.3	Interfaz de la aplicación Visual Studio	25
5.4	Optimización basada en la minimización del coste de la energía.....	26
5.5	Restricciones	26
5.6	Algoritmo de gestión de energía	28
5.7	Integración de la fuente de datos en el algoritmo	28
6	RESULTADOS.....	30
6.1	6 de septiembre de 2022	30
6.2	8 de septiembre de 2022	36
6.3	Enero.....	41
6.4	Febrero	42
6.5	Marzo.....	43
6.6	Abril	44
6.7	Mayo.....	45
6.8	Junio.....	46
6.9	Julio.....	47
6.10	Agosto.....	48
6.11	Octubre	49
6.12	Noviembre	50
6.13	Diciembre.....	51
6.14	Resultados totales.....	52
7	RENDIMIENTO ECONÓMICO.....	54
7.1	Introducción.....	54
7.2	VAN.....	55
7.3	TIR.....	56
8	DIAGRAMA DE GANTT	58

9	FUTURA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	59
10	CONCLUSIONES	60
11	REFERENCIAS.....	61
12	PRESUPUESTO	62
13	ANEXO.....	63

Índice de Figuras

Ilustración 1: Objetivo del proyecto.....	3
Ilustración 2: Irradiación solar en Europa	4
Ilustración 3: Kilovatio hora potenciales de media por metro cuadrado	5
Ilustración 4: Mapa de radiación solar en España	6
Ilustración 5: Esquema del sistema eléctrico actual	9
Ilustración 6: Centro de transformación	10
Ilustración 7: Red inteligente eléctrica.....	13
Ilustración 8: Diseño de la aplicación	17
Ilustración 9: Representación sinóptica de la estructura de un sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento.....	18
Ilustración 10: API precio de la electricidad.....	21
Ilustración 11: Perfil de energía solar	22
Ilustración 12: Perfil de demanda eléctrica	23
Ilustración 13: Diseño del programa para recoger datos de la API.....	24
Ilustración 14: Interfaz del programa para obtener el precio de la electricidad desde una API	25
Ilustración 15: Diseño del algoritmo	28
Ilustración 16: Diagrama de ambos programas	29
Ilustración 17: Diseño final.....	29
Ilustración 18: Comportamiento eléctrico el 6 de septiembre de 2022	30
Ilustración 19: Gráfica del valor del precio por horas de la electricidad	31
Ilustración 20: Diferencia entre el precio optimizado y sin optimizar	32
Ilustración 21: Predicción del comportamiento eléctrico al inicio del día.....	33
Ilustración 22: Predicción del comportamiento eléctrico a las 8 de la mañana	34
Ilustración 23: Predicción del comportamiento eléctrico a las 12 de la mañana	34
Ilustración 24: Predicción del comportamiento eléctrico a las 8 de la tarde	35
Ilustración 25: Comportamiento eléctrico el 8 de septiembre de 2022	36
Ilustración 26: Gráfica del valor del precio por horas de la electricidad	37
Ilustración 27: Diferencia entre el precio optimizado y sin optimizar	37
Ilustración 28: Predicción del comportamiento eléctrico al inicio del día.....	38
Ilustración 29: Predicción del comportamiento eléctrico a las 8 de la mañana	39
Ilustración 30: Predicción del comportamiento eléctrico a las 12 de la mañana	39
Ilustración 31: Predicción del comportamiento eléctrico a las 8 de la tarde	40
Ilustración 32: Comportamiento eléctrico en enero.....	41
Ilustración 33: Comportamiento eléctrico en febrero	42
Ilustración 34: Comportamiento eléctrico en Marzo	43
Ilustración 35: Comportamiento eléctrico en abril.....	44
Ilustración 36: Comportamiento eléctrico en mayo	45
Ilustración 37: Comportamiento eléctrico en junio	46
Ilustración 38: Comportamiento eléctrico en Julio	47
Ilustración 39: Comportamiento eléctrico en agosto	48
Ilustración 40: Comportamiento eléctrico en octubre	49
Ilustración 41: Comportamiento eléctrico en noviembre.....	50
Ilustración 42: Comportamiento eléctrico en diciembre	51
Ilustración 43: Gráfica dinero	53
Ilustración 44: inversión de placas fotovoltaicas	57

Índice de Tablas

Tabla 1: Radiación solar media anual sobre superficie horizontal (H).....	7
Tabla 2: Resultados obtenidos de la simulación de cada mes	52
Tabla 3: Flujo de cajas anuales.....	54
Tabla 4: VAN.....	56
Tabla 5: Costes Materiales	62
Tabla 6: Costes de mano de obra.....	62
Tabla 7: Costes totales	62

1 Introducción

Este capítulo sirve de guía para una mayor comprensión del presente proyecto. Se trata de una pequeña guía por capítulos.

En el capítulo número 2 se exponen los objetivos que persigue el proyecto. Este capítulo es relevante ya que dará una idea general al lector acerca de la finalidad que se pretende alcanzar.

En el capítulo número 3 trata del estado del arte donde se exponen ciertos temas que ayudan al lector a comprender la situación actual tanto a nivel problemática y la motivación que lleva a la industria a investigar acerca las Smart grids.

En el capítulo 4 que se comenta la descripción del actual proyecto, que entradas se necesitan y una pequeña descripción de la instalación fotovoltaica

En el capítulo 5 se centra en el diseño que se van a llevar a cabo para realizar el proyecto, además de explicar de dónde proceden los datos

En el capítulo 6 trata de los resultados obtenidos una vez ya realizado los dos programas informáticos, el de lectura de precios y el de optimización de los recursos energéticos de la vivienda.

En el capítulo 7 se expondrá el rendimiento económico acerca la inversión de instalar placas solares. Se trata de un capítulo que definirá si el proyecto llevado a cabo tiene un fundamento económico que lo respalde.

El capítulo 8 se trata del diagrama de Gantt. Con este diagrama se pretende visualizar la planificación del proyecto llevada a cabo.

En el capítulo 9 se expondrán futuras líneas de investigación que pueden ser interesantes si se continua con el proyecto

En el capítulo 10 que corresponden a las conclusiones obtenidas del proyecto.

El capítulo 11 son las referencias que se han consultado para el diseño e implementación de ambos software, así como la redacción de la memoria del presente proyecto.

En el capítulo 12 se expone el presupuesto que se ha diseñado para este proyecto en concreto.

En el capítulo 13 se encuentran los anexos, donde se podrá observar los códigos de ambos programas.

2 Objetivos

Si bien es cierto que hasta hace unos años, las energías tradicionales eran un recurso accesible y económico en las viviendas familiares. Sin embargo, en los últimos años se ha visto cómo este modelo se ha ido encareciendo progresivamente hasta el punto de resultar prohibitivo para muchos clientes energéticos, ya sea tanto a nivel doméstico, como industrial. Este encarecimiento del precio de la energía ha conllevado paradas en el pequeño y mediano negocio, ya que no pueden afrontar el pago del encarecimiento de la electricidad.

Ante este escenario mundial en el que nos encontramos, el presente proyecto consiste en optimizar los recursos de una microrred inteligente, diseñada con paneles fotovoltaicos y bancos de baterías mediante el uso de un sistema de gestión de energía.

Por todos estos motivos presentados, el presente proyecto tiene como objetivos:

- Realizar un programa que sea capaz de maximizar el uso de energías limpias y minimizar el consumo de energía de la red eléctrica
- Utilizar predicciones del consumo eléctrico del usuario, así como el comportamiento de las baterías cada 5 minutos.
- Obtención del consumo diario por parte del usuario.
- Hacer saber al usuario la diferencia diaria que existe entre emplear el algoritmo y no usarlo
- Conocer el rendimiento económico.
- Obtener desde una API el precio de la luz diario.

Una vez listado los objetivos planteados para la realización del proyecto, a continuación se va a mostrar una figura en la que se va a comentar el diseño previamente.

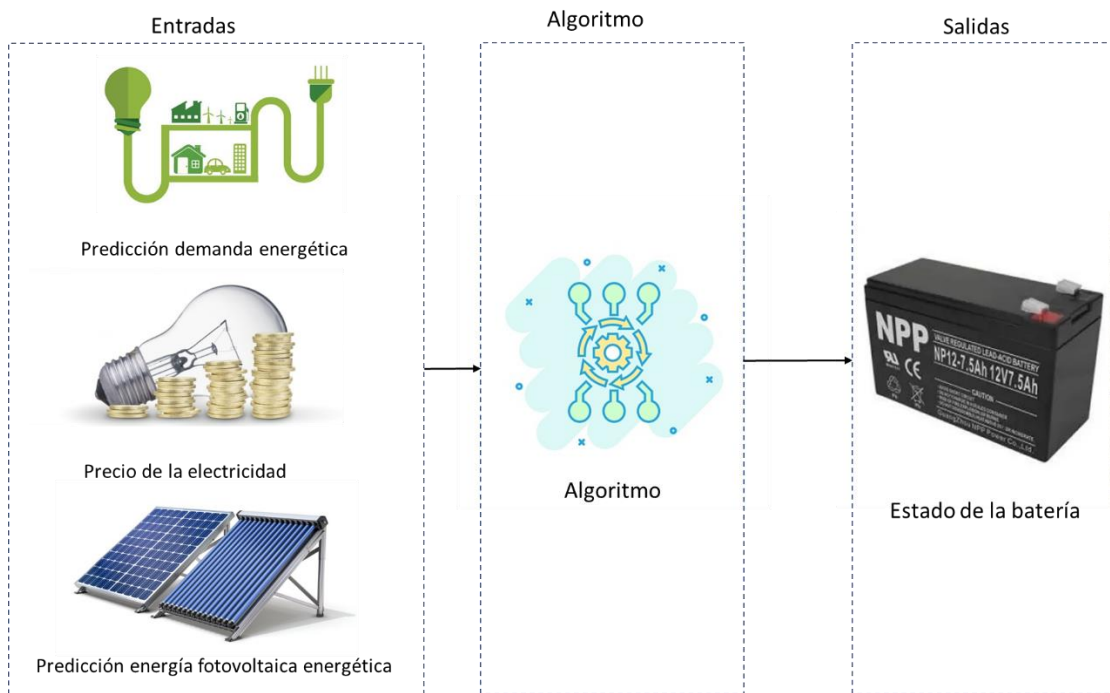


Ilustración 1: Objetivo del proyecto

En la Figura 1 se observa en que va a consistir este proyecto. El algoritmo tiene tres entradas que son las predicciones de la potencia fotovoltaica que podrían generar los paneles a lo largo del día, también se tiene en cuenta las predicciones de la demanda eléctrica de la vivienda unifamiliar. Estas dos entradas han de estar recogido de algún estudio, o alguna fuente que las acredite como validas. En el caso de la última entrada que es el precio de la luz se puede consultar mediante un programa que se conecte a internet para obtener el precio de la luz. En cuanto a la salida del algoritmo se obtiene la predicción del comportamiento de las baterías.

3 Estado del arte

3.1 Introducción

Actualmente el empleo de las energías renovables como método de fuente de energía para soportar la demanda energética de la población mundial, está experimentando un gran crecimiento. Este comportamiento viene dado, en su gran mayoría, por las políticas europeas contra el cambio climático. Para ello, se están realizando estudios acerca el autoconsumo fotovoltaico, el cual desempeñará una función clave en la transición a un sistema energético de bajas emisiones de dióxido de carbono.

La línea de trabajo en el que se encuentra la unión europea, sin lugar a duda favorece a los países de la zona sur de Europa, entre los cuales se encuentra España. El factor geográfico hace de España un lugar idóneo para el desarrollo de tecnologías de autoconsumo, dando como consecuencia un salto tanto a nivel tecnológico como a nivel económico, al reducir la dependencia del consumo de combustibles fósiles.

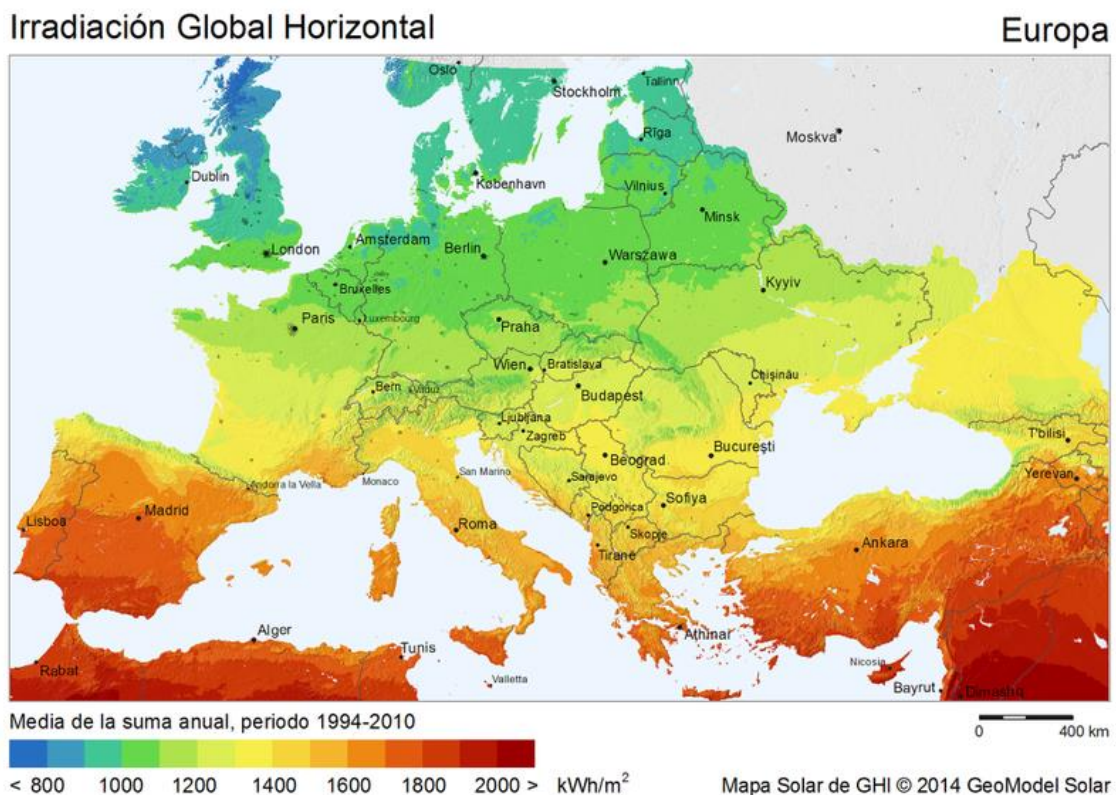


Ilustración 2: Irradiación solar en Europa¹

¹ <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:SolarGIS-Solar-map-Europe-es.png>

El territorio europeo se caracteriza por tener un contraste desmedido en cuanto a potencial de energía solar como se aprecia en la Figura 1. La distancia que separan los países con menor potencial de energía solar es de aproximadamente 850 kilómetros. Entre los países que menor potencial tiene pueden ser Irlanda, Finlandia o Noruega entre otros. Como es previsible, las regiones con mayor potencial para la producción de energía solar pertenecen todas a la zona meridional del continente. Concretamente las regiones de la Unión Europea con mayor irradiación son todas regiones insulares del Mediterráneo (Chipre, Malta, Creta o las islas del Egeo), el Atlántico (Canarias) o de la península ibérica.

La soleada Europa

Kilovatio hora potenciales de media por m²

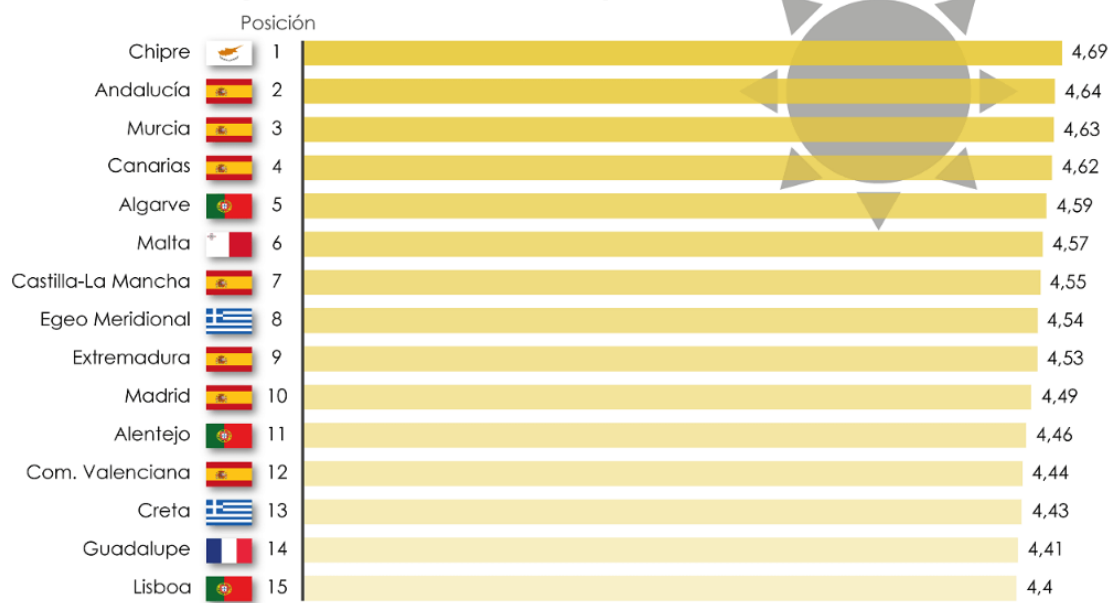


Ilustración 3: Kilovatio hora potenciales de media por metro cuadrado²

Se observa el potencial para la energía solar que tiene España en la Figura 2, al tener siete comunidades autónomas entre las que mayor potencial solar tiene de Europa. Además Portugal, país vecino de España también cuenta con tres regiones entre las de

² <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/regiones-union-europea-potencial-energia-solar/>

mayor potencial solar fotovoltaico, por lo cual,, deja a la península ibérica con un total de diez regiones de las quince regiones con mayor potencial de energía solar de Europa.

Toda esta ventaja geográfica de la que dispone España, no se traduce en encabezar el ranking de mayor productor europeo de energía solar, ya que se encuentra por detrás de Alemania, Italia y Reino Unido, y prácticamente empatando con Francia.

Aun así, cabe destacar que el potencial no significa producción, ya que países como Alemania o Reino Unido han sabido aprovechar su reducido potencial mejor que otros países que parten con mayor ventaja geográfica, por ejemplo, España. Entre los factores que pueden determinar la producción energética solar, se encuentra, entre otros, el precio de la producción de dicha energía.

Mapa de radiación solar en España

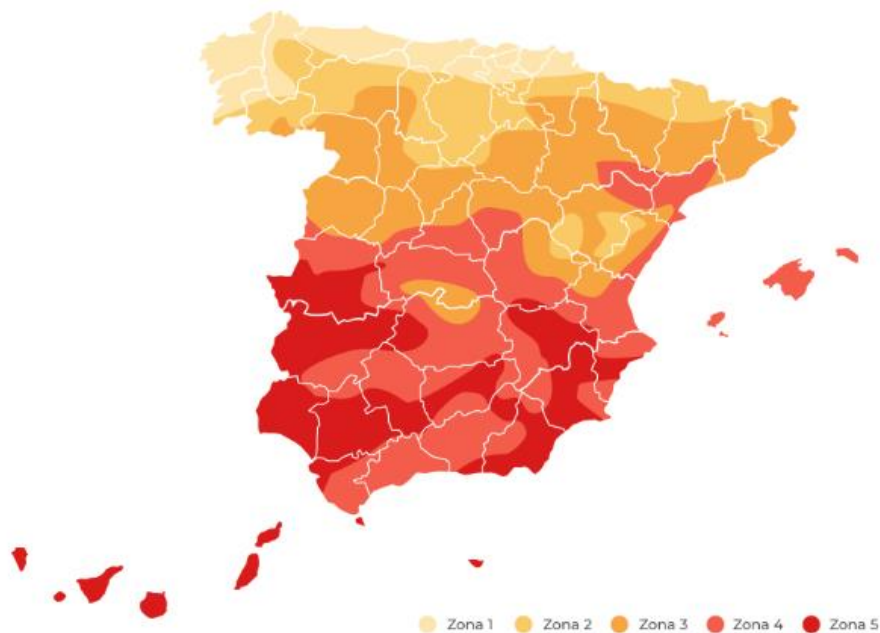


Ilustración 4: Mapa de radiación solar en España³

³ <https://energia.roams.es/energia-renovable/energia-solar/radiacion-solar-espana/>

Debido al auge de las energías renovables en España, el Gobierno nacional, a través del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), lanzó una categorización de las distintas zonas del país, según los niveles de radiación solar que reciban a lo largo del año, como se observa en la Figura 3. Una mapa de la radiación solar que pretende ser una orientación ambiental previa para proyectos de grandes instalaciones, con la vista puesta en un sistema eléctrico 100% renovable en 2050. Este es el mapa ambiental.

Este mapa propone una división en cinco zonas climáticas las cuales se recogen también en el Código Técnico de Edificación. En el siguiente mapa puedes ver claramente las distintas zonas climáticas de España según la radiación solar media diaria anual sobre superficie horizontal expresada en kW por m².

Esta es una división por provincias y regiones basada en los valores de la siguiente tabla:

Radiación solar media anual sobre superficie horizontal (H)	
Zona climática	H
1	Menor de 3,8 kWh/m ²
2	Entre 3,8 y 4,2 kWh/m ²
3	Entre 4,2 y 4,6 kWh/m ²
4	Entre 4,6 y 5 kWh/m ²
5	Mayor de 5 kWh/m ²

Tabla 1: Radiación solar media anual sobre superficie horizontal (H)

Haciendo alusión a los diferentes emplazamientos, se puede apreciar claramente la diferencia existente entre Sevilla, Segovia y Santander, perteneciendo a las zonas V, III, y I, respectivamente.

3.2 Problemas energéticos mundiales

En 2017, la Agencia Internacional de Energía (AIE) declaró 14035 Mtep (millones de toneladas equivalentes de petróleo) de producción mundial de energía, correspondiendo 2652.615 Mtep a la producción mundial de electricidad; que representa el 64% de la producción total de electricidad. Por otro lado, solo el 26% de la producción total proviene de fuentes renovables y el resto de energía nuclear.

Sin embargo, la concienciación debe ser obligatoriamente debido al riesgo ambiental que sufre nuestros ecosistemas y que podría dar lugar a un gran aumento de desastres naturales. De hecho, esto requiere la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) causadas principalmente por la combustión de recursos fósiles (petróleo, gas, carbón). Además, para cubrir el crecimiento de la demanda de energía,

la comunidad mundial ha propuesto varias soluciones. La primera consiste en buscar nuevas fuente de energías alternativas. La segunda fomenta la inversión en energía nuclear, es de hecho una fuente de producción eficiente, pero puede producir efectos nocivos a largo plazo como el causado por el desastre de Fukushima en 2011 que causó efectos ecológicos a largo plazo a través de los desechos radiactivos . En última instancia, la última solución, que es la más razonable, se refiere a la orientación hacia la idea de ahorro de energía y energía limpia. Esta moción va de acuerdo con las recomendaciones de eficiencia y transición energéticas, por lo que el uso de fuentes de energía renovables como la solar, eólica y geotérmica que son muy buena opción para la reducción de los gases responsables del calentamiento global.

3.3 Sistema eléctrico actual:

El sistema de suministro actual se compone de tres categorías fundamentales que son: la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Este conjunto tiene elementos de control, protección y seguridad.

Constituye un sistema integrado que además de disponer de sistemas de control distribuido, está regulado por un sistema de control centralizado que garantiza una explotación racional de los recursos de generación y una calidad de servicio acorde con la demanda de los usuarios, compensando las posibles incidencias y fallas producidas.

Con este objetivo, tanto la red de transporte como las subestaciones asociadas a ella pueden ser propiedad, en todo o en parte y, en todo caso, estar operadas y gestionadas por un ente independiente de las compañías propietarias de las centrales y de las distribuidoras o comercializadoras de electricidad.

Asimismo, el sistema precisa de una organización económica centralizada para planificar la producción y la remuneración a los distintos agentes del mercado si, como ocurre actualmente en muchos casos, existen múltiples empresas participando en las actividades de generación, distribución y comercialización.

En la figura 4, se pueden observar en un diagrama esquematizado las distintas partes componentes del sistema de suministro eléctrico:

Esquema del sistema eléctrico actual, de la generación al consumo.



Ilustración 5: Esquema del sistema eléctrico actual⁴

3.4 Generación

En los sistemas de suministro eléctrico centralizados, la energía eléctrica se genera en las centrales eléctricas. Una central eléctrica es una instalación que utiliza una fuente de energía primaria para hacer girar una turbina que, a su vez, hace girar un alternador, generando así electricidad.

En los sistemas de suministro eléctrico distribuidos, la energía eléctrica se produce (recolecta) tanto en centrales eléctricas como en muchos de los propios nodos consumidores, que son capaces de revertir su excedente energético a la red para abastecer a otros.

El hecho de que la electricidad, a nivel industrial, no pueda ser almacenada y deba consumirse en el momento en que se produce, obliga a disponer de capacidades de producción con potencias elevadas para hacer frente a las puntas de consumo con flexibilidad de funcionamiento para adaptarse a la demanda.

3.5 Transporte

La red de transporte es la encargada de enlazar las centrales con los puntos de utilización de energía eléctrica.

Para un uso racional de la electricidad es necesario que las líneas de transporte estén interconectadas entre sí con estructura de forma mallada, de manera que puedan transportar electricidad entre puntos muy alejados, en cualquier sentido y con las menores pérdidas posibles.

Este transporte puede hacerse con líneas de corriente alterna o corriente continua.

⁴ <https://suelosolar.com/noticias/energia/espana/21-6-2012/como-funciona-beneficia-mercado-electrico-al-oligopolio-espana>

3.6 Subestaciones

Las instalaciones llamadas subestaciones son plantas transformadoras que se encuentran junto a las centrales generadoras y en la periferia de las diversas zonas de consumo, enlazadas entre ellas por la Red de Transporte. En estas últimas se reduce la tensión de la electricidad de la tensión de transporte a la de distribución.

3.7 Distribución

La red de distribución une el transporte con los centros de consumos, y el nivel de tensión al que se conectan los consumidores depende del consumo de potencia. A la red de 400V solamente se pueden conectar consumos de hasta 50 KW y la tarifa está relacionada con el nivel de tensión. La conexión a nivel de distribución en alta tensión (niveles mayores a 1 KV) suele requerir la instalación de un centro de transformación en la instalación receptora. En los niveles más bajos de tensión, la red suele tener forma radial o explotarse radialmente, aunque tenga forma de anillo.

3.8 Centros de transformación



Ilustración 6: Centro de transformación⁵

Los centros de transformación Figura 5, dotados de transformadores o autotransformadores alimentados por las líneas de distribución en Media Tensión, son los encargados de realizar la última transformación, efectuando el paso de las tensiones de distribuciones a la Tensión de utilización

3.8.1 Alta, media y baja tensión

Cuando las redes de transporte se aproximan a grandes de centros de consumo (por ejemplo a las ciudades) se reduce la tensión a valores del orden de 66, 110 o 132 kV mediante subestaciones transformadoras, ubicadas alrededor de estos núcleos. Desde estas subestaciones parten líneas eléctricas que rodean el núcleo urbano y

⁵ https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctrico

que alimentan a su vez a otras subestaciones reductoras. Estas subestaciones reducen las tensiones a valores de media tensión (10, 15, 20, 25 kV), desde donde parten las líneas eléctricas de distribución, que reparten la electricidad en los núcleos urbanos o rurales, y alimentan los centros de transformación. En los centros de transformación se transforma finalmente la electricidad a baja tensión (230, 400 V) para su uso final. Algunos consumidores, típicamente industriales, se conectan directamente en alta o media tensión. Sin embargo, los consumidores domésticos, locales, etc., se conectan en baja tensión. En España, legalmente se considera una instalación de baja tensión cuando su voltaje es inferior a 1.000 voltios en corriente alterna. Por encima de 1.000 voltios, la instalación eléctrica es de alta tensión, y le aplican distintas normas técnicas.

3.8.2 Frecuencia

Los sistemas eléctricos utilizan mayoritariamente la corriente alterna y funcionan históricamente con dos frecuencias distintas en el mundo, según países: así predomina la frecuencia de 50 Hz en Europa y la frecuencia de 60 Hz en Estados Unidos y países de influencia. Esto dificulta en algunos casos el intercambio transfronterizo de electricidad, como sucede por ejemplo en América del Sur, donde algunos países funcionan con frecuencia 50 Hz (Bolivia, Argentina) mientras sus vecinos lo hacen a 60 Hz (Perú, Brasil). También es una complicación para el uso de muchos aparatos eléctricos fabricados para una u otra frecuencia.

3.8.3 Instalaciones monofásicas y trifásicas

Los sistemas eléctricos se clasifican también según el número de conductores que se utilizan para transportar la electricidad. En corriente alterna, se distingue habitualmente entre instalaciones monofásicas y trifásicas:

- Instalaciones monofásicas: utilizan dos conductores activos para transportar la electricidad, denominados conductores de fase y de neutro. Se emplean cuando la potencia de la instalación eléctrica no es muy elevada, típicamente en viviendas, generalmente inferior a 15 kW (kilovatios).
- Instalaciones trifásicas: utilizan cuatro conductores activos, tres de fase y uno de neutro. La ventaja principal de un sistema trifásico frente a uno monofásico es que se puede transmitir más potencia eléctrica con menores pérdidas, y empleando menor sección de cobre en los conductores eléctricos. Además, en la generación de electricidad se utilizan alternadores trifásicos, por lo que la producción eléctrica trifásica es más sencilla. Y entre las aplicaciones más habituales de la energía eléctrica se encuentran los motores eléctricos, que también son más fáciles de construir y más eficaces energéticamente si son trifásicos.

3.9 Red Inteligente

Las micro redes son pequeñas redes, o circuitos capaces de generar energía y que, además, también pueden funcionar de manera autónoma.

Actualmente, se trata de un campo de investigación con un gran potencial de desarrollo y las micro redes están llamadas a jugar un papel importantísimo, por no decir crucial, en un futuro relativamente cercano. No solo sirven para optimizar la generación de energía o llevarla a lugares de difícil acceso, sino que también parten de la idea de ser una pieza importante de un futuro más sostenible.

Como se ha mencionado anteriormente la red eléctrica general conecta nuestros hogares, negocios y otros edificios con las grandes centrales generadoras de energía. Gracias a esa red, la electricidad llega desde donde se produce hasta donde la necesitamos, y al encender nuestros aparatos, estos funcionan.

Las micro redes, también están conectadas a la red eléctrica, como el sistema eléctrico actual, sin embargo, estas pueden llegar a funcionar de forma independiente de la red general. Esto conlleva muchas ventajas, una de ellas puede ser que en el caso de que exista un corte en el servicio o una avería de cualquier tipo, la micro red puede seguir funcionando con normalidad, sin depender de la red eléctrica.

Las micro redes se conectan a la red general por un punto que mantiene el voltaje al mismo nivel. Pero si detecta problemas, se puede desconectar y no verse afectada.

Todo depende también de cuál es la forma en la que se alimentan las micro redes. Estas pueden recibir energía de paneles solares, baterías o generadores distribuidos. Dependiendo de cómo se gestione, una micro red puede funcionar de manera indefinida y limpia, por ejemplo, si se alimenta con renovables.

El auge de las micro redes está principalmente fomentador por pasar de una producción de energía masiva en unos pocos puntos clave (como centrales nucleares, hidroeléctricas, etc.) a una electricidad más distribuida y cercana.

Estas micro redes generan, distribuyen y regulan la energía a nivel local, normalmente, con un potencial de generación de menos de 50 MW (aunque lo cierto es que no hay una definición unificada de micro red).

Otra tendencia básica de las micro redes es que sean inteligentes, o *smart*. Igual que muchos aparatos de nuestra casa empiezan a serlo, y funcionan de manera autónoma y óptima (programando la calefacción o encendiendo las luces cuando es necesario sin nuestra intervención), la generación de energía también está aprovechando esta tecnología.

De esta manera, las micro redes se vuelven inteligentes mediante diversas tecnologías. Además, gracias a una interconexión constante, pueden analizar en todo momento los requerimientos de energía. Esto permite, por ejemplo, adecuar exactamente la oferta a la demanda, con una generación y administración optimizada, sin desperdicio.

Como vemos, las micro redes están suponiendo un gran avance en cuanto a generación limpia y efectiva de energía. Con el tiempo, están llamadas a ser una pieza importante del puzzle energético y cambiar el contexto tal y como lo conocemos ahora.

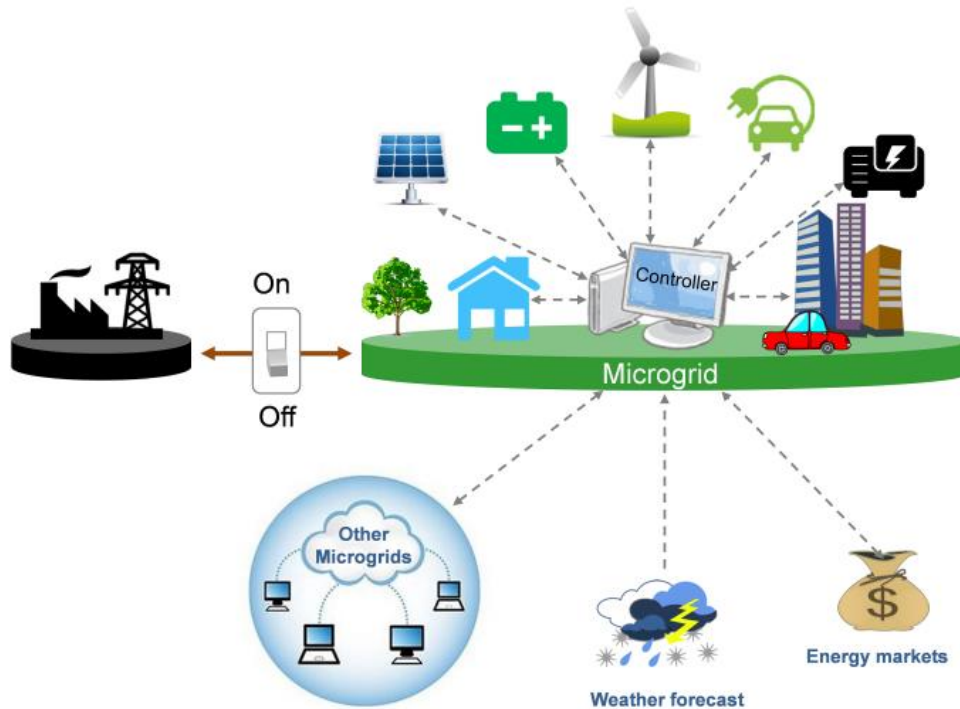


Ilustración 7: Red inteligente eléctrica⁶

Algunas ventajas de las micro redes son:

- Seguir funcionando cuando la red principal no lo hace
- Permitir la generación de energía en caso de desastre, de manera que hospitales o servicios de emergencia puedan seguir operando.
- Reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático, además de reducir las emisiones contaminantes directas
- Producir energía eficiente y a bajo coste
- Producir esa energía con una capacidad de respuesta dinámica que no tenía precedente hasta ahora
- Mejorar el funcionamiento y la estabilidad de la red eléctrica general. La generación y distribución de energía es más segura, robusta y optimizada
- Aumentar la resiliencia local. Esto significa que las comunidades locales conectadas a micro redes tienen un mayor servicio eléctrico, además de que

⁶ <https://nsci.ca/2019/11/08/microgrids-what-are-they-and-how-do-they-work/>

otras zonas, donde es muy difícil llevar la energía o la red general con calidad, pueden tener acceso a electricidad con una micro red.

3.10 Generadores Distribuidos Utilizados en Microrredes

En una microrred se pueden explotar diferentes fuentes de energía, se requieren dos condiciones para mejorar su aprovechamiento, la primera es la posibilidad de absorber la potencia demandada con un fácil mantenimiento del generador, la segunda es asegurar la confiabilidad económica frente a una fuente convencional utilizada o la conexión a la red principal.

3.11 Energía eólica

La primera fuente posible es la energía eólica. Limpia y renovable, está disponible en cantidades abundantes en todo el planeta. En los últimos años, la energía eólica se ha convertido en la principal fuente de electricidad procedente de fuentes renovables, excluida la hidráulica, con más de 593 TW·h producidos en todo el mundo en 2019. La transformación de esta energía en electricidad se realiza mediante aerogeneradores, que pueden cubrir un amplio rango de potencia en función de las necesidades y del tipo de generación elegido. Por ejemplo, los aerogeneradores marinos pueden tener varias decenas de metros de altura para generar varios MW [48], otros tipos de menor altura que no superan las decenas de metros se adaptan para uso doméstico, ubicados cerca de los lugares de suministro con el fin de crear cientos a miles de vatios.

3.12 Energía solar

La energía solar es la energía servida por la irradiación del sol, directa o difusamente a través de la atmósfera, considerada como una de las soluciones a los problemas de agotamiento de los combustibles fósiles en el planeta. El sol envía a la superficie terrestre una irradiación que cada año representa unas 8400 veces el consumo energético de la humanidad. Esto corresponde a una potencia recibida instantánea de 1 kilovatio pico por metro cuadrado (kWp/m²) distribuida en todo el espectro desde UV hasta IR. Los desiertos de nuestro planeta reciben en 6 horas más energía del sol que la que la humanidad consume en un año. La fuente solar está en el origen de tres tipos de energía: la energía solar fotovoltaica, la energía solar térmica y la energía solar termodinámica .

3.13 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se deriva de la conversión de la luz solar en electricidad dentro de materiales semiconductores como el silicio, que están recubiertos con una fina capa de metal. Estos materiales fotosensibles tienen la propiedad de liberar sus electrones bajo la influencia de la energía externa, la energía es entregada por los fotones, que es un componente fundamental de la luz que golpea a los electrones y los

libera, como resultado se crea una corriente eléctrica, luego esta electricidad producida está disponible en forma directa o almacenada en baterías (energía eléctrica descentralizada) o en electricidad inyectada a la red, todo ello en función del tipo de diseño y al que se destine la instalación. El generador solar fotovoltaico está formado por módulos fotovoltaicos compuestos a su vez por células fotovoltaicas conectadas entre sí. El rendimiento de un sistema fotovoltaico depende de la orientación de los paneles solares y de las zonas de insolación en las que se encuentran

3.14 Normativa

A continuación se expondrán algunas normativas que están relacionadas con el empleo de fuentes de energía renovables, producción de energía, tanto a nivel legislación Europea como Nacional.

- Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.
- Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.
- Real Decreto 1544/2011, de 31 de octubre, por el que se establecen los peajes de acceso a las redes de transporte y distribución que deben satisfacer los productores de energía eléctrica.

- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación.
- Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.
- Real Decreto-ley 1/2019, de 11 de enero, de medidas urgentes para adecuar las competencias de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia a las exigencias derivadas del derecho comunitario con relación a las Directivas 2009/72/CE y 2009/73/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de julio de 2009, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y del gas natural.
- Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.
- Real Decreto 960/2020, de 3 de noviembre, por el que se regula el régimen económico de energías renovables para instalaciones de producción de energía eléctrica.

4 Descripción del problema a resolver

4.1 Introducción

Como se ha especificado anteriormente, el presente proyecto se enmarca en la necesidad de buscar alternativas a las costosas y contaminantes fuentes de energía tradicionales. Para su constitución, hemos centrado el estudio en el consumo energético realizado en una vivienda típica unifamiliar en la que, a diferencia de las fincas urbanas y como su nombre indica, habita una sola familia. Esto nos ha permitido obtener de forma sencilla un conocimiento detallado del consumo energético realizado.

En estas viviendas unifamiliares se han instalado placas o paneles solares que, en función del rendimiento que se quiera obtener y el perfil de consumo familiar podrán oscilar en número. La instalación dispone de placas solares y de baterías que permiten almacenar la energía obtenida, así como gestionar su disponibilidad a lo largo del día. Es importante tener en cuenta que, para un mayor aprovechamiento energético, las placas solares deberán estar instaladas en la zona de mayor incidencia solar, normalmente en la parte alta de tejados o azoteas.

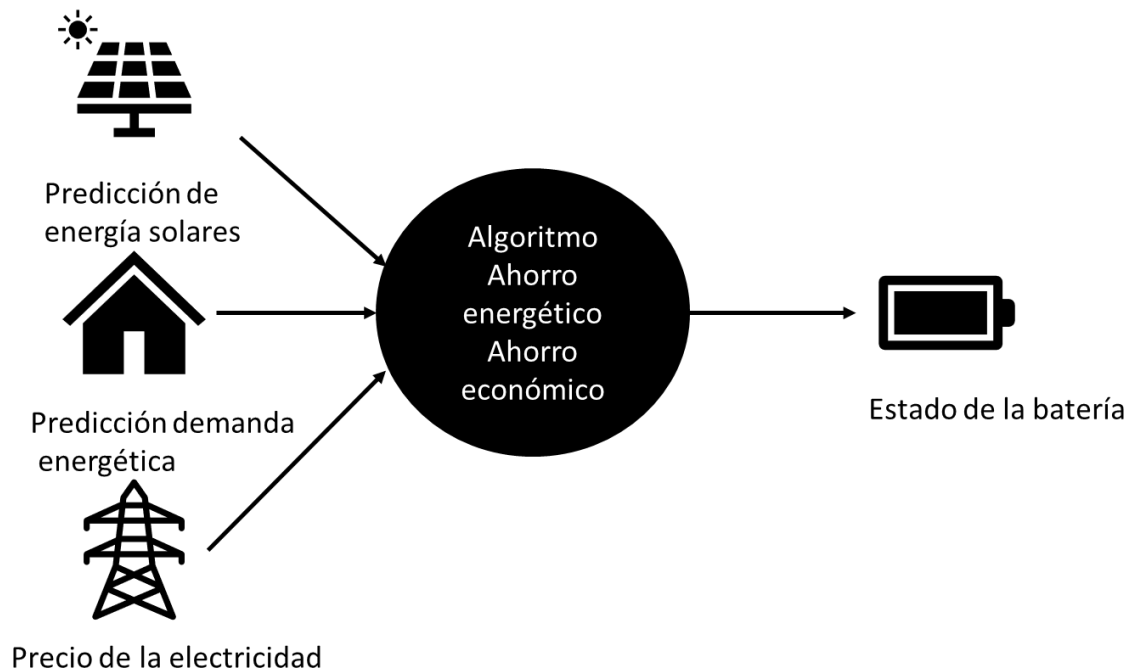


Ilustración 8: Diseño de la aplicación

Mediante el uso del algoritmo se conseguirá gestionar el estado de la batería para optimizar los recursos energéticos. Además debe de dar información acerca del consumo diario de la vivienda unifamiliar, y notificar acerca de la diferencia monetaria que existirá entre emplear este sistema de optimización y no emplearlo.

Se pretende demostrar como el empleo del algoritmo consigue ahorrar a nivel económico como a nivel energético. Al emplear el algoritmo se busca el empleo de una menor cantidad de combustibles fósiles, ayudando de esta manera a reducir problemas derivados del empleo de estos combustibles.

4.2 Componentes de un sistema fotovoltaico

Los componentes de un sistema fotovoltaico dependen del tipo de aplicación, ya sea aislado o conectado a la red eléctrica. Para una instalación independiente, los componentes principales para garantizar una configuración confiable son:

- Paneles fotovoltaicos
- Convertidor DC/DC para operación MPPT
- Controlador de carga
- Sistema de almacenamiento
- Un inversor para alimentar una posible carga de CA

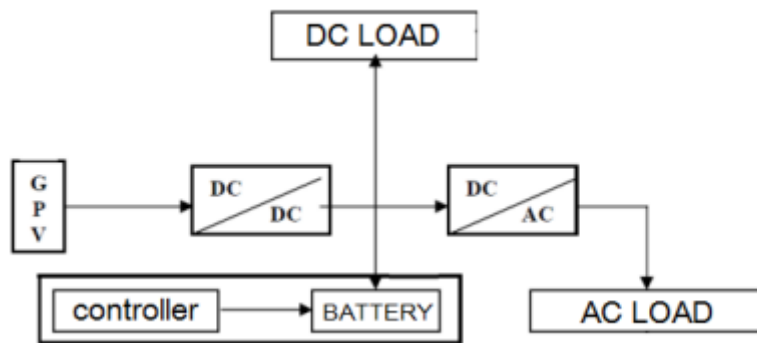


Ilustración 9: Representación sinóptica de la estructura de un sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento

Para una instalación conectada a la red principal, los componentes del sistema son:

- Paneles fotovoltaicos
- Convertidor DC/DC para operación MPPT
- Controlador de carga
- Unidad de conmutación y protección para fuente de alimentación DC
- Sincronizador
- Convertidor CC/CA
- Unidad de conmutación y protección para fuente de alimentación de CA

La necesidad del sistema de almacenamiento depende del tipo de inyección a la red principal, si se trata de una inyección de toda la producción de energía, no es necesario utilizar baterías de almacenamiento, en cambio, si se trata de una inyección de

excedentes de energía, parte de ella se almacenará para uso doméstico y el resto se inyectará a la red pública.

Para la instalación de las placas solares se dispone de una potencia de 380 W. Este dato se verifica en el datasheet de paneles solares que se encuentra en los anexos

Para la batería se dispondrá de una capacidad de 180 mA y una potencia nominal de 4,75 KWH. Estos datos se verifican comprobando la ficha técnica que se encuentra en los anexos.

5 Descripción solución adoptada

5.1 Fuente de datos

Para la elaboración del programa desarrollado ha sido necesario consultar los datos de la demanda de electricidad típica en una vivienda unifamiliar, así como la producción de energía fotovoltaica. Asimismo, para acceder a la recopilación de los diferentes precios de la electricidad, haremos uso de una API pública que nos permite acceder al precio de la luz diario en función de las diferentes franjas horarias.

Esta API (Figura 10), clave para el desarrollo del presente proyecto, pone a la disposición de los usuarios la información de interés, suministrada por la Red Eléctrica de España. La aplicación ya ha sido creada con el fin de poder integrar en los sistemas de domótica y hogares inteligentes los datos suministrados. De esta forma, mediante el uso y la gestión adecuada de los mismos es posible optimizar el consumo energético de los electrodomésticos. Además, poder conocer los precios del consumo energético en cada franja horaria, permite adaptar el funcionamiento de los electrodomésticos a las horas más económicas de forma automatizada.

Es posible el acceso a estos datos nos permita conocer el precio de la electricidad en cualquier momento del día, para poder aprovecharlos eficazmente necesitaremos hacer uso de alguna herramienta capaz de obtenerlos y guardarlos en algún soporte. Esto nos permitirá recuperarlos e integrarlos en un algoritmo que nos permitirá usar la información para el sistema de gestión de energía.

5.1.1 API precio de la luz:

Api pública preciodelaluz.org

Esta api está desarrollada para simplificar la obtención de los precios diarios relativos a la tarifa regulada PVPC (Precio voluntario para el pequeño consumidor) del mercado eléctrico español.

Mediante el uso de la api, puedes integrar estos datos en tus sistemas domóticos o aplicaciones para gestionar mejor el consumo energético de tus electrodomésticos y adaptarlo a las horas más económicas de forma automatizada.

Endpoints v1

GET /v1/prices/all?zone=PCB Obtiene la serie de precios completa		Test
GET /v1/prices/avg?zone=PCB Obtiene el precio medio de la serie		Test
GET /v1/prices/max?zone=PCB Obtiene el precio más alto de la serie		Test
GET /v1/prices/min?zone=PCB Obtiene el precio más bajo de la serie		Test
GET /v1/prices/now?zone=PCB Obtiene el precio en el momento de la consulta		Test
GET /v1/prices/cheapests?zone=PCB&n=2 Obtiene los n precios más económicos de la serie		Test

Info

Es necesario pasar un valor de zona mediante el parámetro **?zone=** Con este valor obtendremos los precios relativos a la zona deseada, **PCB**(Península, Canarias, Baleares) ó **CYM**(Ceuta y Melilla)

No es necesario token de autenticación, la api está abierta.

Los datos se devuelven en formato **JSON**.

Existe un ratio máximo de 20 peticiones/minuto. Superado este ratio, deberá esperar el transcurso de 1 minuto para poder realizar peticiones de nuevo.

Aviso

Los datos proporcionados son propiedad de [Red eléctrica de España](#). [preciodelaluz.org](#), no se hace responsable de la inexactitud de los mismos tras obtenerlos de la fuente o debido a su posterior tratamiento.

Ilustración 10: API precio de la electricidad.⁷

Esta API tiene mucha utilidad, ya que de ella se pueden sacar varios datos como pueden ser:

- La fecha en la que se realiza la consulta
- El mercado
- El precio
- Las unidades
- Hora barata
- Precio por debajo de la media
- La hora

Además la API también da la opción de recopilar datos característicos como por ejemplo:

- Obtiene la serie de precios completa
- Obtiene el precio medio de la serie
- Obtiene el precio más alto de la serie
- Obtiene el precio más bajo de la serie
- Obtiene el precio en el momento actual de la consulta
- Obtiene los n precios más económicos de la serie

⁷ <https://api.preciodelaluz.org/>

5.1.2 Demanda y energía fotovoltaica

En el caso de la producción de la demanda estimada de una vivienda unifamiliar y de la energía fotovoltaica no se obtendrán de ninguna aplicación, se obtendrán a partir de un estudio realizado durante un periodo de un año, en el que se monitoriza el consumo y la generación de energía fotovoltaica cada 15 minutos de una vivienda unifamiliar[7].

El estudio esta realizado por el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos). Esta institución consiste en una asociación mundial de ingenieros con el objetivo de perseguir la normalización y el desarrollo en áreas técnicas.

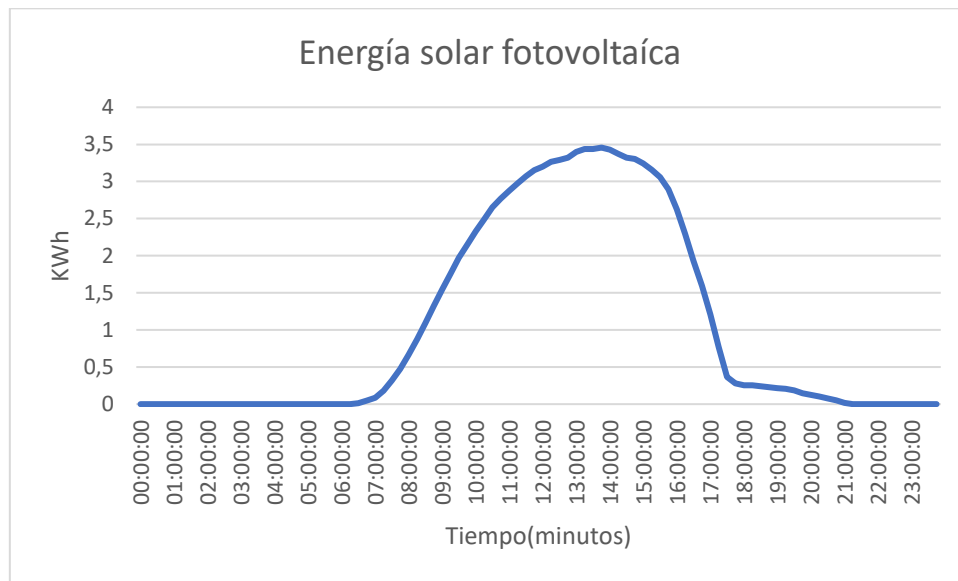


Ilustración 11: Perfil de energía solar

La figura corresponde a un perfil de energía fotovoltaica recogido del estudio realizado por IEEE el 11 de julio de 2019. Se observa cómo hasta que amanece no se genera el energía solar, debido a que aún el sol no ha salido. A media tarde se observa que es el punto donde más energía solar se produce, coincidiendo con la mayor temperatura del día y mayor irradiación solar. Con el atardecer disminuye la energía solar producida.

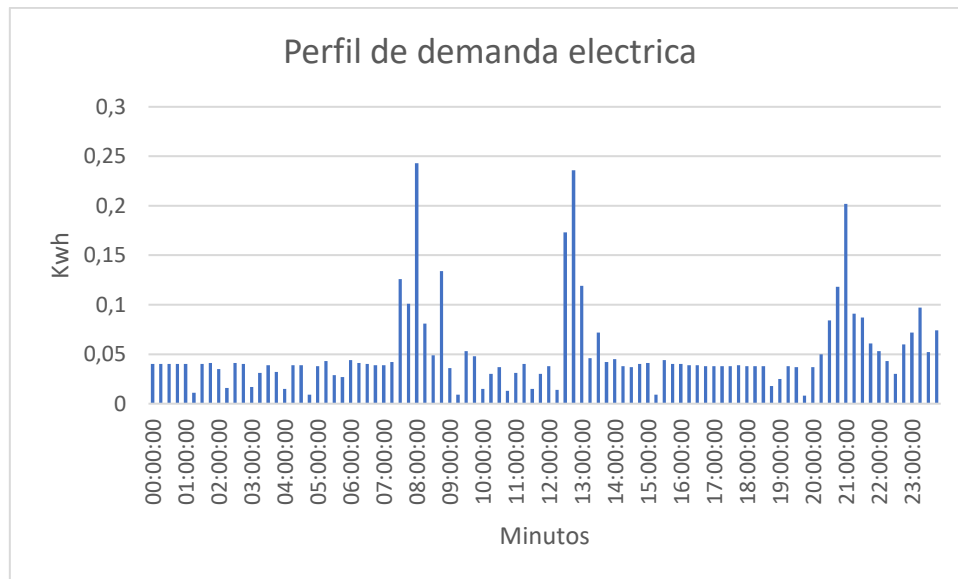


Ilustración 12: Perfil de demanda eléctrica

Ya que el día que se escogió de muestra para ver la energía solar fotovoltaica escogida fue el 11 de julio de 2019, se va también a analizar el perfil de demanda de ese mismo día. Como se observa la figura antes de que amanezca la demanda de energía sirve para alimentar a los electrodomésticos que están funcionando como puede ser la nevera y el congelador. Cuando amanece las personas que viven en la vivienda se despiertan y comienzan a consumir energía eléctrica. El mismo comportamiento se repite durante la hora de comer y la cena.

5.2 Diseño del programa para leer precios de la electricidad desde una API

Para obtener los datos del precio de la luz se realizará un programa en el que a través de una API sea capaz de almacenar los valores que se presentan en una base de datos. Por tanto el diseño del programa sería el siguiente:

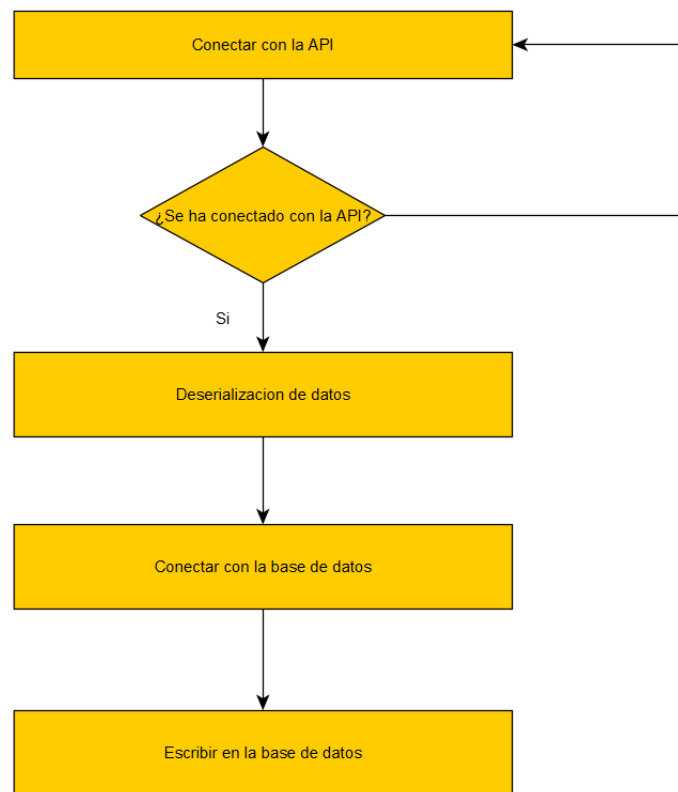


Ilustración 13: Diseño del programa para recoger datos de la API

El diseño para la obtención de datos de la API es el siguiente.:

El primer paso consiste en conectar la aplicación que se va a desarrollar con la API del precio de la luz. Una vez logrado el objetivo de conectarse a la página de internet, ya se podrán obtener todos los datos necesarios como pueden ser:

- Fecha
- Hora del día
- Precio de la luz
- Unidades

Cuando se hayan leído los datos, el siguiente paso consiste en abrir una base de datos, en este caso se optará por Access, se procederá a escribir los precios de la electricidad por horas en la base de datos.

El propósito de este programa consiste en conocer el precio actual de la luz, para posteriormente emplearlo en el algoritmo de predicción que se realizará en Matlab.

5.3 Interfaz de la aplicación Visual Studio

APLICACION CONTROL DE PRECIOS

Path original

Path destino

Path database

INFORMACION SOBRE PRECIOS

00-01	<input type="text"/>	06-07	<input type="text"/>	12-13	<input type="text"/>	18-19	<input type="text"/>
01-02	<input type="text"/>	07-08	<input type="text"/>	13-14	<input type="text"/>	19-20	<input type="text"/>
02-03	<input type="text"/>	08-09	<input type="text"/>	14-15	<input type="text"/>	20-21	<input type="text"/>
03-04	<input type="text"/>	09-10	<input type="text"/>	15-16	<input type="text"/>	21-22	<input type="text"/>
04-05	<input type="text"/>	10-11	<input type="text"/>	16-17	<input type="text"/>	22-23	<input type="text"/>
05-06	<input type="text"/>	11-12	<input type="text"/>	17-18	<input type="text"/>	23-24	<input type="text"/>
		Fecha	<input type="text"/>	Unidad	<input type="text"/>	Id	<input type="text"/>

Ilustración 14: Interfaz del programa para obtener el precio de la electricidad desde una API

Como se observa en la imagen, esta sería la interfaz desarrollada para la lectura de datos del precio de la electricidad por horas desde la API.

La parte superior consiste en unos cambios necesarios en la aplicación para que se pueda realizar la deserialización, ya que no se puede realizar la deserialización directa, por lo cual se introduce el txt del cual se lee de la API. Para poner la dirección donde se encuentra el txt del programa se clica en el recuadro blanco del “Path original”. El botón de cambio a Json realiza los cambios necesario para la deserialización y lo guarda en otro txt, el cual se introduce en el path destino. El siguiente botón es la deserialización. La deserialización de los datos consiste en obtener los datos necesarios para posteriormente escribirlo en la base datos. Los datos serán visualizados en las casillas correspondientes a cada hora, además de la fecha y la unidad en la que se encuentra, ya que se pretende visualizar y guardar la unidad de electricidad ya que es común encontrar esta unidad de dos formas: en megavatios y en kilovatios.

A continuación se va a ingresar la ruta donde se encuentra la base de datos donde se van a almacenar los datos. Esta ruta se añade en el rectángulo blanco. Una vez

introducida la ruta, se hace click en el botón Database. Al clicar dicho botón los datos se guardan en la base de datos, en este caso, se guardará en Access.

La intención de realizar este programa consiste en almacenar los datos de la API en un lugar donde con el programa de Matlab, donde se desarrolla el algoritmo de optimización se puedan rescatar y emplear. A su vez esto también puede resultar bastante útil, ya que el usuario puede analizar los precios de la luz de forma visual y accediendo a estos registros.

5.4 Optimización basada en la minimización del coste de la energía.

Para este apartado se va a presentar la función objetivo a minimizar u optimizar:

$$C_{tot} = \sum_{k=0}^N C_{grid}(k) \cdot E_{grid}(k)$$

Donde:

- C_{tot} son los costes totales del día (€). Es un escalar.
- $C_{grid}(k)$ son los costes de la red en el momento k . Es un vector de $N \times 1$
- $E_{grid}(k)$ es la energía de la red(KW/h). Es un vector de $N \times 1$
- K es el instante de muestreo. En este TFM el muestreo es cada 5 min.
- N es el horizonte de predicción. En este TFM $N=288$. El tiempo de muestreo equivale a 5 minutos, por lo cual un día tiene 288 fracciones de 5 minutos.

5.5 Restricciones

A continuación se van a presentar las restricciones presentes en el sistema de gestión de energía. Estas restricciones sirven para definir el comportamiento deseado. Se presentan dos restricciones fundamentales como son: las restricciones en las baterías y el balance energético.

Almacenamiento de la energía de la batería

Se trata una restricción en el comportamiento de la batería, ya que se pretende que la energía se encuentre limitada entre un valor máxima y un valor mínimo.

$$Ebat_min < Ebat(k) < Ebat_max$$

Donde:

- Ebat(k) es la capacidad actual de la batería (Ah). Es una escalar.
- Ebat_min es la capacidad mínima de la batería que se ha definido. En este caso es el 20% de la capacidad de la batería.
- Ebat_max es la capacidad máxima de la batería que se ha definido. En este caso es el 80% de la capacidad de la batería.

Potencia de la batería

$$Pbat_min < Pbat(k) < Pbat_max$$

Donde:

- Pbat(k) es la potencia de la batería (KW). Es una escalar.
- Pbat_min es la potencia mínima de la batería definida. La potencia mínima equivale a que la batería se está cargando.
- Pbat_max es la potencia máxima de la batería definida. La potencia máxima equivale a que la batería se está descargando.

Estado de carga de batería.

Restricción con respecto de la capacidad de la batería.

$$E_{batt}(k) = E_{batt}(k - 1) + P_{batt}(k)\Delta T$$

Donde:

- Ebatt(k) es la energía en el momento actual (KWh). Es un vector de Nx1.
- Ebat(k-1) es la energía en el momento anterior (KWh). Es un vector de Nx1.
- Pbatt(k) es la potencia de la batería actual (KW). Es un vector de Nx1.
- ΔT es diferencia de tiempo que equivale a 5 minutos.

Balance energético

$$Pload(k) == Ppv(k) + Pgrid(k) + Pbatt(k)$$

Donde:

- $Ppv(k)$ es la potencia generada por los paneles solares (KW). Es un vector de $N \times 1$.
- $Ppv(k)$ es la potencia de carga/descarga de la energía (KW). Es un vector de $N \times 1$.
- $Pgrdi(k)$ es la potencia de la red (KW). Es un vector de $N \times 1$.
- $Pload(k)$ es la potencia que consume la vivienda (KW). Es un vector de $N \times 1$.

5.6 Algoritmo de gestión de energía

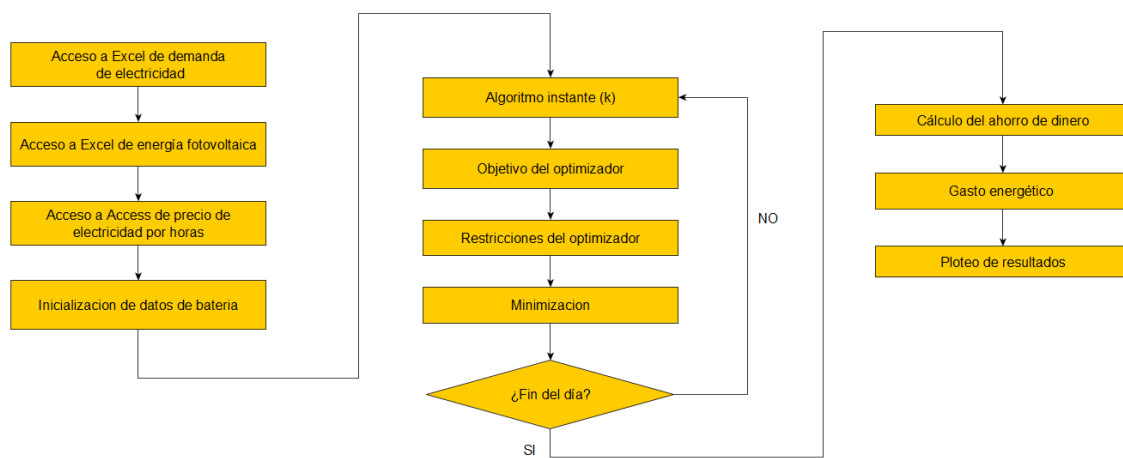


Ilustración 15: Diseño del algoritmo

En la figura anterior se muestra el diseño del algoritmo y los resultados que deben de dar. Lo primero que realiza es la obtención de datos de las entradas que son necesarias para poder realizar el algoritmo como son: el precio de la electricidad por horas, la demanda eléctrica del día correspondiente y por último la energía solar fotovoltaica. Cabe recordar que el precio de la electricidad hay que recogerlo de una base de datos, por lo cual hay que enlazar la base de datos donde se guardan dichos datos con Matlab. Además los datos de la demanda de energía como de la energía fotovoltaica solar provienen de dos Excel diferentes, provenientes del mismo estudio realizado por el IEEE. Además se inicializan los valores iniciales de las baterías. A continuación se entra en un bucle donde se definen las restricciones y objetivos en el que se estudia el momento del día. Una vez que el bucle haya terminado el día se obtienen los resultados del ahorro de dinero empleando el optimizador y sin utilizar el optimizador. Además de conocer el gasto energético del día y los correspondientes planteos de figuras para poder comprender de manera gráfica los resultados obtenidos.

5.7 Integración de la fuente de datos en el algoritmo

A continuación se explicará el orden para enlazar ambos programas realizados.



Ilustración 16: Diagrama de ambos programas

Para poder llevar a cabo la entrada del precio de la electricidad por horas al algoritmo que se va a desarrollar primero que leer los precios que se publican en la API previamente definida. Como ya se ha visto anteriormente los precios se guardan en una base de datos, con la clara intención de acceder a ellos cuando se desee. El algoritmo se enlaza con la base de datos para recoger todos los valores. En principio no habría ningún tipo de indicador que sirva para recoger un dato específico, ya que cada día se actualizaría la base de datos dando como último valor de la base de datos el valor a recoger. Este comportamiento puede resultar favorable a la hora de enlazar la base de datos porque solo habría que recoger el último valor.

Por tanto el diseño final del proyecto con respecto al principio del capítulo 4 sería el siguiente:

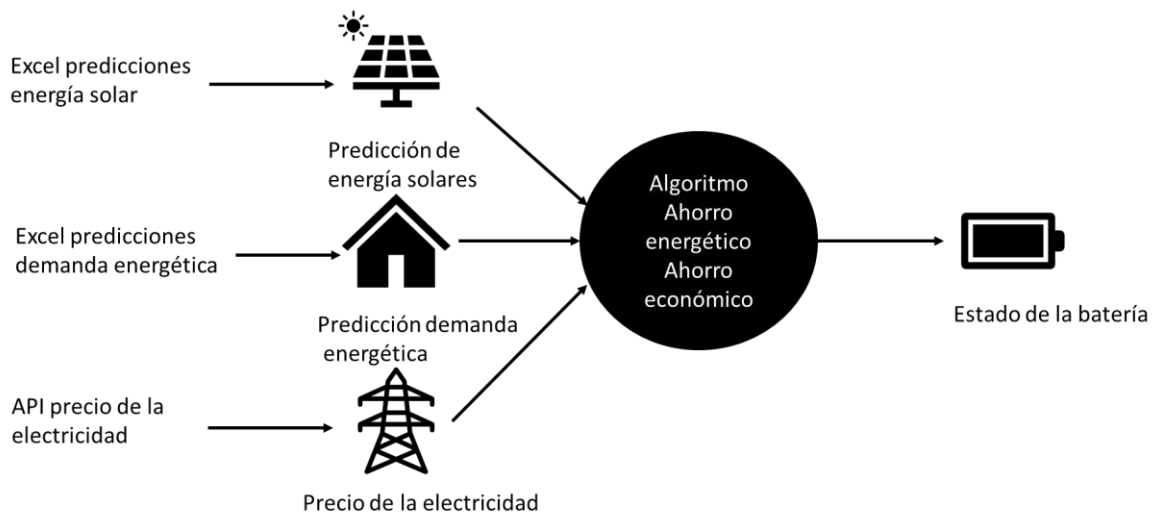


Ilustración 17: Diseño final

6 Resultados

En el presente capítulo se pretende simular los meses del año con el claro objetivo de analizar el resultado. Para ello se introducirán los datos recogidos de demanda energética de una vivienda unifamiliar, la producción de energía fotovoltaica y el precio de la electricidad. Cabe mencionar que el precio de la electricidad está guardado en una base de datos, la cual está conectada a Matlab.

Se realizará una comparativa entre dos días de un mismo mes, para ver la diferencia que existiría con dos días de diferencia. El mes escogido es septiembre, ya que es el mes más cercano a la finalización del documento. En este mes se analizará también las predicciones que realizará el programa durante el día. Con las predicciones se pretende obtener un comportamiento eléctrico con una elevada precisión.

6.1 6 de septiembre de 2022

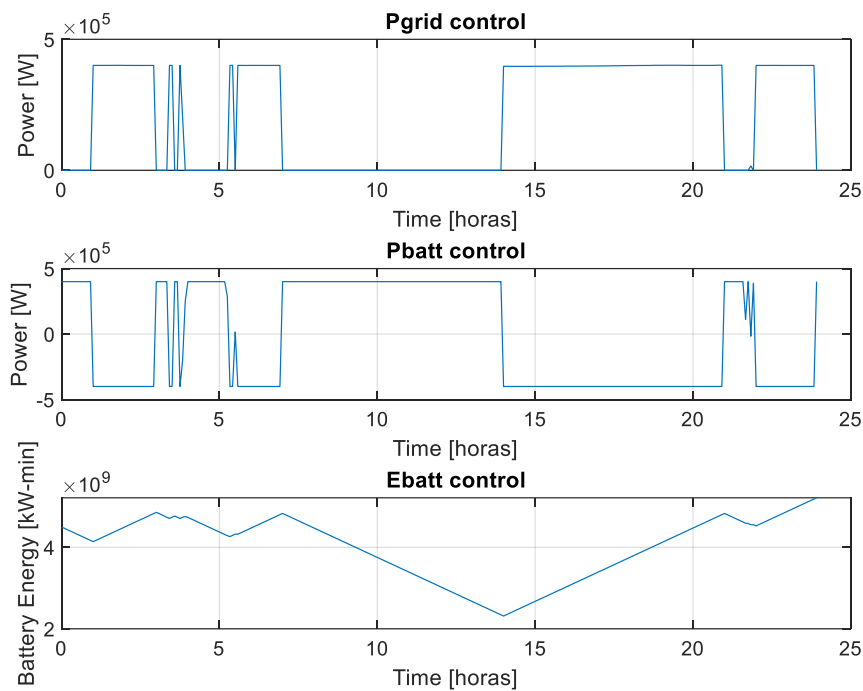


Ilustración 18: Comportamiento eléctrico el 6 de septiembre de 2022

En la gráfica se observa el comportamiento eléctrico que ha tenido la vivienda a lo largo del día. Como es habitual durante la mañana el sistema de abastecimiento de la casa está continuamente alternando entre la red eléctrica y las baterías, para posteriormente tener un periodo de descarga de las baterías, es decir, que la casa solo se alimente a base de energía eléctrica producida por los paneles solares instalados en la vivienda unifamiliar. La batería se descarga hasta el mínimo que se ha programado. A partir de este punto comienza un proceso de carga de la batería porque se pretende llegar a un punto superior al del comienzo de la energía de la batería.

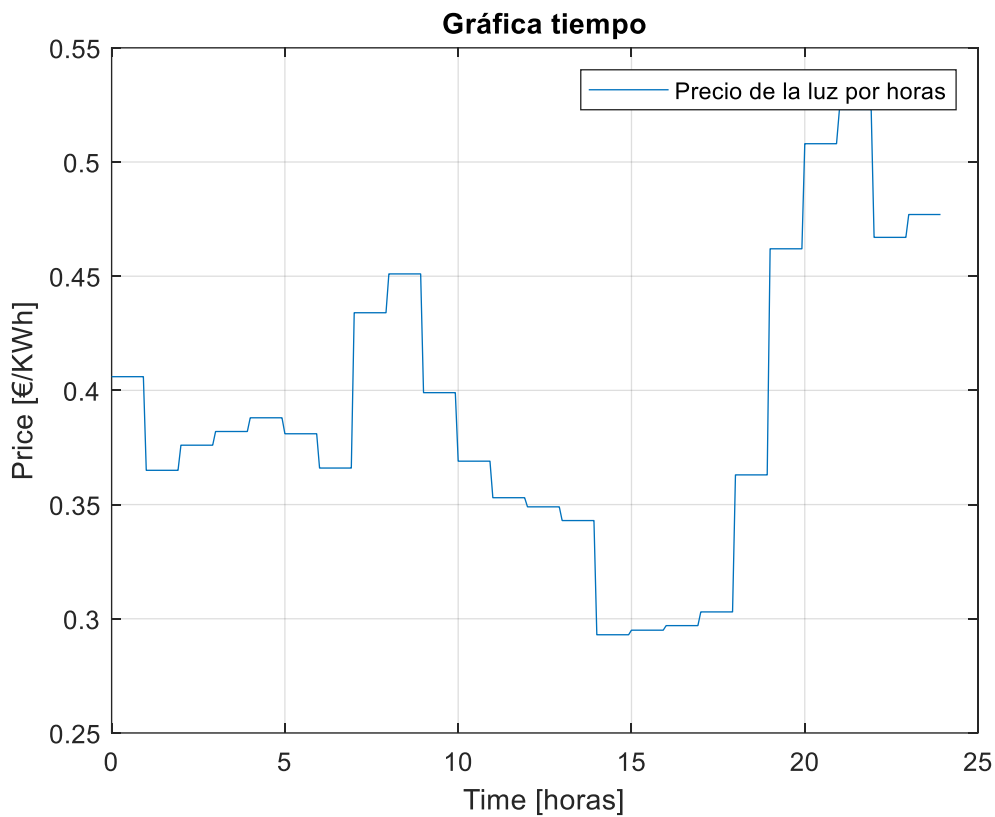


Ilustración 19: Gráfica del valor del precio por horas de la electricidad

La intención de mostrar la gráfica donde se ve reflejada el precio de la energía en función de las horas sirve para demostrar que el algoritmo se está empleando con utilidad, ya que en el periodo de las 14 hasta las 18 es cuando el valor de la energía tiene un precio más barato si se compara con el resto del día. Durante este periodo de tiempo se observa que en la vivienda deja de aportar energía a través de los paneles solares, coincidiendo con el mínimo establecido de las baterías. Según se alcanza el valor mínimo del día del precio de la electricidad la vivienda es alimentada con energía de proveniente de la red.

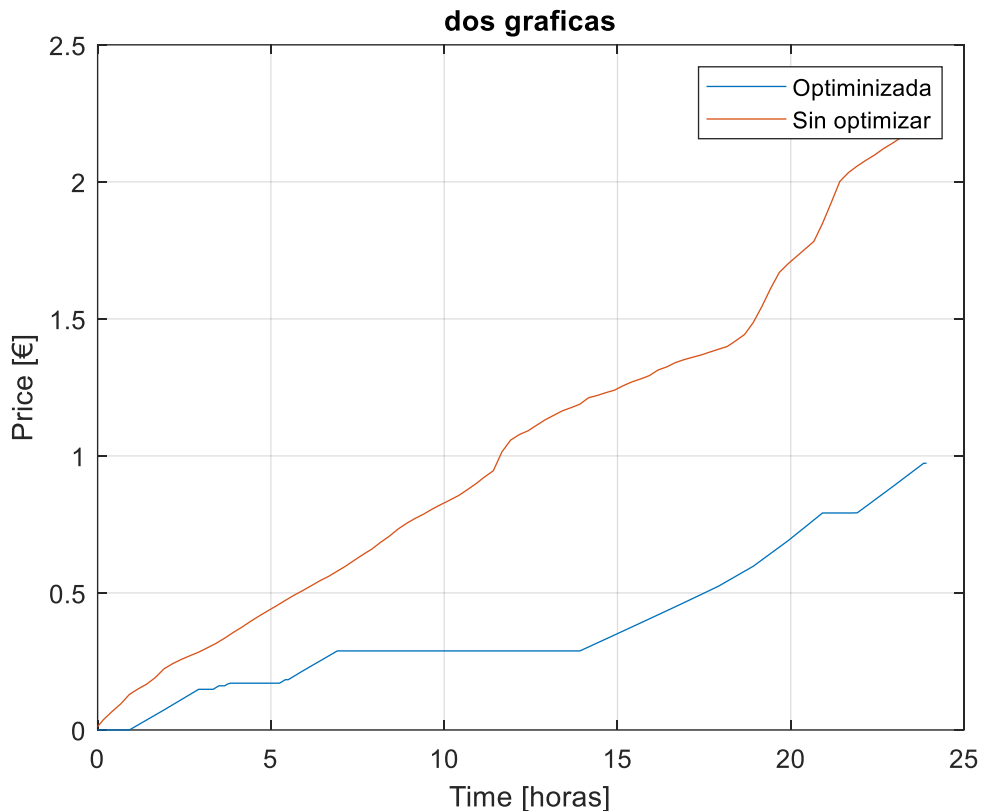


Ilustración 20: Diferencia entre el precio optimizado y sin optimizar

En la siguiente gráfica se observa el diferente comportamiento a lo largo del día entre emplear el método optimizado y sin emplearlo. Como se observa la línea azul corresponde al día de emplear placas solares y baterías de manera optimizada, mientras que la línea roja representa el precio a lo largo del día sin emplear ni baterías para almacenar la energía como tampoco placas solares. La diferencia es considerable a lo largo del día, ya que se llega a gastar más del doble en un solo día, lo que repercute a nivel económico en las personas que habiten la vivienda.

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: $9.730743e-01$ euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: $2.223888e+00$ euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: $1.250814e+00$ euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada ,mes es de: $3.016530e+01$ euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: $6.894054e+01$ euros

El consumo al día es de: $2.130466e+03$ watios

A continuación se presentan las predicciones que el algoritmo hace acerca el comportamiento eléctrico de la vivienda.

Instante actual 1 = 5 min = 0.1 horas

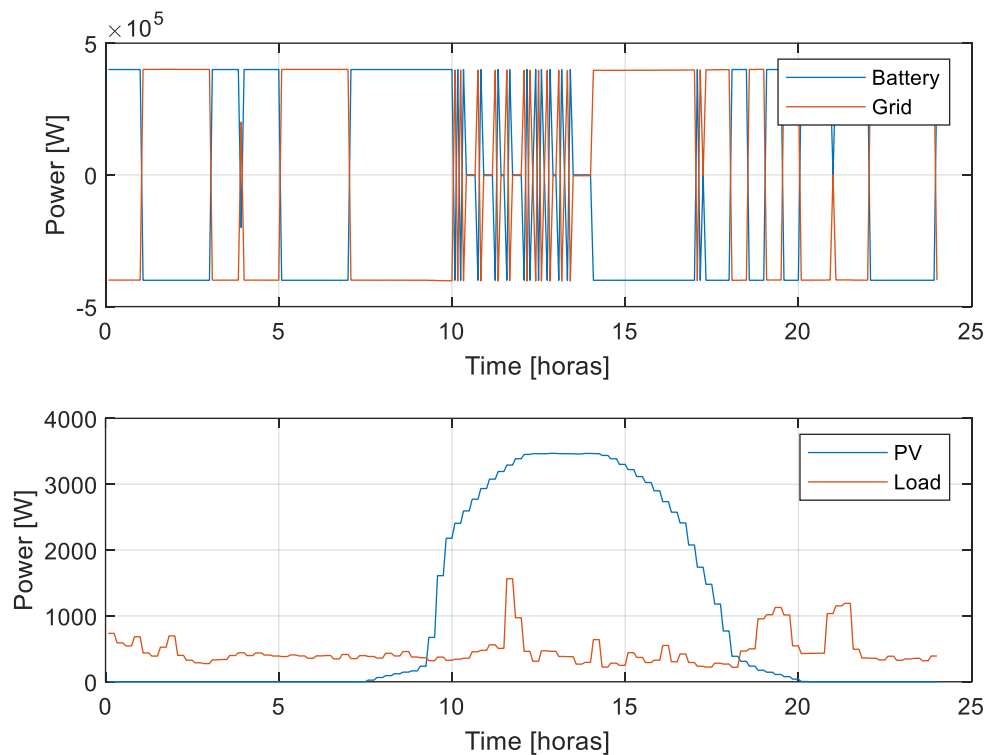


Ilustración 21: Predicción del comportamiento eléctrico al inicio del día

Instante acutal 100 = 500 min = 8.3 horas

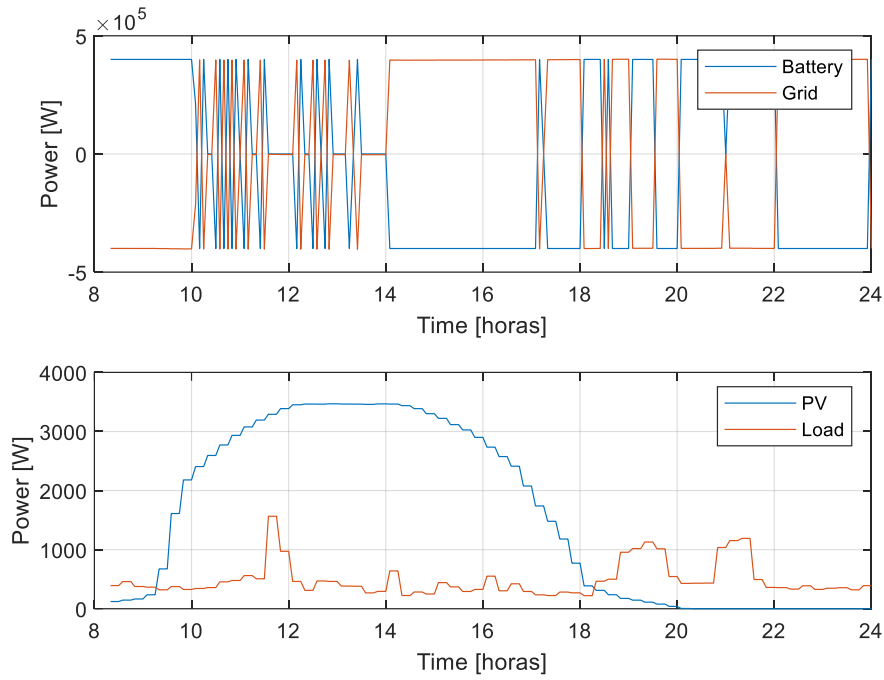


Ilustración 22: Predicción del comportamiento eléctrico a las 8 de la mañana

Instante acutal 150 = 750 min = 12.5 horas

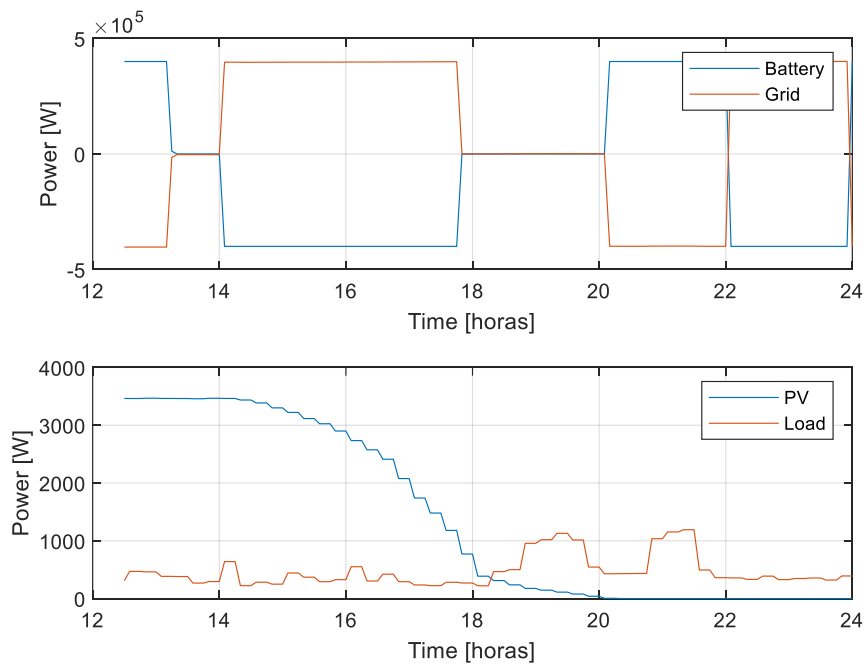


Ilustración 23: Predicción del comportamiento eléctrico a las 12 de la mañana

Instante acutal 250 = 1250 min = 20.8 horas

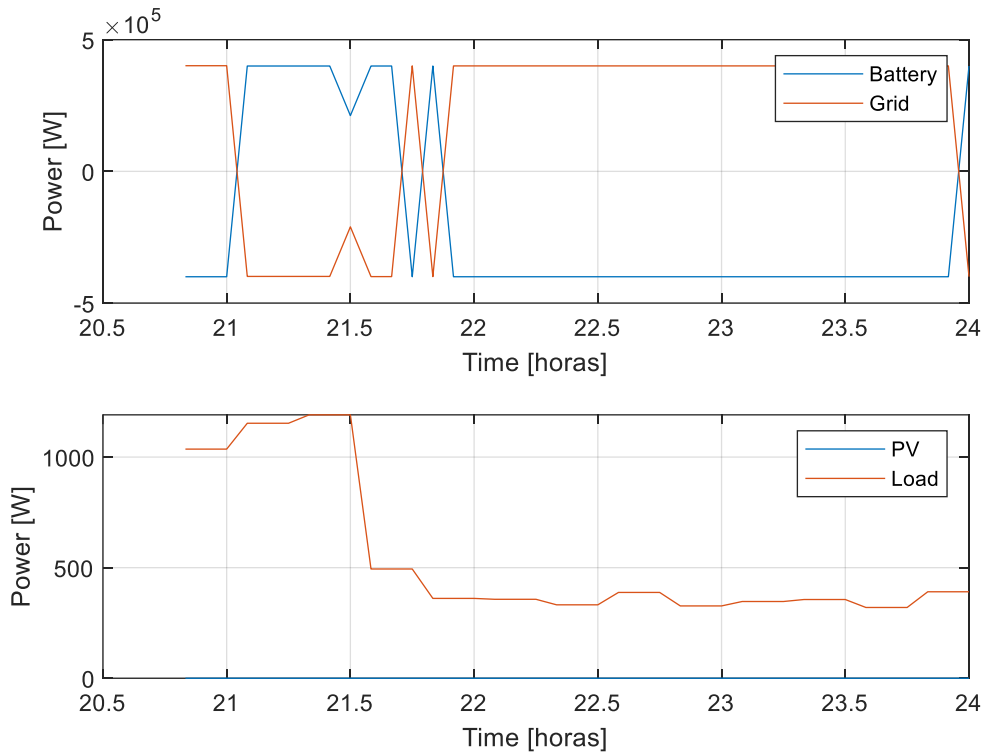


Ilustración 24: Predicción del comportamiento eléctrico a las 8 de la tarde

La intención de presentar estas 4 gráficas tiene que ver con las predicciones que realiza el algoritmo con respecto al comportamiento de las baterías y de donde procede la fuente de alimentación que alimenta a la vivienda, es decir, si proviene de las placas solares o de la red eléctrica. La primera gráfica de este grupo de 4 imágenes corresponde a la predicción que se ha realizado del comportamiento de la batería y de la red. Cuando la gráfica se encuentre positiva será quien este aportando de energía a la vivienda, y en caso de la batería en caso de estar en negativo estará cargando.

6.2 8 de septiembre de 2022

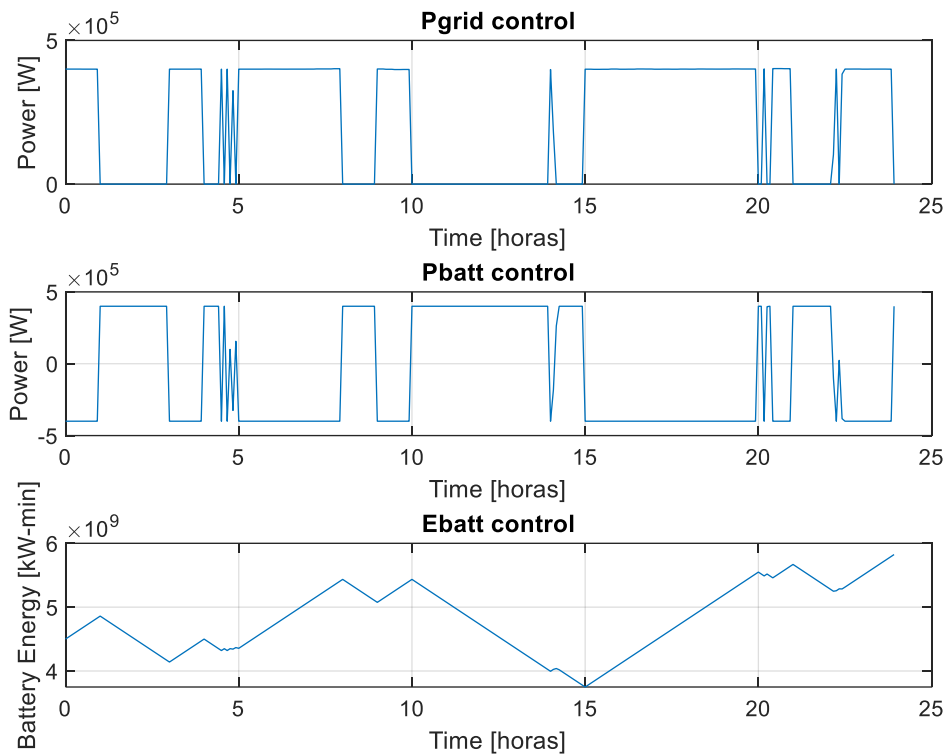


Ilustración 25: Comportamiento eléctrico el 8 de septiembre de 2022

Con dos días de diferencia se aprecia como cambia el comportamiento energético de la casa tras el transcurso del día. Se aprecia como a pesar de haber solo dos días de diferencia el comportamiento cambia, siendo menor el tiempo de dependencia de las baterías que hace dos días durante la tarde, esto es debido porque por la noche el precio de la luz alcanza unos valores excesivamente elevados para los valores históricos del precio de la electricidad. El algoritmo emplea decide emplear durante la mañana la mayor cantidad de energía almacenada de las baterías

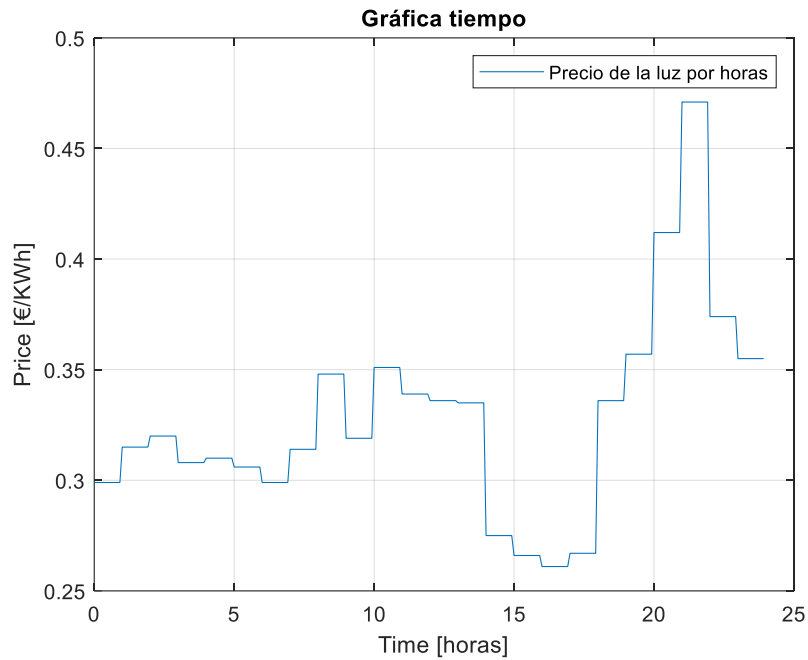


Ilustración 26: Gráfica del valor del precio por horas de la electricidad

En esta grafica se observa el precio de la energía por horas durante el día, donde se aprecia que las horas más caras del día equivalen a las nocturnas. El precio llega a casi a duplicar desde el precio más barato hasta el precio más caro. Esta apreciación se verá claramente en las simulaciones de las predicciones y del comportamiento del consumo..

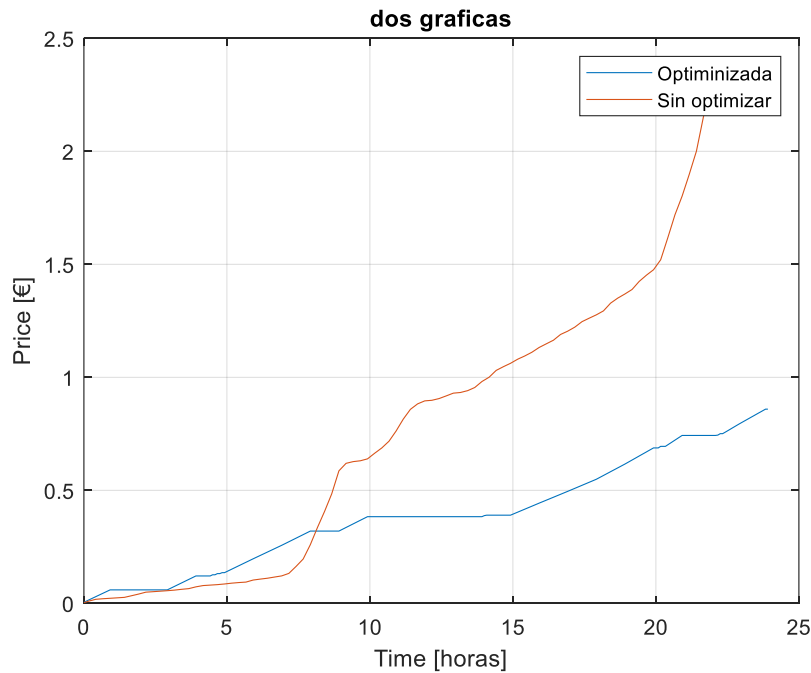


Ilustración 27: Diferencia entre el precio optimizado y sin optimizar

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: $8.593716e-01$ euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: $2.358900e+00$ euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: $1.499529e+00$ euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: $2.664052e+01$ euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: $7.312591e+01$ euros

El consumo al día es de: $2.271849e+03$ watios

Predicciones:

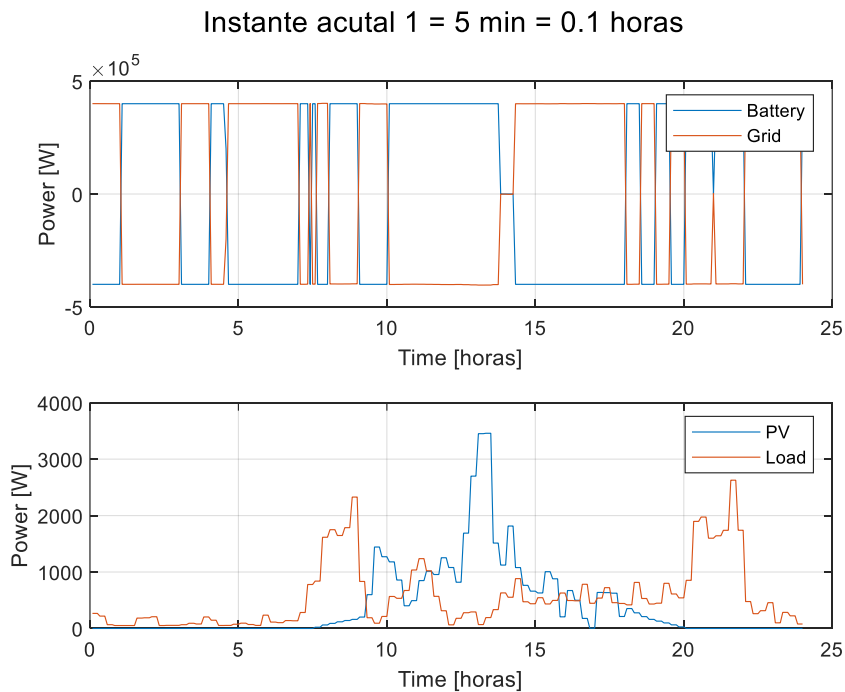


Ilustración 28: Predicción del comportamiento eléctrico al inicio del día

Instante acutal 100 = 500 min = 8.3 horas

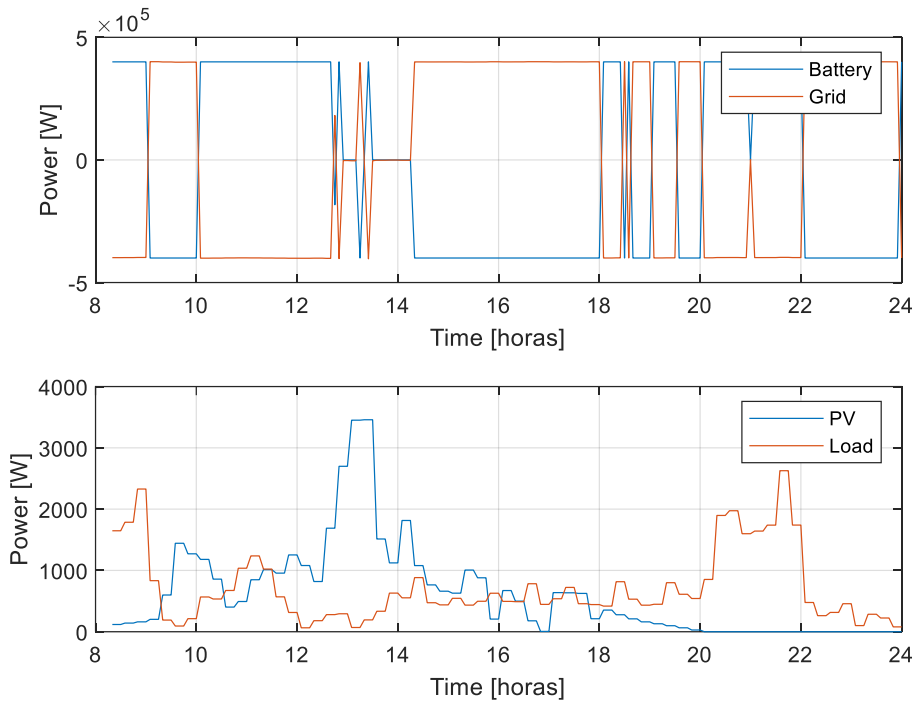


Ilustración 29: Predicción del comportamiento eléctrico a las 8 de la mañana

Instante acutal 150 = 750 min = 12.5 horas

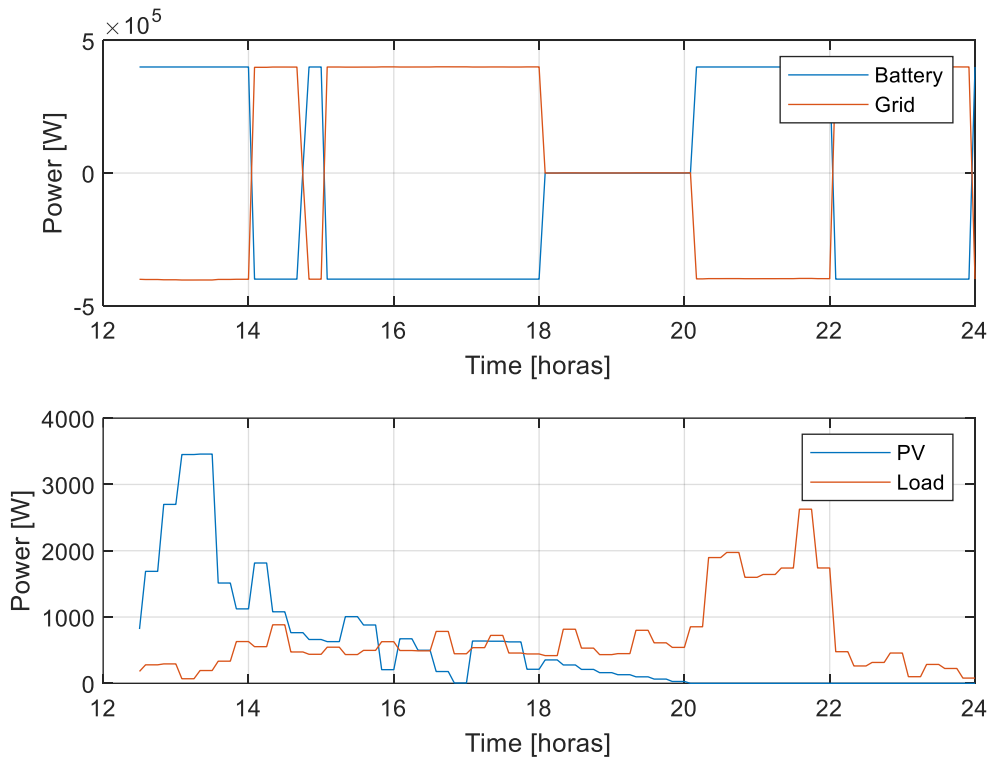


Ilustración 30: Predicción del comportamiento eléctrico a las 12 de la mañana

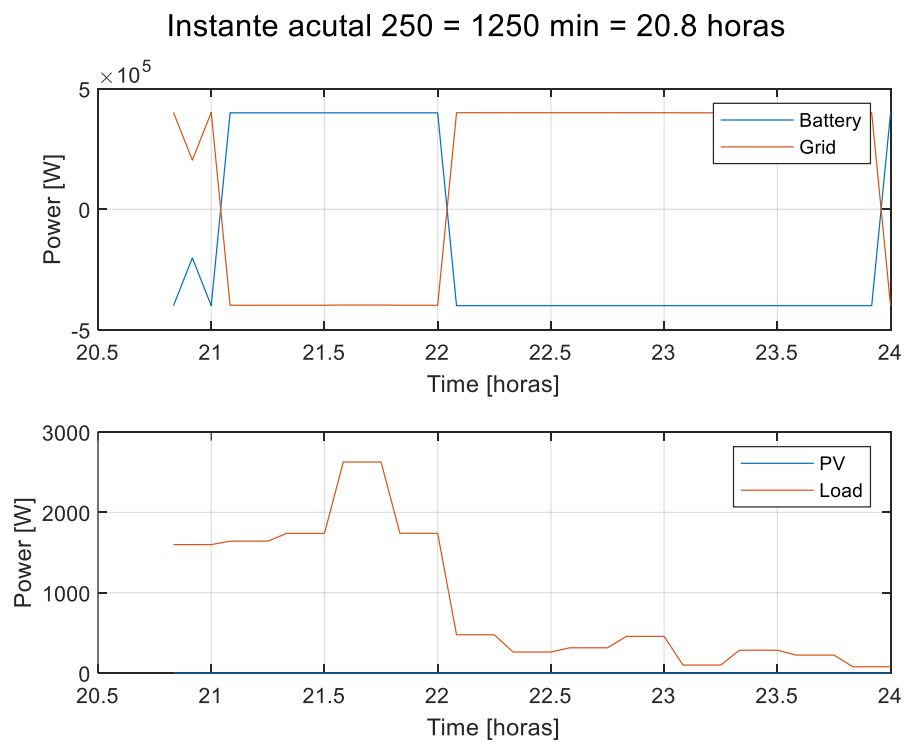


Ilustración 31: Predicción del comportamiento eléctrico a las 8 de la tarde

Al comparar con las predicciones se observa como en el día 8 de septiembre de 2022 el cielo se encontraba nublado, factor fundamental en la producción de energía eléctrica. El algoritmo presenta una precisión elevada, ya que los resultados obtenidos desde el primer momento del día definen los últimos momentos del día de forma muy exactas a los momentos finales del día.

6.3 Enero

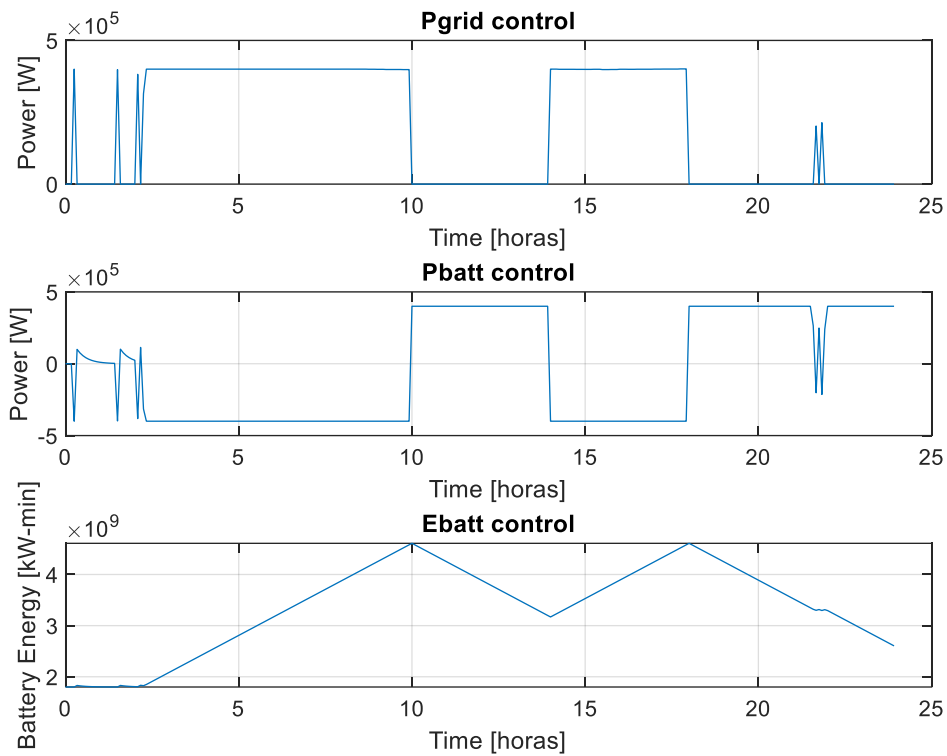


Ilustración 32: Comportamiento eléctrico en enero

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: 1.243013e+00 euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: 2.930678e+00 euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: 1.687665e+00 euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: 3.853340e+01 euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: 9.085101e+01 euros

El consumo al día es de: 2.009957e+03 watios

6.4 Febrero

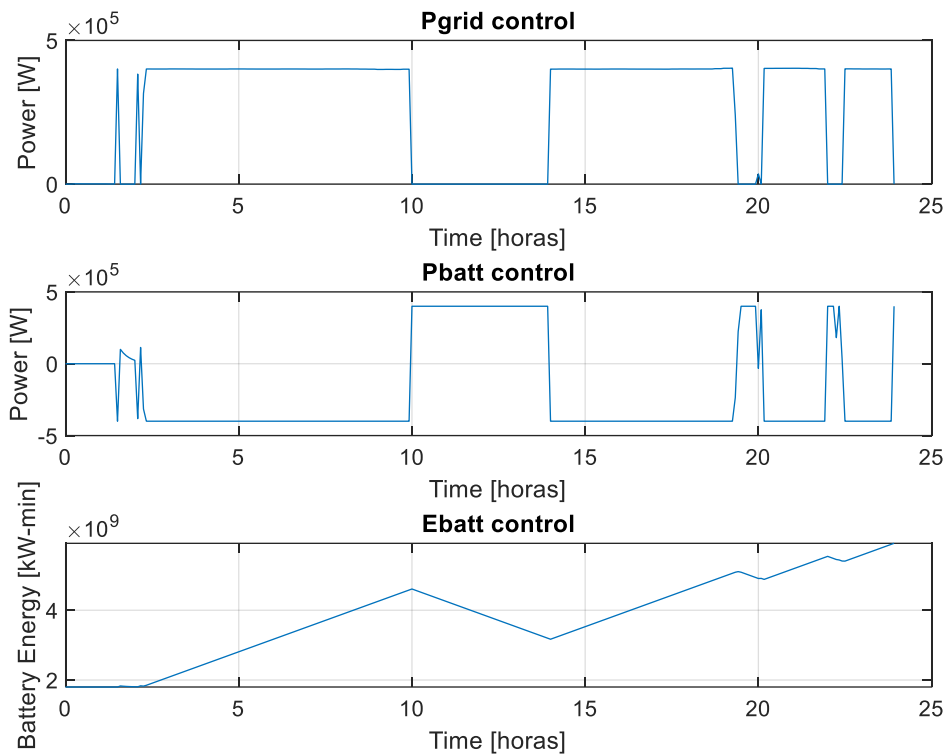


Ilustración 33: Comportamiento eléctrico en febrero

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: $9.608910e-01$ euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: $2.586975e+00$ euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: $1.626084e+00$ euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: $2.978762e+01$ euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: $8.019624e+01$ euros

El consumo al día es de: $2.761370e+03$ watios

6.5 Marzo

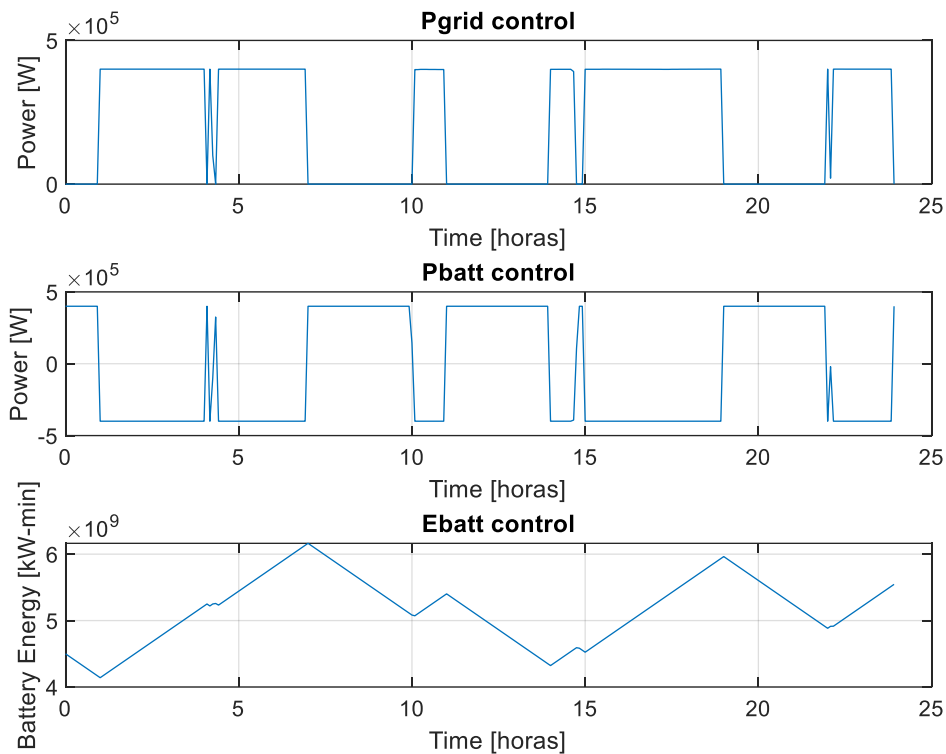


Ilustración 34: Comportamiento eléctrico en Marzo

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: $9.867295e-01$ euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: $3.190865e+00$ euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: $2.204135e+00$ euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: $3.058862e+01$ euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: $9.891681e+01$ euros

El consumo al día es de: $2.583217e+03$ watios

6.6 Abril

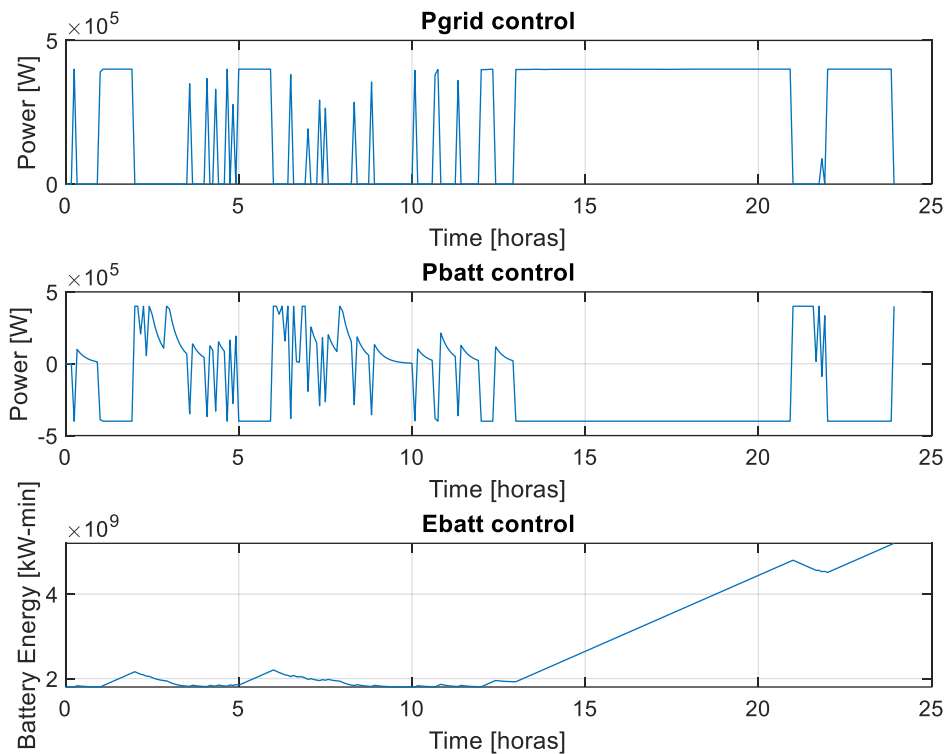


Ilustración 35: Comportamiento eléctrico en abril

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: $3.280693e-01$ euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: $9.144444e-01$ euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: $5.863751e-01$ euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: $1.017015e+01$ euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: $2.834778e+01$ euros

El consumo al día es de: $2.245755e+03$ watios

6.7 Mayo

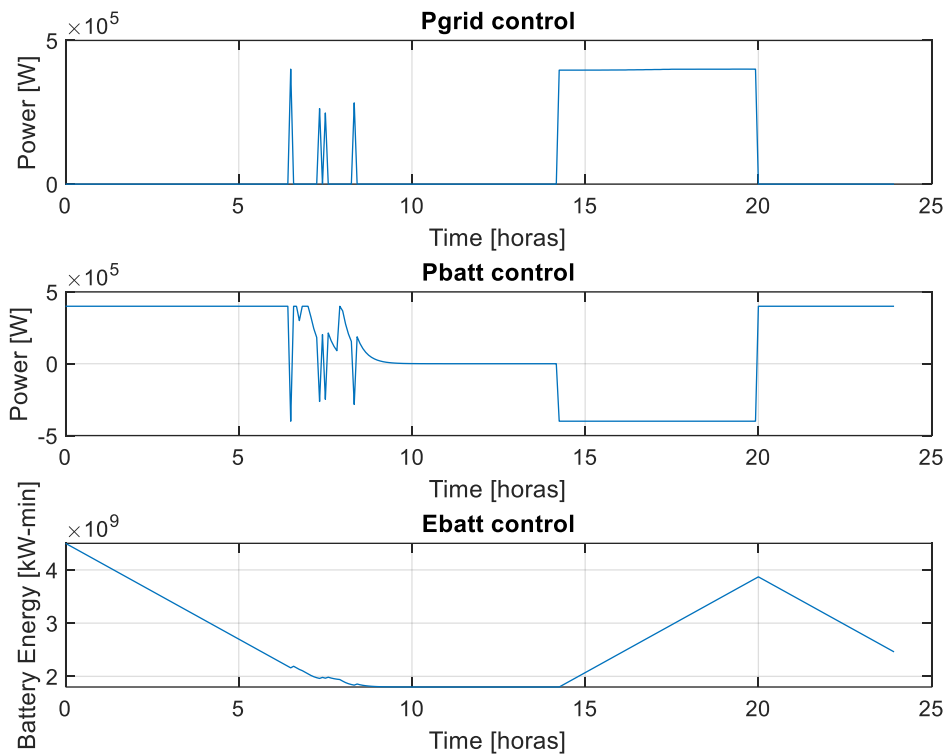


Ilustración 36: Comportamiento eléctrico en mayo

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: $8.419626e-01$ euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: $1.221462e+00$ euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: $3.794993e-01$ euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: $2.610084e+01$ euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: $3.786532e+01$ euros

El consumo al día es de: $1.961765e+03$ watios

6.8 Junio

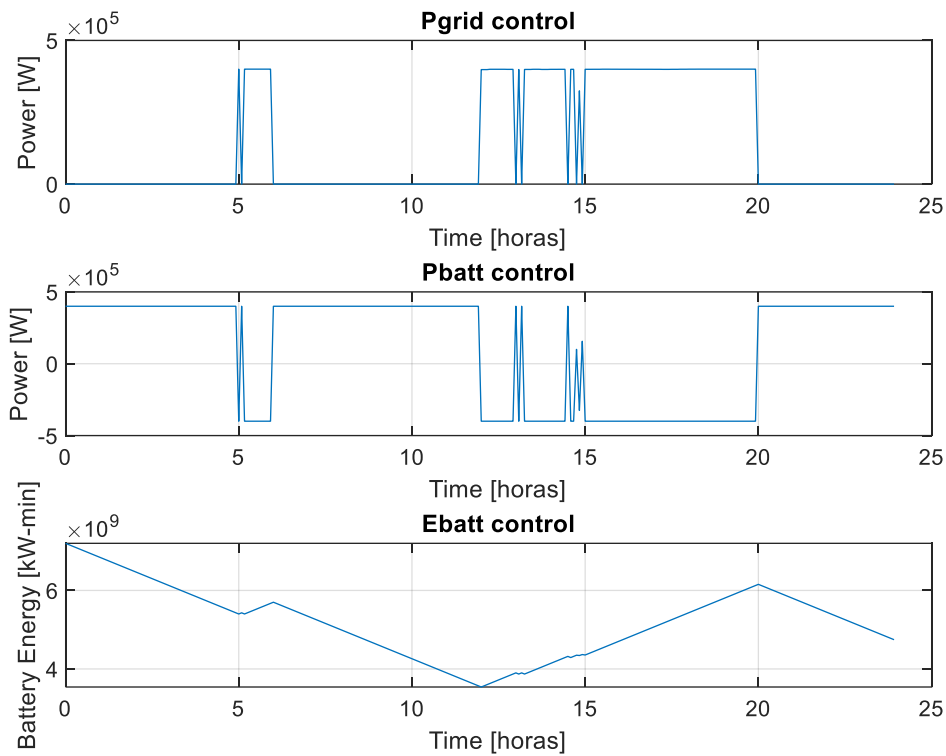


Ilustración 37: Comportamiento eléctrico en junio

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: 6.818510e-01 euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: 1.434882e+00 euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: 7.530314e-01 euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: 2.113738e+01 euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: 4.448135e+01 euros

El consumo al día es de: 2.151998e+03 watios

6.9 Julio

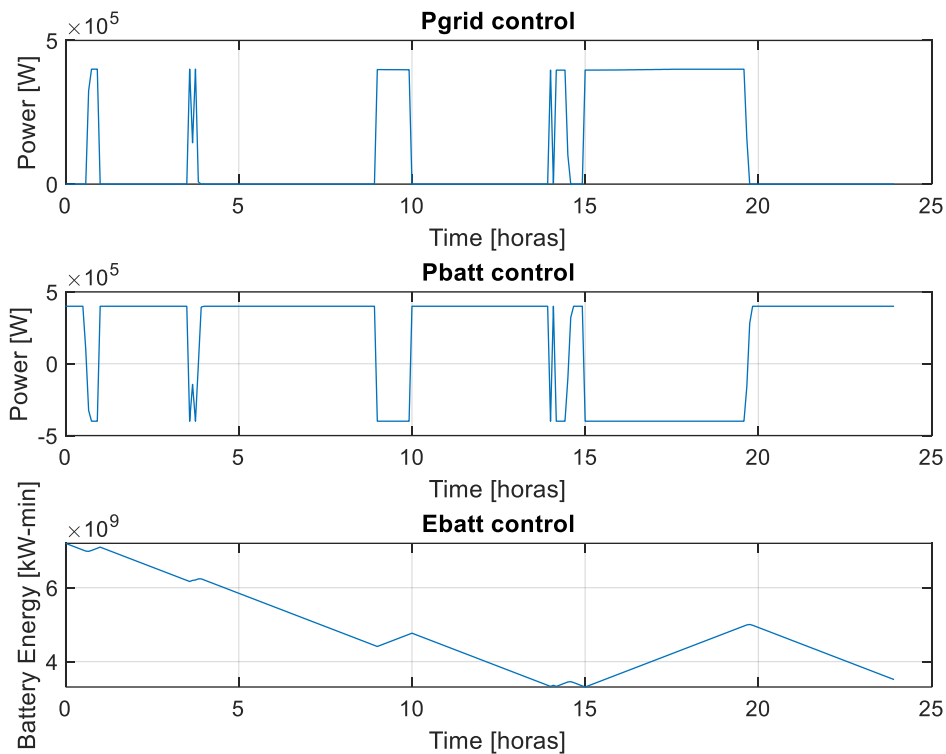


Ilustración 38: Comportamiento eléctrico en Julio

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: 4.699382e-01 euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: 2.642973e+00 euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: 2.173034e+00 euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: 1.456809e+01 euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: 4.193215e+01 euros

El consumo al día es de: 1.905038e+03 watios

6.10 Agosto

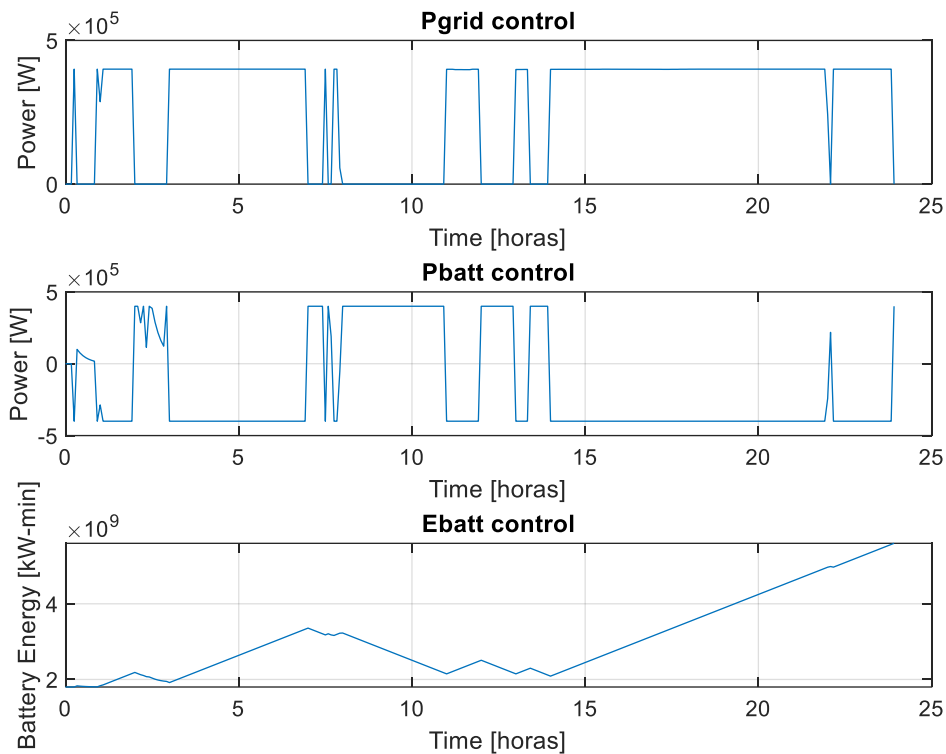


Ilustración 39: Comportamiento eléctrico en agosto

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: 7.626279e-01 euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: 1.344031e+00 euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: 5.814027e-01 euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: 2.364146e+01 euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: 4.166495e+01 euros

El consumo al día es de: 2.769383e+03 watios

6.11 Octubre

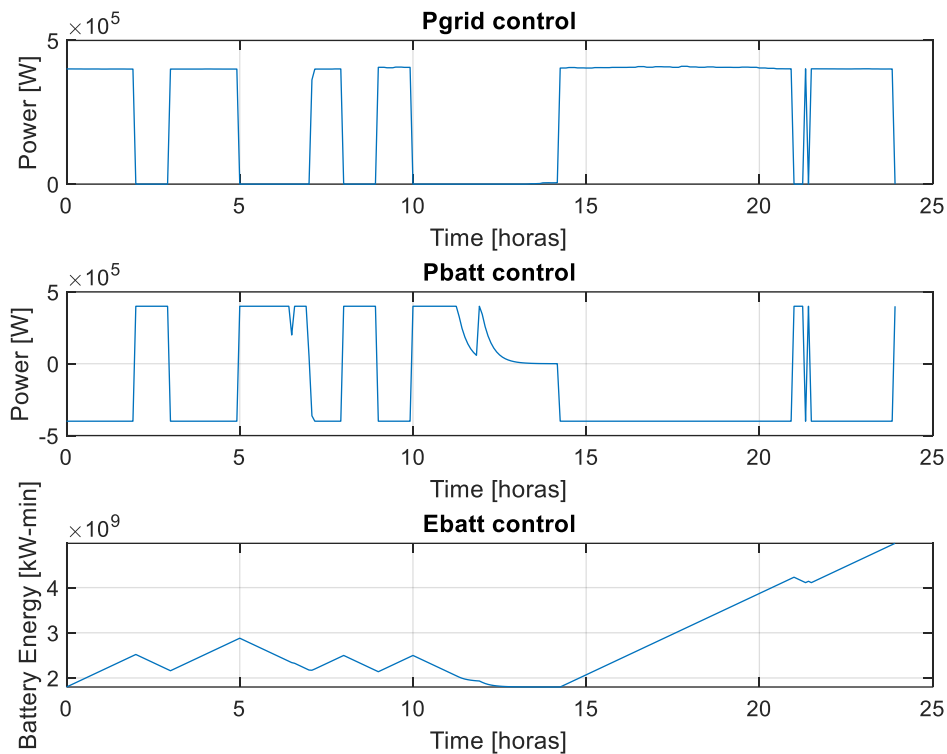


Ilustración 40: Comportamiento eléctrico en octubre

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: 1.177730e+00 euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: 1.738671e+00 euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: 5.609419e-01 euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: 3.650962e+01 euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: 5.389882e+01 euros

El consumo al día es de: 2.548917e+03 watios

6.12 Noviembre

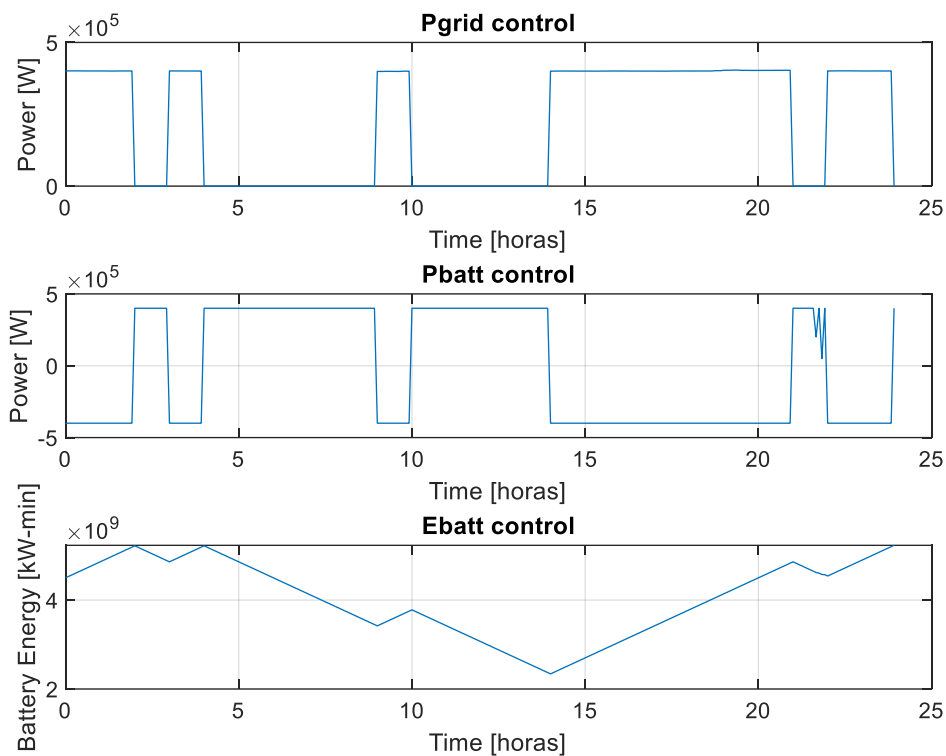


Ilustración 41: Comportamiento eléctrico en noviembre

Resultados al día:

El precio que estas pagando con el optimizador es de: $9.766025e-01$ euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: $1.913176e+00$ euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: $9.365740e-01$ euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: $3.027468e+01$ euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: $5.930847e+01$ euros

El consumo al día es de: $2.157411e+03$ watios

6.13 Diciembre

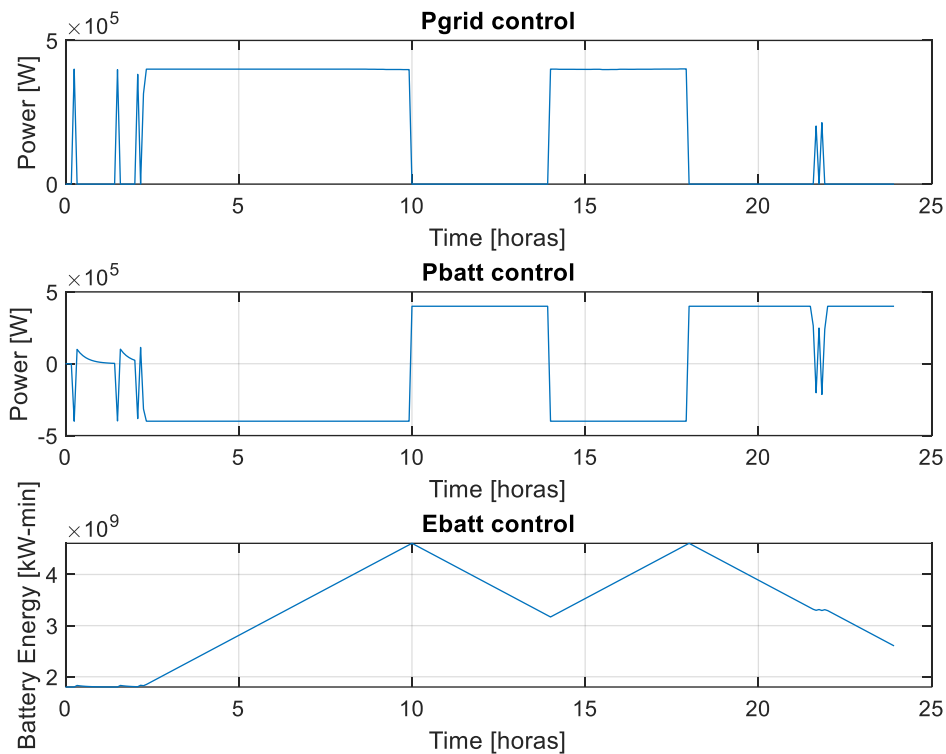


Ilustración 42: Comportamiento eléctrico en diciembre

El precio que estas pagando con el optimizador es de: 1.243013e+00 euros al día

El precio que se paga sin optimizar es de: 2.930678e+00 euros al día

Diferencia de precios:

La diferencia es de: 1.687665e+00 euros al día

Coste de la factura:

El precio que estas pagando cada mes es de: 3.853340e+01 euros

El precio que se habría pagado sin optimizar cada mes: 8.085101e+01 euros

El consumo al día es de: 2.209957e+03 watios

6.14 Resultados totales

Una vez realizadas todas las simulaciones de todos los meses del año, es el momento de concluir hasta cuánto dinero puede llegar a ahorrar el usuario de la vivienda empleando la optimización energética. Para ello, se han recogido todos los datos de las simulaciones que se hicieron durante los 12 meses. Para una mayor facilitación del proceso se asumen que todos los valores obtenidos en cuanto al precio a pagar tanto optimizado como no optimizado refleja es constante, en vez de realizar las 365 simulaciones correspondientes.

En la siguiente tabla se muestran el precio del mes pagado de manera optimizado, el precio que se pagaría sin haber optimizado y la diferencia.

Mes	Precio del mes optimizado(€)	Precio mes (€)	Diferencia (€)
Enero	38,5	90,8	52,3
Febrero	29,12	80,56	51,44
Marzo	30,5	98,14	67,64
Abril	10,6	28,45	17,85
Mayo	26,76	37,45	10,69
Junio	21,13	44,18	23,05
Julio	14,89	41,93	27,04
Agosto	23,64	41,66	18,02
Septiembre	30,16	68,94	38,78
Octubre	36,5	53,8	17,3
Noviembre	30,27	59,3	29,03
Diciembre	38,7	80,85	42,15
		Total	395,29

Tabla 2: Resultados obtenidos de la simulación de cada mes

Como se aprecia en la tabla también viene reflejado el total del dinero ahorrado anualmente empleando la optimización. Entrando en análisis con respecto al precio pagado por cada mes, se puede llegar a observar como en los meses de verano el precio de la factura es considerablemente inferior al de los meses de invierno. Aunque cabe mencionar que el precio de la luz es otro factor clave a mencionar, el comportamiento en invierno de las personas que vivan en la vivienda es de pasar más tiempo en casa, provocando así un mayor consumo energético, que a la postre se convierte en un mayor gasto energético.

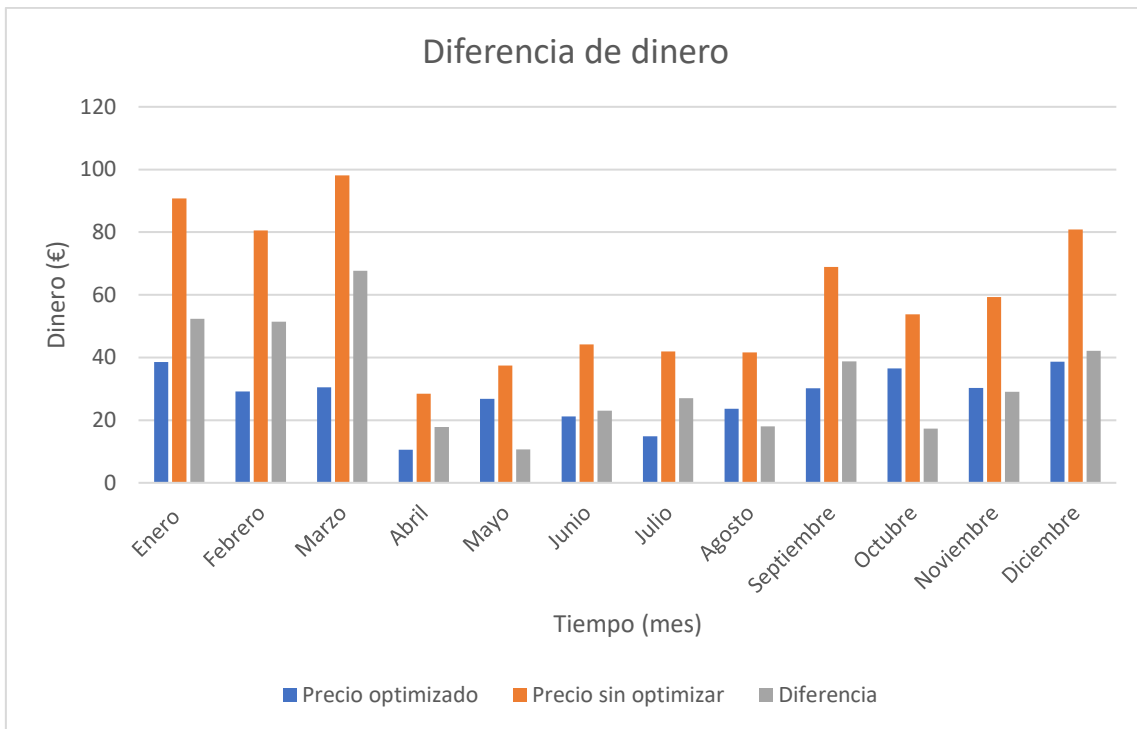


Ilustración 43: Gráfica dinero

En esta última figura se aprecian tres series diferentes. La serie azul corresponde al dinero que se ha de pagar empleando el optimizador cada mes. Se aprecia como en los meses de invierno el precio a pagar es menor, esto es debido a que en principio las personas que viven en la vivienda pasan más tiempo en la vivienda que en verano, claramente influenciado por el clima. La serie naranja equivale a la factura de electricidad correspondiente a cada mes sin emplear el optimizador. Y por último la serie gris corresponde a la diferencia por meses entre la factura sin optimizar y la factura optimizada.

7 Rendimiento económico

7.1 Introducción

Está claro que el ahorro de energía conlleva consigo mismo un rendimiento económico. Sin embargo, habría que analizar ese rendimiento económico que trae consigo la instalación de placas solares. En otras palabras, en este capítulo se pretende justificar la inversión de las placas solares mediante las herramientas del VAN y del TIR.

Se ha visto en el anterior capítulo que el dinero ahorrado era de 395,29€ anuales. También se presupone que el valor anual será el mismo para una mayor facilidad en los cálculos, ya que actualmente sería imposible obtener el dinero ahorrado de aquí a cinco años por ejemplo.

En la siguiente tabla se presentan los flujos de caja desde el año 2022 hasta el 2032. La inversión con la que se parte es de 2000 euros, ya que el estudio siempre se ha realizado en una vivienda particular. Otro dato a tener en cuenta es el tipo de interés, que en este caso práctico es del 5%.

Año	Fujo de Efectivo Neto(€)	$(1+i)^{\text{año}}$	$FNE/(1+i)^{\text{año}}$
0	-2000		-2000
1	395,29	1,05	376,47
2	395,29	1,10	358,54
3	395,29	1,16	341,47
4	395,29	1,22	325,21
5	395,29	1,28	309,72
6	395,29	1,34	294,97
7	395,29	1,41	280,93
8	395,29	1,48	267,55
9	395,29	1,55	254,81
10	395,29	1,63	242,67

Tabla 3: Flujo de cajas anuales

7.2 VAN

El VAN es el Valor Actual Neto y se calcula con los pagos que son necesarios para iniciar un proyecto, además de con los supuestos ingresos que se generaran en un futuro

El VAN determina si la inversión es rentable o no, por lo que debe usarse en la fase inicial de un proyecto, para tener una estimación de si una inversión es viable o no. Dicho de otra manera, el VAN es la oportunidad con la que cuenta una empresa para medir y evaluar sus inversiones a mediano o largo plazo.

El VAN gira en torno al 0, es decir, dependiendo de la comparación del resultado con el valor cero se puede saber si es una inversión rentable o no:

- Si el VAN es igual a 0, la inversión no generara ni gastos ni beneficios, por lo que se debería tomar alguna acción para que el proyecto genere algún valor.
- Si el VAN es mayor que 0 significa que la inversión generará beneficios, por lo que el proyecto en principio es viable
- Si el proyecto es menor que 0 ocurre lo contrario, el proyecto generará perdidas, por lo que no es conveniente llevarla a cabo:

La fórmula del VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

- Ft son los flujos de dinero en cada periodo t
- I₀ = es la inversión realizada en el momento inicial
- n = es el número de periodo

Aplicando la formula del VAN al presente proyecto en los 10 años da un resultado de:

Año	VAN
0	-2000
1	-1623,53
2	-1264,99
3	-923,53
4	-598,32
5	-288,60
6	6,37

7	287,30
8	554,84
9	809,65
10	1052,32
11	1283,44
12	1503,55

Tabla 4: VAN

El resultado obtenido ha sido de 1503,55. Como se observa el valor es muy superior a 0, lo que hace indicar que la inversión a 10 años es rentable. También se observa que a partir del sexto año empieza a ser rentable la realización de esta inversión.

7.3 TIR

El TIR es la Tasa Interna de Retorno y muestra el tipo de interés necesario para que el VAN sea igual a 0. Por lo tanto, el TIR es tasa de retorno de la inversión realizada, indicando el porcentaje de beneficio o pérdida que se obtiene en una inversión.

Este indicador determina la rentabilidad y la viabilidad de un proyecto, en este caso usando las entrada y salidas de caja en neto y el total de la inversión que se ha realizado.

El criterio de selección será el siguiente: donde k es la tasa de descuento de flujo elegida para el cálculo del VAN:

- Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión
- Si $TIR = k$, la situación sería similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables
- Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que se le exigía a la inversión.

La fórmula del TIR es la siguiente:

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0$$

Donde:

- F_n es el flujo de caja en el periodo n

- N es el número de periodo

Aplicando la formula el resultado obtenido es del 17%. Realizando la comparación con la tasad de descuento de flujo elegida para el cálculo del VAN que corresponde al 5%, se aprecia que mayor, por tanto, se puede afirmar que el proyecto de inversión es aceptable.

A continuación se mostrará una imagen donde se aprecia el tiempo en que se tarda en recuperar la inversión y cuando comienza a ser rentable.

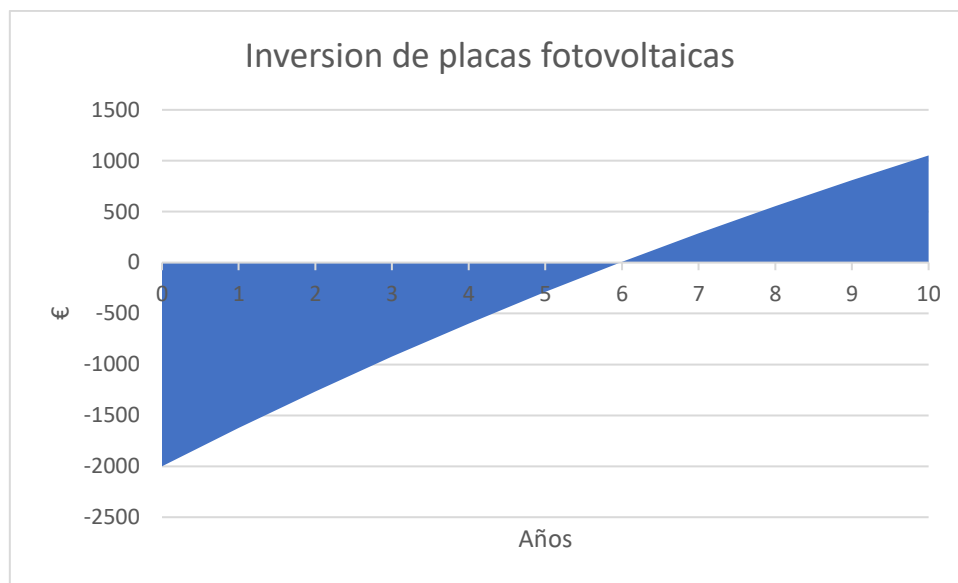
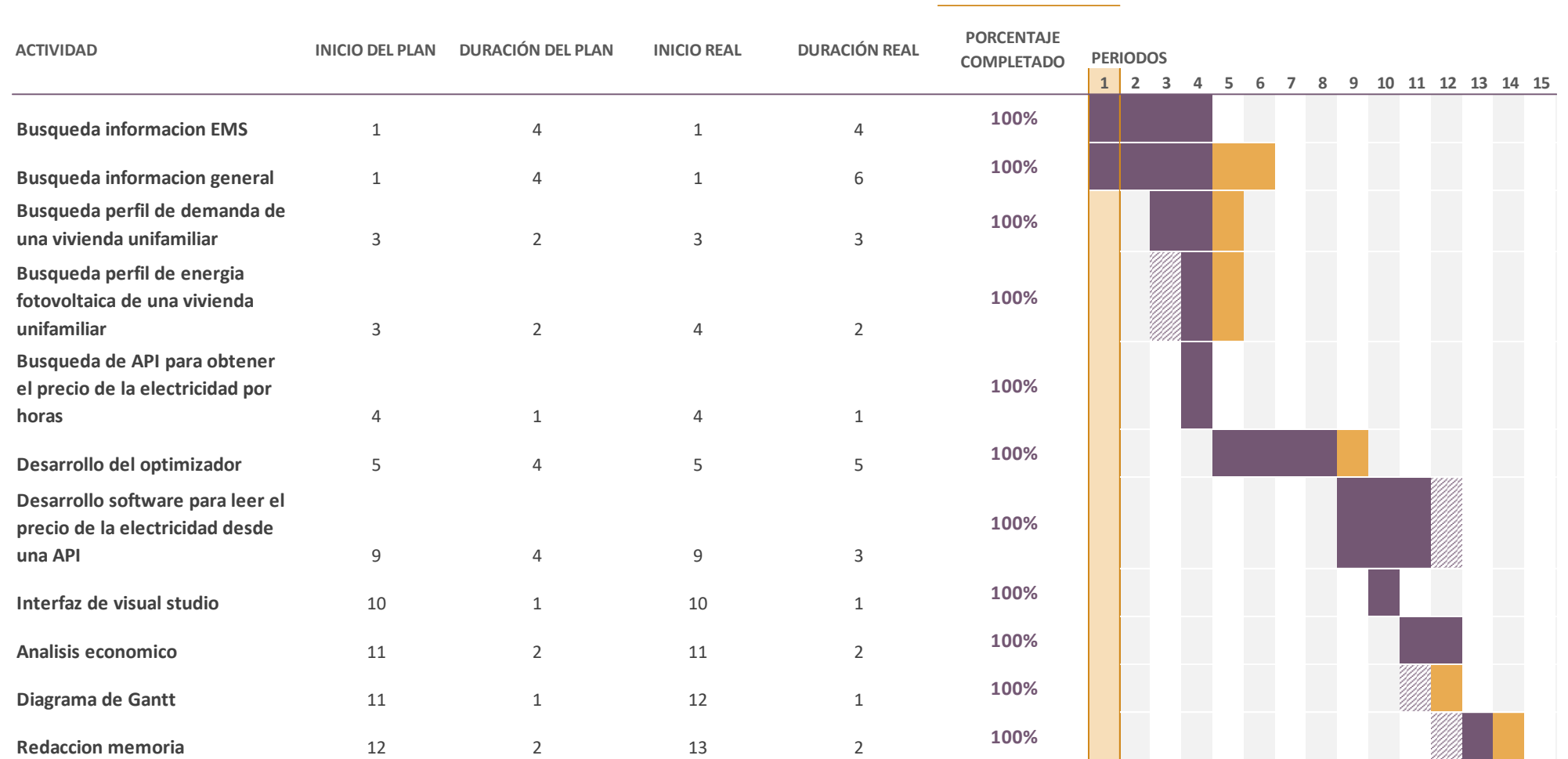


Ilustración 44: inversión de placas fotovoltaicas

Se observa como durante los primeros 6 años aún no se ha recuperado el dinero invertido, pero a partir del sexto año comienza a obtener beneficios.

8 Diagrama de Gantt



9 Futura línea de investigación

Una de las condicionantes que nos encontramos al trabajar con energías limpias es que pueden llegar a existir limitaciones por el lugar en el que se necesiten ponerlas en uso. De esta manera, que si se centran los estudios y las mejoras energéticas únicamente en el uso de energía fotovoltaica, queda patente la limitación, ya que solo estaría a expensas de las horas de sol, que no son constantes en los diferentes puntos del globo. Así bien, en los lugares donde las horas de sol escasean, será posible obtener un buen rendimiento económico y medioambiental haciendo uso del abanico de energías alternativas que brinda la naturaleza.

Por otra parte, conociendo la realidad actual en la que estamos inmersos y las necesidades de una sociedad cada vez más exigente se plantea una solución óptima para poder hacer un seguimiento a tiempo real de su consumo.

Atendiendo a esta realidad, en este apartado se plantean algunas posibilidades que pueden resultar interesantes ante el creciente mundo de las EMS.

En primer lugar se propone obtener energía limpia sin depender exclusivamente de la energía fotovoltaica, ya que depende en gran mayoría de la situación geográfica en la que se encuentre la vivienda. Un ejemplo podría ser la energía eólica, o la energía biodegradable. A diferencia de otras energías que pueden llegar a ser perjudiciales para el medio ambiente como para la humedad como es la energía nuclear.

En segundo lugar se propone la implementación de este programa en una vivienda a través de una raspberry, que facilitará a los usuarios de la vivienda un seguimiento de su consumo energético, así como del ahorro principalmente de la energía obtenida de la red eléctrica.

En tercer lugar se pretende registrar los datos de consumo eléctrico, como de producción de energía a través de las placas solares. Con los registros se pretende obtener un mejor modelo de predicción con el paso del tiempo.

En tercer lugar se pretende registrar los datos de consumo eléctrico, como de producción de energía a través de las placas solares. Con los registros se pretende obtener un mejor modelo de predicción con el paso del tiempo.

En cuarto lugar podría realizarse un programa en el cual informe a los usuarios acerca del momento ideal durante para los hábitos de consumo. Con esto se conseguiría obtener un consumo energético racional, y por consiguiente económico y medio ambiental.

10 Conclusiones

Una vez realización el proceso de investigación acerca de las EMS y el consecuente análisis de los resultados obtenidos de la simulación de la vivienda se procederá a exponer las conclusiones obtenidas.

El objetivo principal era el diseño de un algoritmo que interprete en qué momento resulta ser más óptimo alimentar energéticamente la casa a base de las baterías donde se almacena la energía producida por los paneles solares y cuando desde la red eléctrica. Se puede afirmar que se ha alcanzado este objetivo. Para poder respaldar que el objetivo se ha cumplido se observa el análisis de las gráficas obtenidas en donde la vivienda tiene grandes periodos de tiempo donde la fuente de alimentación proviene exclusivamente de las baterías.

Otro objetivo marcado al principio del proyecto consistía en demostrar ahorro económico, justificando de esta manera la instalación de placas solares ,y porque las EMS están teniendo tanto éxito actualmente. Se ha visto reflejado en los resultados obtenidos como algunos días la vivienda puede llegar a ahorrar hasta más de la mitad del dinero gastado en electricidad, tan solo teniendo unas placas solares instaladas y el empleo del algoritmo.

El algoritmo es muy interesante ya también arroja información acerca el consumo diario de la vivienda. Esto puede llegar a ser un dato realmente interesante para el usuario de la vivienda ya que puede analizar si le conviene tener una tarifa más reducida en cuanto a la potencia contratada.

El software realizado acerca la obtención desde una API el precio de la luz es muy interesante debido a la rápida obtención del precio de la luz por horas en un instante, y su posterior escritura en Access.

En conclusión, todos los objetivos que se plantearon al comienzo de este proyecto han sido satisfactoriamente cumplimentados. Se ha logrado demostrar que el empleo de una micro red inteligente llega a ser realmente económico.

11 Referencias

- [1] Bordons, C., García-Torres, F., & Valverde, L. (2015). Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 12(2), 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2015.03.001>
- [2] González López Directores, Á. J., & Eloy-García Carrasco Manuel García Plaza, J. (2012). Gestión De La Energía En Una Red Inteligente. *Gestion de La Energia En Una Red Electrica*, 60–115. <https://core.ac.uk/download/pdf/29403010.pdf>
- [3] Möller, M. C., & Krauter, S. (2022). Solar Energy , Lithium-Ion Battery and Hydrogen. *Energy*, 2201(15), 1–23.
- [4] Olivares, D. E., Cañizares, C. A., & Kazerani, M. (2011). A centralized optimal energy management system for microgrids. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/PES.2011.6039527>
- [5] Sampietro, J. L., & Pico Valencia, P. (2018). Revisión bibliográfica de sistemas de control para gestión de micro-redes de energía. *Maskay*, 8(2), 60. <https://doi.org/10.24133/maskay.v8i2.971>
- [6] Zahraoui, Y., Alhamrouni, I., Mekhilef, S., Reyasudin Basir Khan, M., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., & Horan, B. (2021). Energy management system in microgrids: A comprehensive review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(19), 1–33. <https://doi.org/10.3390/su131910492>
- [7] Ramos, S., Soares, J., Foroozandeh, Z., Tavares, I., & Vale, Z. (2021). Energy consumption and PV generation data of 15 prosumers (15 minute resolution). <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5106455>

12 Presupuesto

Descripción	Uds.	Precio	Total
Ordenador portátil	1	1000 €	1000€
Licencia Microsoft 365	1	69€	69€
Licencia de <i>Matlab&Simulink</i>	1	840€/año	840€
TOTAL			1909€

Tabla 5: Costes Materiales

Descripción	Uds.(h)	Precio por unidad	Total
Estudio inicial del proyecto	15	20€/h	300€
Investigación inicial	15	20€/h	300€
Desarrollo del software en Matlab	50	20€/h	1000€
Desarrollo del software en Visual Studio	30	20€/h	600€
Implementación de ambos software	25	20€/h	500€
Obtención de resultados y análisis	30	20€/h	600€
Reuniones con el tutor	15	20€/h	300€
Documentación extra	20	20€/h	400€
TOTAL			4000€

Tabla 6: Costes de mano de obra

Descripción	Total
Costes Materiales	1909€
Costes de mano de obra	4000€
TOTAL	5909€

Tabla 7: Costes totales

13 Anexo

Internet

```
using System;
using System.Net.Http;
using System.Web;
using System.Data;
using System.Net;
using System.Text.Json;
using System.Text.Json.Serialization;
using System.IO;

namespace Internet
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            string web = "https://api.preciodelaluz.org/v1/prices/all?zone=PCB";
            string result = null;
            try
            {
                WebClient client = new WebClient();
                result = client.DownloadString(web);
            }
            catch (Exception ex)
            {
                Console.WriteLine("Exception: " + ex.Message);
            }
        }

        string barra = "\"";

        string comparacion = barra + "00-01" + barra + ":{";
        string comparacion1 = barra + "01-02" + barra + ":{";
        string comparacion2 = barra + "02-03" + barra + ":{";
        string comparacion3 = barra + "03-04" + barra + ":{";
        string comparacion4 = barra + "04-05" + barra + ":{";
        string comparacion5 = barra + "05-06" + barra + ":{";
        string comparacion6 = barra + "06-07" + barra + ":{";
        string comparacion7 = barra + "07-08" + barra + ":{";
        string comparacion8 = barra + "08-09" + barra + ":{";
        string comparacion9 = barra + "09-10" + barra + ":{";
        string comparacion10 = barra + "10-11" + barra + ":{";
        string comparacion11 = barra + "11-12" + barra + ":{";
        string comparacion12 = barra + "12-13" + barra + ":{";
        string comparacion13 = barra + "13-14" + barra + ":{";
        string comparacion14 = barra + "14-15" + barra + ":{";
        string comparacion15 = barra + "15-16" + barra + ":{";
        string comparacion16 = barra + "16-17" + barra + ":{";
        string comparacion17 = barra + "17-18" + barra + ":{";
        string comparacion18 = barra + "18-19" + barra + ":{";
        string comparacion19 = barra + "19-20" + barra + ":{";
        string comparacion20 = barra + "20-21" + barra + ":{";
        string comparacion21 = barra + "21-22" + barra + ":{";
        string comparacion22 = barra + "22-23" + barra + ":{";
        string comparacion23 = barra + "23-24" + barra + ":{";

        string re;
```

```
        if (result.Contains(comparacion))
        {
            re = result.Replace(comparacion, "\u0022+ "Informacion01" +
"\u0022" + ": {");
            result = re;
        }
        if (result.Contains(comparacion1))
        {
            re = result.Replace(comparacion1, "\u0022" + "Informacion02" +
"\u0022" + ": {");
            result = re;
        }
        if(result.Contains(comparacion2))
        {
            re = result.Replace(comparacion2, "\u0022" + "Informacion03" +
"\u0022" + ": {");
            result = re;
        }
        if (result.Contains(comparacion3))
        {
            re = result.Replace(comparacion3, "\u0022" + "Informacion04" +
"\u0022" + ": {");
            result = re;
        }
        if (result.Contains(comparacion4))
        {
            re = result.Replace(comparacion4, "\u0022" + "Informacion05" +
"\u0022" + ": {");
            result = re;
        }
        if (result.Contains(comparacion5))
        {
            re = result.Replace(comparacion5, "\u0022" + "Informacion06" +
"\u0022" + ": {");
            result = re;
        }
        if (result.Contains(comparacion6))
        {
            re = result.Replace(comparacion6, "\u0022" + "Informacion07" +
"\u0022" + ": {");
            result = re;
        }
        if (result.Contains(comparacion7))
        {
            re = result.Replace(comparacion7, "\u0022" + "Informacion08" +
"\u0022" + ": {");
            result = re;
        }
        if (result.Contains(comparacion8))
        {
            re = result.Replace(comparacion8, "\u0022" + "Informacion09" +
"\u0022" + ": {");
            result = re;
        }
        if (result.Contains(comparacion9))
        {
            re = result.Replace(comparacion9, "\u0022" + "Informacion10" +
"\u0022" + ": {");
            result = re;
        }
        if (result.Contains(comparacion10))
        {
```

```
        re = result.Replace(comparacion10, "\u0022 + "Informacion11" +
"\u0022 + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion11))
    {
        re = result.Replace(comparacion11, "\u0022 + "Informacion12" +
"\u0022 + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion12))
    {
        re = result.Replace(comparacion12, "\u0022 + "Informacion13" +
"\u0022 + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion13))
    {
        re = result.Replace(comparacion13, "\u0022 + "Informacion14" +
"\u0022 + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion14))
    {
        re = result.Replace(comparacion14, "\u0022 + "Informacion15" +
"\u0022 + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion15))
    {
        re = result.Replace(comparacion15, "\u0022 + "Informacion16" +
"\u0022 + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion16))
    {
        re = result.Replace(comparacion16, "\u0022 + "Informacion17" +
"\u0022 + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion17))
    {
        re = result.Replace(comparacion17, "\u0022 + "Informacion18" +
"\u0022 + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion18))
    {
        re = result.Replace(comparacion18, "\u0022 + "Informacion19" +
"\u0022 + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion19))
    {
        re = result.Replace(comparacion19, "\u0022 + "Informacion20" +
"\u0022 + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion20))
    {
        re = result.Replace(comparacion20, "\u0022 + "Informacion21" +
"\u0022 + ": {");
```

```
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion21))
    {
        re = result.Replace(comparacion21, "\u0022" + "Informacion22" +
"\u0022" + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion22))
    {
        re = result.Replace(comparacion22, "\u0022" + "Informacion23" +
"\u0022" + ": {");
        result = re;
    }
    if (result.Contains(comparacion23))
    {
        re = result.Replace(comparacion23, "\u0022" + "Informacion24" +
"\u0022" + ": {");
        result = re;
    }

    Console.WriteLine(result);
    try
    {
        //Pass the file path and file name to the StreamReader
constructor
        StreamWriter sw = new
StreamWriter(@"C:\Users\Usuario\Desktop\TFM\escritura.txt");
        //Write a line of text
        sw.WriteLine(result);

        //Close the file
        sw.Close();
    }
    catch (Exception e)
    {
        Console.WriteLine("Exception: " + e.Message);
    }
}
}
```

Form1

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;
using Newtonsoft.Json;
using Aplicacion.Models;
using System.Data.OleDb;

namespace Aplicacion
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public static string _path_origen;
        public static string _path_destino;
        public static string _path_database;

        decimal numero1;
        decimal numero2;
        decimal numero3;
        decimal numero4;
        decimal numero5;
        decimal numero6;
        decimal numero7;
        decimal numero8;
        decimal numero9;
        decimal numero10;
        decimal numero11;
        decimal numero12;
        decimal numero13;
        decimal numero14;
        decimal numero15;
        decimal numero16;
        decimal numero17;
        decimal numero18;
        decimal numero19;
        decimal numero20;
        decimal numero21;
        decimal numero22;
        decimal numero23;
        decimal numero24;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void _torginal_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            OpenFileDialog fd = new OpenFileDialog(); // Se declara
            una variable de la clase OpenFileDialog
            fd.Filter = "txt files (*.txt)|*.txt"; // Se aplica
            un filtro para seleccionar el archivo que se desea abrir
        }
    }
}
```

```
        fd.ShowDialog(); // Ejecuta un
cuadro de dialogo comun con un propietario determinador
        _torginal.Text = fd.FileName; // La
direccion se escribirá en el textbox1
        _path_origen = _torginal.Text;
    }

    private void _tdestino_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        OpenFileDialog fd1 = new OpenFileDialog(); // Se declara
una variable de la clase OpenFileDialog
        fd1.Filter = "json files (*.json)|*.json"; // Se aplica
un filtro para seleccionar el archivo que se desea abrir
        fd1.ShowDialog(); // Ejecuta un
cuadro de dialogo comun con un propietario determinador
        _tdestino.Text = fd1.FileName; // La
direccion se escribirá en el textbox1
        _path_destino = _tdestino.Text;
    }

    private void _tdatabase_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        OpenFileDialog fd2 = new OpenFileDialog(); // Se declara
una variable de la clase OpenFileDialog
        fd2.Filter = "acddb files (*.acddb)|*.acddb"; // Se
aplica un filtro para seleccionar el archivo que se desea abrir
        fd2.ShowDialog(); // Ejecuta un
cuadro de dialogo comun con un propietario determinador
        _tdatabase.Text = fd2.FileName; // La
direccion se escribirá en el textbox1
        string datos = @"Provider = Microsoft.ACE.OLEDB.12.0; Data Source =
";
        _path_database = datos + _tdatabase.Text;
    }

    private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        #region Lectura_y_escritura_ficheros
        StreamWriter swOut = null;
        StreamReader sr = null;

        sr = Metodos.Lecturafichero(_torginal.Text); // Abre el fichero
        if (sr == null) return;

        swOut = Metodos.FicheroTextoEscritura(_tdestino.Text); // Se escribe
en un fichero de texto
        if (swOut == null) return;

        //int lineCount = Metodos.Lectura_lineas(sr);
        Metodos.cambios_en_json(swOut, sr);

        sr.Close();
        swOut.Close();
        #endregion

        MessageBox.Show("Se han realizado los cambios oportunos");
    }

    private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        var pr = GetJson();
    }
```

```
//Deserializacion(pr);
var prueb = JsonConvert.DeserializeObject<List<Informacion>>(pr);

textBox1.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion01.price);
textBox2.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion02.price);
textBox3.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion03.price);
textBox4.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion04.price);
textBox5.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion05.price);
textBox6.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion06.price);
textBox7.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion07.price);
textBox8.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion08.price);
textBox9.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion09.price);
textBox10.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion10.price);
textBox11.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion11.price);
textBox12.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion12.price);
textBox13.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion13.price);
textBox14.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion14.price);
textBox15.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion15.price);
textBox16.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion16.price);
textBox17.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion17.price);
textBox18.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion18.price);
textBox19.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion19.price);
textBox20.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion20.price);
textBox21.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion21.price);
textBox22.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion22.price);
textBox23.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion23.price);
textBox24.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion24.price);
textBox25.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion01.date);
textBox26.Text = Convert.ToString(prueb[0].Informacion02.units);

numero1 = Convert.ToDecimal(textBox1.Text);
numero2 = Convert.ToDecimal(textBox2.Text);
numero3 = Convert.ToDecimal(textBox3.Text);
numero4 = Convert.ToDecimal(textBox4.Text);
numero5 = Convert.ToDecimal(textBox5.Text);
numero6 = Convert.ToDecimal(textBox6.Text);
numero7 = Convert.ToDecimal(textBox7.Text);
numero8 = Convert.ToDecimal(textBox8.Text);
numero9 = Convert.ToDecimal(textBox9.Text);
numero10 = Convert.ToDecimal(textBox10.Text);
numero11 = Convert.ToDecimal(textBox11.Text);
numero12 = Convert.ToDecimal(textBox12.Text);
numero13 = Convert.ToDecimal(textBox13.Text);
numero14 = Convert.ToDecimal(textBox14.Text);
numero15 = Convert.ToDecimal(textBox15.Text);
numero16 = Convert.ToDecimal(textBox16.Text);
numero17 = Convert.ToDecimal(textBox17.Text);
numero18 = Convert.ToDecimal(textBox18.Text);
numero19 = Convert.ToDecimal(textBox19.Text);
numero20 = Convert.ToDecimal(textBox20.Text);
numero21 = Convert.ToDecimal(textBox21.Text);
numero22 = Convert.ToDecimal(textBox22.Text);
numero23 = Convert.ToDecimal(textBox23.Text);
numero24 = Convert.ToDecimal(textBox24.Text);
}

private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    OleDbConnection miconexion = new OleDbConnection(_path_database);
```


Métodos

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.IO;

namespace Aplicacion
{
    class Metodos
    {
        public static StreamReader Lecturafichero(string a) // Función para leer
un fichero binario
        {
            // Declaraciones
            FileStream fsIn = null;
            StreamReader sr = null;

            // Intento de apertura de fichero de lectura
            try
            {
                // Obtiene el FileStream
                fsIn = new FileStream(a, FileMode.Open, FileAccess.Read);
                sr = new StreamReader(fsIn);
            }

            catch (Exception e)
            {
                Console.WriteLine("ERROR en intento de lectura en el fichero: \n\n" +
a);
            }

            return sr;
        }

        public static StreamWriter FicheroTextoEscritura(string a) // Función
para escribir en un fichero de texto
        {
            // Declaraciones e inicializaciones
            FileStream fsOut = null;
            StreamWriter swOut = null;

            // Intento de apertura del fichero de escritura
            try
            {
                // Obtiene el Stream
                fsOut = new FileStream(a, FileMode.Create, FileAccess.Write);
                // Obtiene el StreamWriter
                swOut = new StreamWriter(fsOut);
            }
            catch (Exception e)
            {
                Console.WriteLine("ERROR en intento de escritura en el fichero2 :
\n\n");
                // Mensaje de error al usuario
            }
        }
    }
}
```

```
        return swOut;
    }

    public static void cambios_en_json(StreamWriter sw, StreamReader sr)
    {
        sw.WriteLine("[");
        string linea;
        string barra = "\"";

        string comparacion = barra + "00-01" + barra + ":{";
        string comparacion1 = barra + "01-02" + barra + ":{";
        string comparacion2 = barra + "02-03" + barra + ":{";
        string comparacion3 = barra + "03-04" + barra + ":{";
        string comparacion4 = barra + "04-05" + barra + ":{";
        string comparacion5 = barra + "05-06" + barra + ":{";
        string comparacion6 = barra + "06-07" + barra + ":{";
        string comparacion7 = barra + "07-08" + barra + ":{";
        string comparacion8 = barra + "08-09" + barra + ":{";
        string comparacion9 = barra + "09-10" + barra + ":{";
        string comparacion10 = barra + "10-11" + barra + ":{";
        string comparacion11 = barra + "11-12" + barra + ":{";
        string comparacion12 = barra + "12-13" + barra + ":{";
        string comparacion13 = barra + "13-14" + barra + ":{";
        string comparacion14 = barra + "14-15" + barra + ":{";
        string comparacion15 = barra + "15-16" + barra + ":{";
        string comparacion16 = barra + "16-17" + barra + ":{";
        string comparacion17 = barra + "17-18" + barra + ":{";
        string comparacion18 = barra + "18-19" + barra + ":{";
        string comparacion19 = barra + "19-20" + barra + ":{";
        string comparacion20 = barra + "20-21" + barra + ":{";
        string comparacion21 = barra + "21-22" + barra + ":{";
        string comparacion22 = barra + "22-23" + barra + ":{";
        string comparacion23 = barra + "23-24" + barra + ":{";

        while ((linea = sr.ReadLine()) != null)
        {
            if (linea.Contains("is-cheap"))
            {
                linea = linea.Replace("is-cheap", "is_cheap");
            }
            else if (linea.Contains("is-under-avg"))
            {
                linea = linea.Replace("is-under-avg", "is_under_avg");
            }

            else if (linea.Contains(comparacion))
            {
                linea = ("\u0022" + "Informacion01" + "\u0022" + ":{");
            }
            else if (linea.Contains(comparacion1))
            {
                linea = ("\u0022" + "Informacion02" + "\u0022" + ":{");
            }
            else if (linea.Contains(comparacion2))
            {
                linea = ("\u0022" + "Informacion03" + "\u0022" + ":{");
            }
        }
    }
}
```

```
else if (linea.Contains(comparacion3))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion04" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion4))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion05" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion5))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion06" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion6))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion07" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion7))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion08" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion8))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion09" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion9))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion10" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion10))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion11" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion11))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion12" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion12))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion13" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion13))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion14" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion14))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion15" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion15))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion16" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion16))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion17" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion17))
{
    linea = ("\u0022" + "Informacion18" + "\u0022" + ": {");
}
else if (linea.Contains(comparacion18))
{
```

```
        linea = ("\u0022" + "Informacion19" + "\u0022" + ": {}");
    }
    else if (linea.Contains(comparacion19))
    {
        linea = ("\u0022" + "Informacion20" + "\u0022" + ": {}");
    }
    else if (linea.Contains(comparacion20))
    {
        linea = ("\u0022" + "Informacion21" + "\u0022" + ": {}");
    }
    else if (linea.Contains(comparacion21))
    {
        linea = ("\u0022" + "Informacion22" + "\u0022" + ": {}");
    }
    else if (linea.Contains(comparacion22))
    {
        linea = ("\u0022" + "Informacion23" + "\u0022" + ": {}");
    }
    else if (linea.Contains(comparacion23))
    {
        linea = ("\u0022" + "Informacion24" + "\u0022" + ": {}");
    }
    sw.WriteLine(linea);
}
sw.WriteLine("]");
}
}
}
```

Informacion

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace Aplicacion.Models
{
    class Informacion
    {
        public Datos Informacion01 { get; set; }
        public Datos Informacion02 { get; set; }
        public Datos Informacion03 { get; set; }
        public Datos Informacion04 { get; set; }
        public Datos Informacion05 { get; set; }
        public Datos Informacion06 { get; set; }
        public Datos Informacion07 { get; set; }
        public Datos Informacion08 { get; set; }
        public Datos Informacion09 { get; set; }
        public Datos Informacion10 { get; set; }
        public Datos Informacion11 { get; set; }
        public Datos Informacion12 { get; set; }
        public Datos Informacion13 { get; set; }
        public Datos Informacion14 { get; set; }
        public Datos Informacion15 { get; set; }
        public Datos Informacion16 { get; set; }
        public Datos Informacion17 { get; set; }
        public Datos Informacion18 { get; set; }
        public Datos Informacion19 { get; set; }
        public Datos Informacion20 { get; set; }
        public Datos Informacion21 { get; set; }
        public Datos Informacion22 { get; set; }
        public Datos Informacion23 { get; set; }
        public Datos Informacion24 { get; set; }
    }
}
```


Modelos

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;

namespace Aplicacion.Models
{
    class Datos
    {
        public string date { get; set; }
        public string hour { get; set; }
        public bool is_cheap { get; set; }
        public bool is_under_arg { get; set; }
        public string market { get; set; }
        public float price { get; set; }
        public string units { get; set; }
    }
}
```

Matlab

```
% Obtencion de datos desde tablas excel

archivo = 'Demanda.xlsx';

% El -1 indica que puedes escoger los valores que quieras
entrada = xlsread(archivo,-1);
datos_demanda = entrada';

% For para obtener el vector de la demanda con una longitud de 288
for d_i=1:96
    for d_j=1:3
        numero = 3 * d_i + d_j - 3;
        resultado = datos_demanda(d_i)*1000;
        demanda(numero) = resultado;
    end
end
demanda = demanda';

path = ('Energia_fotovoltaica');

% El -1 indica que puedes escoger los valores que quieras
entrada2 = xlsread(path,-1);
datos_fotovoltaica = entrada2';

% For para obtener el vector fotovoltaico con una longitud de 288
for f_i=1:96
    for f_j=1:3
        numero2 = 3 * f_i + f_j - 3;
        resultado2 = datos_fotovoltaica(f_i)*1000;
        fotovoltaica(numero2) = resultado2;
    end
end
fotovoltaica=fotovoltaica';

% Obtencion de datos desde la database

% Conectar con la base de datos
conn = database('Tabla_de_precios','','');

% Establecer consulta para ejecutar en la base de datos
query = ['SELECT * ' ...
        'FROM Tabla1'];

% Obtencion de resultados
data = fetch(conn,query);

% Lectura de cantidad de días que tiene almacenada la base de datos
dias = data.(1);

% Guardar el valor de la longitud de la base de datos
dias_lo = length(dias);

% For para almacenar los valores del precio en un vector
```

```
for p_i=1:24
    p_j = p_i + 3; % el 3 es porque en la base de datos empieza en el 4
    vector(p_i) = [data.(p_j)(dias_lo)];
end

% Formar el vector con las características
for contador= 1:24
    for p_k = 1:12
        numero_operacion = 12 * contador + p_k - 12;
        division = vector(contador)/1000;
        resultado_costes(numero_operacion)=division;
    end
end

% Definir el vector de precios que se va a emplear
Costes = resultado_costes';

% Cerrar conexión con la base de datos
close(conn)

% Limpiar variables
clear conn query

%% Inicializacion de datos
% Set up Optimization Parameters
FinalWeight = 1; % Final weight on energy storage
timeOptimize = 5; % Time step for optimization [min]

% Battery/PV parameters
panelArea = 2500;
panelEff = 0.3;

battEnergy = 2500*3.6e6;
Einit = 0.5*battEnergy;
batteryMinMax.Emax = 0.8*battEnergy;
batteryMinMax.Emin = 0.2*battEnergy;
batteryMinMax.Pmin = -400e3;
batteryMinMax.Pmax = 400e3;

% Adjust and Select Loading
loadSelect = 3;
loadBase = 350e3;

% Setup Time Vectors
dt = timeOptimize*60; %vale 300
N = 288;
tvec = (1:N)'*dt;
thour = tvec/3600;

eff=0.25;
horas = 24;
instantes=horas*60/5;

%% Predicciones
for k=1:instantes
    % Ajuste de vectores, con respecto al instante en el que se encuentra
    k;
```

```
Ppv = fotovoltaica(k:end);
Pload = demanda(k:end);
C = Costes(k:end);
N = size(Ppv,1);
thour1 = (k:k+N-1);

% Optimize Grid Energy Usage
[Pgrid,Pbatt,Ebatt] =
battSolarOptimize(N,dt,Ppv,Pload,Einit,C,FinalWeight,batteryMinMax);

% Se plotean los resultados en unos instantes en concreto, cada
% instante hay que multiplicarlo por 5 si se quiere saber el minuto del
% día en el que se encuentra el ploteo, y si ya se quiere saber la
% hora, se divide entre 60
if((k==1)||(k==8)|| (k==36) || (k==48) || (k==100) || (k==200) ||
(k==250))

    figure;
    subplot(4,1,1);

    plot(thour1,Ebatt/3.6e6); grid on;
    xlabel('Time [instante = 5 min]'); ylabel('Battery Energy [kW-h]');

    subplot(4,1,2);
    stairs(thour1,C); grid on;
    xlabel('Time [instante = 5 min]'); ylabel('Grid Price [$/kWh]');

    subplot(4,1,3);
    plot(thour1,Pbatt,thour1,Pgrid);
    grid on;
    legend('Battery','Grid')
    xlabel('Time [instante = 5 min]'); ylabel('Power [W]');

    subplot(4,1,4);
    plot(thour1,Ppv,thour1,Pload);
    grid on;
    legend('PV','Load')
    xlabel('Time [instante = 5 min]'); ylabel('Power [W]');

    % Titulo del subplot
    % Cada instante o cada interaccion del bucle for equivale a 5
    % minutos
    min = k*5;
    horas = round(min/60,1);
    txt = ['Instante acutal ',num2str(k),' = ',num2str(min),' min', ' =
',num2str(horas),' horas'];
    sgtitle(txt);

end

% Actualizacion de valores tanto del Pgrid,como del Pbatt, Ebatt,
% ademas e actualiza el valor de la energia inicial de la bateria
Pgrid_control(k)=Pgrid(1);
Pbatt_control(k)=Pbatt(1);
Ebatt_control(k)=Einit;
Einit = Einit - eff * Pbatt_control(k)*dt;
```

```
% Simplemente para comprobar si hay diferencia entre la energia inicial
% de la bateria con el valor que te devuelve el optimizador de la
% energia de la bateria
% La diferencia varía entre 0.03 a -0.03, no creo que sea oportuno
% realizar esta comparacion ya que no aporta mucho
diferencia = Einit - Ebatt_control(k);
mostrar = [Einit Ebatt_control(k) diferencia];
E_guardar(k) = Ebatt(1); % para comparar despues

end
close all

%% Prueba de costes
pagar = 0;
consumo = 0;
sinoptimizar = 0;
for i=1:instantes
    i;
    Costes(i);
    Pgrid_control(i);
    % El C24 se divide entre 10 para que tenga un precio más acorde a la
    % busqueda que realice, y el 12 es porque esta medido en horas y yo lo
    % quiero cada 5 minutos por eso el cambio
    %
    % El Pgrid_control se divide entre primero entre 1000 para pasarlo a KW
    % y posteriormente otra vez entre 1000 para que tenga un valor mas
    % sensato
    Precio(i) = Costes(i)/12 * Pgrid_control(i)/2000000;
    if(Precio(i) < 0)
        Precio(i) = 0;
    end
    pagar = Precio(i)+pagar;
    ploteo_pagar(i) = pagar;
    a=0;

    if(Pgrid_control(i) < 0)
        Pgrid_control(i) = 0;
    end
    consumo = Pgrid_control(i) + consumo;

    %Sin el optimizar
    Precio_sin(i)= Costes(i)/12 * demanda(i)/200;
    sinoptimizar = Precio_sin(i)+sinoptimizar;
    ploteo_sin(i) = sinoptimizar;

end

diferencia = sinoptimizar - pagar;
totalconsumo = consumo/288/100;
figure;
subplot(1,2,1);
plot(ploteo_pagar);grid on;
title('Costes con optimizador');
xlabel('Time [instante = 5 min]'); ylabel('Price [$]');

subplot(1,2,2);
plot(ploteo_sin);grid on;
```

```
title('Costes sin optimizador');
xlabel('Time [instante = 5 min]'); ylabel('Price [$]');

fprintf("=====\n");

fprintf('Resultados al día:\n');
mes_pagar = pagar *24*2;
mes_pagar_sin = sinoptimizar *24*2;

fprintf ('El precio que estas pagando con el optimizador es de: %d euros al día\n',pagar);
fprintf ('El precio que se paga sin optimizar es de: %d euros al día\n\n', sinoptimizar);

fprintf('Diferencia de precios:\n');
fprintf ('La diferencia es de: %d euros al día\n\n', diferencia);

fprintf('Coste de la factura:\n')
fprintf ('El precio que estas pagando cada dos meses es de: %d euros\n',mes_pagar);
fprintf('El precio que se habría pagado sin optimizar cada dos meses: %d euros\n',mes_pagar_sin);
fprintf ('El consumo al día es de: %d watos\n\n',totalconsumo);

figure();
plot(thour,ploteo_pagar,thour,ploteo_sin);grid on;
title ('dos graficas');
legend('Optimizada','Sin optimizar')

%% Ploteo de los valores obtenidos
figure;
subplot(3,1,1);
plot(Pgrid_control); grid on;
title('Pgrid control');
xlabel('Time [instante = 5 min]'); ylabel('Power [W]');

subplot(3,1,2);
plot(Pbatt_control); grid on;
title('Pbatt control');
xlabel('Time [instante = 5 min]'); ylabel('Power [W]');

subplot(3,1,3);
plot(Ebatt_control); grid on;
title('Ebatt control');
xlabel('Time [instante = 5 min]');ylabel('Battery Energy [kW-min]');
```

Battsolaroptimize

```
function [Pgrid,Pbatt,Ebatt] =
battSolarOptimize(N,dt,Ppv,Pload,Einit,Cost,FinalWeight,batteryMinMax)

% Minimize the cost of power from the grid while meeting load with power
% from PV, battery and grid

prob = optimproblem;

% Decision variables
PgridV = optimvar('PgridV',N);
PbattV =
optimvar('PbattV',N,'LowerBound',batteryMinMax.Pmin,'UpperBound',batteryMinMax.Pmax);
EbattV =
optimvar('EbattV',N,'LowerBound',batteryMinMax.Emin,'UpperBound',batteryMinMax.Emax);

% Minimize cost of electricity from the grid
prob.ObjectiveSense = 'minimize';
prob.Objective = dt*Cost'*PgridV - FinalWeight*EbattV(N);

% Power input/output to battery
prob.Constraints.energyBalance = optimconstr(N);
prob.Constraints.energyBalance(1) = EbattV(1) == Einit;
prob.Constraints.energyBalance(2:N) = EbattV(2:N) == EbattV(1:N-1) -
PbattV(1:N-1)*dt;

% Satisfy power load with power from PV, grid and battery
prob.Constraints.loadBalance = Ppv + PgridV + PbattV == Pload;

% Solve the linear program
options = optimoptions(prob.optimoptions,'Display','none');
[values,~,exitflag] = solve(prob,'Options',options);

% Parse optimization results
if exitflag <= 0
    Pgrid = zeros(N,1);
    Pbatt = zeros(N,1);
    Ebatt = zeros(N,1);
else
    Pgrid = values.PgridV;
    Pbatt = values.PbattV;
    Ebatt = values.EbattV;
end
```



ESPSC

Monocrystalline Solar Module

Q High-quality
With 72 cells and 5 bypass diodes in power classes from 380 to 400 Wp for grid connected systems.

\$ Reliable
The high quality level of ERA SOLAR guarantees long life-time and high earnings.

kg Solid
An Aluminium hollow-chamber frame on each side combined with low-iron and tempered solar glass ensures high load capacity resistance.

Wp Performance guarantee
ERA SOLAR grants a power guarantee of 90% of nominal power output up to 10 years and 80% up to 25 years.

+ WATTS POSITIVE TOLERANCE	10 YEARS PRODUCT WARRANTY	10 YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 90%	25 YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 80%
-----------------------------------	----------------------------------	---	---

ESPSC

Monocrystalline Solar Module

SPECIFICATIONS

Dimensions	1979 x 1002 x 40mm
Weight	22.5 kg
Frame	Aluminium hollow-chamber frame on each side
Glass	Low-iron and tempered glass 3.2 mm
Cells	72 pcs Mono PERC (158.75 x 158.75 mm)
Cell Embedding	EVA
Back-Foil	FEVE / PET / FEVE
Junction Box	TÜV certified
Cable	4 mm ² solar cable 2 x 900 mm or Customized Length
Temperature Range	-40°C ... +85°C
Load Capacity	5400 Pa(IEC61215),40mm

Application class	Class A
Electrical protection class	Class II
Fire safety class	Class C
Product warranty	10 years
Power Guarantee	10 years 90% 25 years 80%

Packaging Configuration
(Two pallets = One stack)
27pcs/pallet, 54pcs/stack,
594pcs/40'HQ Container

CHARACTERISTICS

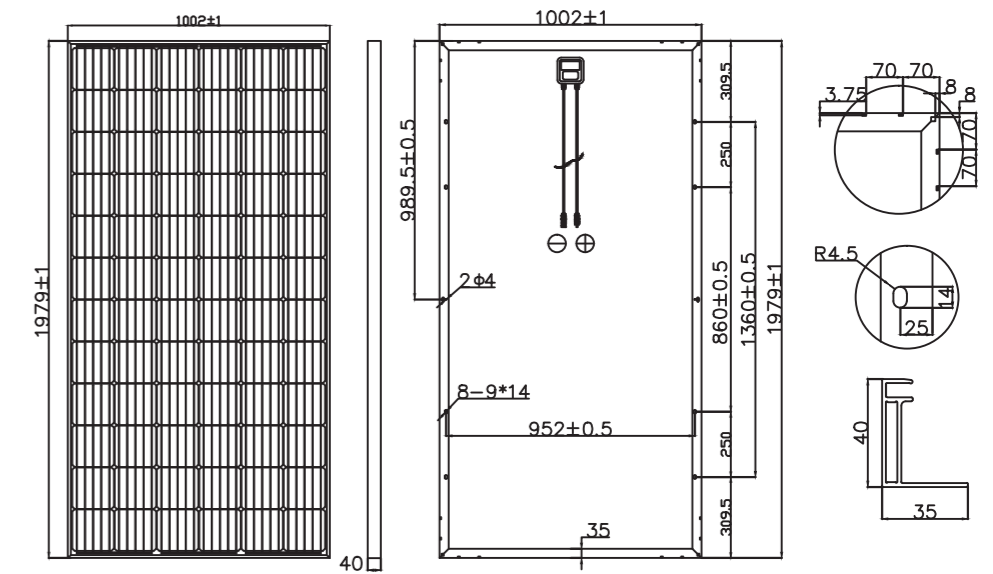
Max. System Voltage	1000V/DC
Temperature-Coefficient I _{sc}	+0.02973%/°K
Temperature-Coefficient V _{oc}	-0.38038%/°K
Temperature-Coefficient P _{mpp}	-0.57402%/°K
NOCT***	45°C

CERTIFICATES

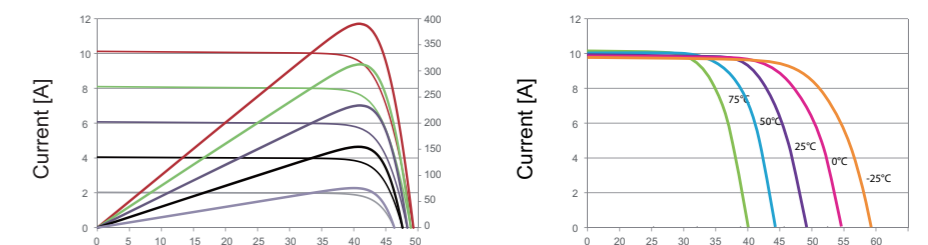
IEC 61215 edition 2 (TÜV Nord)
(TÜV Rheinland)
IEC 61730 MCS INMETRO
CE CEC SALT-MIST
UL1703 CSA
PID Resistant

INSURANCE

Chubb



CURRENT-VOLTAGE CURVES



Module characteristics at constant module temperatures of 25°C and variable levels of irradiance

Module characteristics at variable module temperatures and constant module irradiance of 1.000 W/m²

ESPSC TYPE	380M	385M	390M	395M	400M
Power Class	380Wp	385Wp	390Wp	395Wp	400Wp
Max. Power Voltage (V _{mpp})* at STC**	40.5V	40.8V	41.1V	41.4V	41.7V
Max. Power Current (I _{mpp}) at STC	9.39A	9.44A	9.49A	9.55A	9.60A
Open Circuit Voltage (V _{oc}) at STC	48.9V	49.1V	49.3V	49.5V	49.8V
Short Circuit Current (I _{sc}) at STC	9.75A	9.92A	10.12A	10.23A	10.36A
Module Efficiency	19.16%	19.42%	19.67%	19.92%	20.17%

* MPP: Maximum Power Point
** STC (Standard Test Conditions): 1000W/m², 25°C, AM 1.5
*** Normal Operating Cell Temperature



Batería de Litio-Ion de 24V 180Ah y derivador Lynx-ion

www.victronenergy.com



Batería de Litio-Ion de 24V 180Ah

Ventajas de la batería de Litio-Ion sobre las baterías convencionales de plomo-ácido

- Alta densidad de energía: más energía con menos peso;
- Altas corrientes de carga (acorta el tiempo de carga);
- Altas corrientes de descarga (permite, por ejemplo, alimentar una cocina eléctrica con una bancada de baterías pequeña);
- Larga vida útil de la batería (hasta seis veces más que la de una batería convencional);
- Alta eficiencia entre la carga y la descarga (muy poca pérdida de energía debido al calentamiento);
- Mayor continuidad de la corriente disponible.

¿Por qué fosfato de hierro y litio?

Las baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO4 o LFP), son las baterías predominantes de Li-Ion más seguras. La tensión nominal de una celda de LFP es de 3,2V (plomo-ácido: 2V/celda). Una batería de 25,6V se compone de 8 celdas conectadas en serie.

Ventajas del sistema de baterías Victron Lynx Lithium-ion

La utilización de este sistema modular aporta las siguientes ventajas:

- El sistema de baterías de Litio-Ion de Victron es fácil de instalar gracias a su modularidad. No se necesitan complicados diagramas de cableado.
- Se dispone de información detallada en su propia pantalla impermeable Ion Control.
- El relé de 350A del Lynx Ion ofrece la máxima seguridad: en caso de que los cargadores o las cargas no respondan a los comandos del Lynx Ion, el relé de seguridad principal se abrirá para evitar daños permanentes en las baterías.
- Para las instalaciones marinas típicas hay una pequeña salida adicional para poder alimentar la bomba de sentina y desconectar todas las demas cargas domésticas abriendo el relé de 350A.



Lynx Ion

Sistema completo

Un sistema completo se compone de:

- Una o más baterías de **de Litio-Ion de 24V 180Ah**.
- (opcional) El **Lynx Power In**, una barra de bus de CC modular.
- El **Lynx Ion** es el sistema de gestión de baterías (BMS) que controla las baterías. Dentro del Lynx Ion hay un contactor de seguridad de 350 A.
- El **Lynx Shunt VE.Can**, un monitor de baterías que incluye el fusible principal. Se debe tener en cuenta que el fusible se compra por separado.
- (opcional) El **Lynx Distributor**, un sistema de distribución de CC con fusibles.
- (opcional) El **Ion Control**, un panel de control digital.



Ion control: Pantalla principal

Baterías de Litio-Ion de 24V 180Ah

La base del sistema de baterías de Litio-Ion de Victron está formado por baterías independientes de Litio-Ion de 24V/180Ah. Dispone de un Sistema de Gestión de Celdas (BMS) que protege la batería a nivel de cada celda. Hace un seguimiento individualizado de la tensión de cada celda y de la temperatura del sistema, y equilibra de forma activa cada celda. Todos los parámetros medidos se envían al Lynx-Ion, que monitoriza el sistema en su conjunto.

Lynx Ion

El Lynx Ion es el BMS. Contiene el contactor de seguridad de 350A y controla el equilibrado de celdas y la carga y descarga del sistema. El Lynx Ion protege el conjunto de baterías tanto de la sobrecarga como de la descarga completa. Cuando una sobrecarga es inminente, ordenará a los dispositivos en carga que disminuyan la misma o la detengan. Esto se hace mediante el VE.Can bus (NMEA2000) compatible, y también a través de los dos contactos de cierre/apertura disponibles. Pasa lo mismo cuando la batería está casi vacía y no hay fuente de carga disponible. Ordenará la desconexión de las cargas importantes.

Tanto para las sobrecargas como para las descargas profundas existe un último recurso de seguridad, el contactor de 350A incorporado. En caso de que el comando no detenga la inminente sobrecarga o descarga profunda, se abrirá el contactor.

NMEA2000 Canbus

La comunicación con el mundo exterior se hace a través del protocolo VE.Can.

Ion Control

Consulte la ficha técnica propia del **Ion Control** para más información sobre la pantalla.



Ion control: Pantalla del histórico de datos



Ion control: Pantalla de estado del Lynx Ion

Baterías de Litio-Ion de 24V 180Ah 4,75kWh

Tecnología	Fosfato de hierro y litio (LiFePo4)
Tensión nominal	26,4 V
Capacidad nominal	180 Ah
Potencia nominal	4,75 kWh
Peso	55 kg
Ratio potencia/peso	86 Wh/kg
Dimensiones (al x an x p)	625 x 195 x 355 mm
Tensión de corte de la carga a 0,05C	28,8 V
Tensión de corte de descarga	20 V
Corriente de carga/descarga recomendada	54 A (0,3C)
Corriente máxima de carga (1C)	180 A
Corriente máxima de descarga (1,5C)	270 A
Corriente de descarga por pulsación (10s)	1.000 A
Cantidad de ciclos @80% DOD (0,3C)	2000
Configuración de series	Sí, hasta 2 (más series si se solicitan)
Configuración paralela	Sí, fácilmente hasta 4 (más en paralelo si se solicita)
Temp. de trabajo para carga	0~45 °C
Temp. de trabajo para descarga	-20~55 °C
Temp. de almacenamiento	-20~45 °C

Lynx Ion

Cantidad máxima de baterías en serie	2
Cantidad máxima de baterías en paralelo	8
Carcasa	
Peso	1,4 kg
Dimensiones (al x an x p)	190 x 180 x 80 mm
IO	
Contactador de seguridad	350 A
Corriente máx. del contactor de la bomba de sentina	10 A
Corriente máx. del contactor de relé externo	10 A
Contacto de la señal de carga	1A @ 60VDC
Contacto de la señal de descarga	1A @ 60VDC
Normativas	
Emisión	EN 50081-1
Inmunidad	EN 50082-1

Diagrama de bloques del sistema de baterías de Litio-Ion.

