



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño de un sistema de generación de energía híbrido y autónomo para una vivienda.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Eléctrica

AUTOR/A: Picazo Santoyo, Darío

Tutor/a: Pascual Molto, Marcos

Cotutor/a: Liberos Mascarell, María Antonia

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Resumen

Resumen

En el presente trabajo se propone el diseño y el análisis técnico y económico de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico para una vivienda sin conexión a la red eléctrica, situada en la provincia de Alicante.

Se diseña para llevar energía a una zona sin conexión eléctrica y con tal de afrontar la reciente problemática del alto precio de la energía eléctrica. Además de sustituir la generación de energía eléctrica a través de combustibles fósiles y apostando por la energía renovable, cada vez más importante para reducir el impacto medioambiental en el planeta Tierra.

Resum

En el present treball es proposa el disseny i l'anàlisi tècnica i econòmica d'un sistema híbrid fotovoltaic-eòlic per a un habitatge sense connexió a la xarxa elèctrica, situada a la província d'Alacant.

Es dissenya per a portar energia a una zona sense connexió elèctrica i amb la condició d'afrontar la recent problemàtica de l'alt preu de l'energia elèctrica. A més de substituir la generació d'energia elèctrica a través de combustibles fòssils i apostant per l'energia renovable, cada vegada més important per a reduir l'impacte mediambiental en el planeta Terra.

Abstract

This work proposes the design and the technical and economic analysis of a hybrid photovoltaic-wind system for a house without connection to the electricity grid, located in the province of Alicante.

It is designed to bring energy to an area with no electricity connection and in order to tackle the recent problem of the high price of electricity. In addition to replacing the generation of electricity through fossil fuels and betting on renewable energy, increasingly important to reduce the environmental impact on planet Earth.

Palabras Clave

Palabras Clave

Sistema híbrido, generación fotovoltaica, generación eólica, energía renovable, autosuficiencia

Paraules Clau

Sistema híbrid, generació fotovoltaica, generació eòlica, energia renovable, autosuficiència

Key Words

Hybrid system, photovoltaic generation, wind generation, renewable energy, self-sufficiency

Índice general

| | |
|---|-----|
| Índice general | III |
| Índice de figuras | V |
| Índice de tablas | VI |
| Lista de Acrónimos | VII |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Sistema de Generación de Energía Híbrido | 1 |
| 1.2. Tipología de la Instalación de Autoconsumo | 1 |
| 1.3. Problemática | 3 |
| 1.4. Solución | 5 |
| 2. Normativa Aplicable | 6 |
| 3. Diseño del Sistema Híbrido Fotovoltaico-Eólico | 8 |
| 3.1. Datos | 8 |
| 3.2. Croquis de la Instalación del SHFE | 18 |
| 3.3. Inversor | 20 |
| 3.4. Banco de Baterías | 23 |
| 3.5. Sistema Generador Fotovoltaico y Eólico | 26 |
| 3.6. Estructuras / Soportes | 31 |
| 3.7. Cableado | 32 |
| 3.8. Protecciones | 37 |
| 3.9. Toma a Tierra | 41 |
| 3.10. Balance Energético | 43 |
| 3.11. Plano Final | 47 |
| 4. Estudio Económico | 52 |
| 4.1. Presupuesto | 52 |
| 4.2. Análisis de la Rentabilidad del Proyecto | 57 |
| 5. Instalación y Legalización en Industria del SHFE | 60 |
| 5.1. Instalación del SHFE | 60 |
| 5.2. Legalización en Industria | 61 |
| 6. Conclusiones | 62 |
| 7. Recomendaciones | 63 |

| | |
|--|-----------|
| 7.1. Recomendaciones Caso Particular | 63 |
| 7.2. Tecnologías en Desarrollo | 64 |
| Bibliografía | 68 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| 1.1. Comparativa por meses del precio de la luz en España | 3 |
| 1.2. Comparativa por años del precio de la luz en España | 4 |
| 3.1. Plano satélite de la vivienda en 2D | 9 |
| 3.2. Insolación recibida según el ángulo azimut de los paneles | 10 |
| 3.3. Plano satélite del tejado con rosa de los vientos | 10 |
| 3.4. Plano satélite de las partes del tejado óptimas | 11 |
| 3.5. Plano satélite de la vivienda con ángulo azimut | 11 |
| 3.6. Plano 2D de la Vivienda con localización del Aerogenerador | 13 |
| 3.7. Mapa de España con los datos de Irradiancia y HSP al año | 15 |
| 3.8. Interfaz de PVGIS | 16 |
| 3.9. Croquis de la Instalación del SHFE | 19 |
| 3.10. Características Técnicas del Inversor | 22 |
| 3.11. Características Técnicas de la Batería | 24 |
| 3.12. Croquis de la conexión del banco de baterías | 25 |
| 3.13. Simulación para una potencia pico de 4500 W | 27 |
| 3.14. Características Técnicas del Panel de 455W | 28 |
| 3.15. Soporte Coplanar de los Paneles Fotovoltaicos | 31 |
| 3.16. Tabla intensidades máximas admisibles del cobre a 40°C | 34 |
| 3.17. Tabla intensidades de los fusibles tipo gL y gG | 38 |
| 3.18. Tabla con las secciones mínimas de los conductores de protección | 42 |
| 3.19. Gráfico Producción de cada Generador-Producción Total en el SHFE | 44 |
| 3.20. Gráfico Consumo-Producción en el SHFE | 45 |
| 3.21. Gráficos en PVGIS de las baterías | 46 |
| 3.22. Esquema Multifilar del SHFE | 48 |
| 3.23. Plano de Ubicación Catastral | 49 |
| 3.24. Plano 2D con la ubicación de los elementos del SHFE | 50 |
| 3.25. Plano Multifilar del SHFE en A4 | 51 |
| 4.1. Gráfico Porcentajes de Precio del Presupuesto | 56 |
| 4.2. Datos Relativos al Estudio Económico del SHFE | 57 |
| 4.3. Estudio de la Rentabilidad Económica de la instalación del SHFE | 58 |
| 7.1. Panel aerovoltaico instalado en tejado | 65 |
| 7.2. Imagen de la grúa utilizada para las baterías de hormigón | 67 |

Índice de tablas

| | | |
|------|--|----|
| 3.1. | Tabla de los consumos del mes crítico | 14 |
| 3.2. | Tabla con los datos para realizar la simulación en PVGIS | 16 |
| 3.3. | Tabla con las medias de las velocidades del viento por mes de los últimos 7 años | 17 |
| 3.4. | Tabla con los datos de los rendimientos de los elementos del SHFE | 20 |
| 3.5. | Tabla con los datos de Producción Eólica para cada día de cada mes | 30 |
| 3.6. | Tabla con los Tramos del Cableado del SHFE | 32 |
| 3.7. | Tabla de características de cada una de las protecciones utilizadas | 40 |
| 3.8. | Tabla con los Tramos del Cableado del SHFE | 41 |
| 3.9. | Tabla con los datos de Consumos Y Producción cada mes | 43 |
| 4.1. | Presupuesto Inversor Instalación SHFE | 53 |
| 4.2. | Presupuesto Panel Solar Instalación SHFE | 53 |
| 4.3. | Presupuesto Aerogenerador Instalación SHFE | 53 |
| 4.4. | Presupuesto Batería Instalación SHFE | 53 |
| 4.5. | Presupuesto Cableado Instalación SHFE | 54 |
| 4.6. | Presupuesto Protecciones Instalación SHFE | 54 |
| 4.7. | Presupuesto Mano de Obra Instalación SHFE | 54 |
| 4.8. | Presupuesto Final Instalación SHFE | 55 |

Lista de Acrónimos

- ◇ “ SHFE ” : Sistema Híbrido Fotovoltaico Eólico
- ◇ “ PVGIS ” : Photovoltaic Geographical Information System
- ◇ “ IEC ” : International Electrotechnical Commission (Comisión Internacional Electrotécnica)
- ◇ “ CC ” : Corriente Continua
- ◇ “ CA ” : Corriente Alterna
- ◇ “ PWM ” : Pulse Width Modulation (Modulación por Ancho de Pulsos)
- ◇ “ MPPT ” : Maximum Power Point Tracker (Seguidor del Punto de Máxima Potencia)
- ◇ “ STC ” : Standar Test Condition (Condiciones Estándar de Medida)
- ◇ “ INE ” : Instituto Nacional de Estadística
- ◇ “ OCU ” : Organización de Consumidores y Usuarios
- ◇ “ DOD ” : Depth Of Discharge (Profundidad De Descarga)
- ◇ “ NOCT ” : Nominal Operating Cell Temperature (Temperatura de Operación Nominal de la Célula)
- ◇ “ HSP ” : Horas de Sol Pico
- ◇ “ AGM ” : - Absorbed Glass Mat (Separador de Vidrio Absorbente)
- ◇ “ CIE ” : Certificado de Instalación Eléctrica

1 Introducción

En este proyecto se pretende realizar el estudio para llevar a cabo una instalación de generación de energía totalmente autónoma. Se va a diseñar un sistema híbrido de energía renovable a través de la tecnología de generación de energía fotovoltaica y eólica para una vivienda familiar con espacio suficiente para realizar esta instalación.

Por ello, el objeto principal del estudio es proporcionar a la vivienda, ya existente, las instalaciones necesarias para conseguir una completa autosuficiencia energética, supliendo el consumo energético necesario de la misma.

1.1 Sistema de Generación de Energía Híbrido

Un sistema de generación de energía híbrido es un conjunto generador que produce electricidad a partir de dos o más fuentes, generalmente de origen renovable, compartiendo un mismo punto de conexión que dependiendo de la disponibilidad de los recursos debe generar y distribuir energía eléctrica de forma optimizada, a una determinada carga o a una red eléctrica, aislada o conectada a otras redes.

En este caso, se ha decidido combinar la tecnología fotovoltaica con la eólica. Más adelante, en la [subsección 3.1.3](#) se comentará el por qué de esta decisión.

1.2 Tipología de la Instalación de Autoconsumo

Para definir la tipología de la instalación de autoconsumo del SHFE se debe citar el Real Decreto 244 aprobado por el gobierno el 5 de abril de 2019, la cuál habilita diversas posibles configuraciones para las instalaciones de generación. Para hacerse una idea de las instalaciones posibles se ha hecho un resumen de una parte del capítulo 2 y 3 del Real Decreto 244: (Contiene texto extraído del propio Real Decreto 244/2019)

Tipos de instalación

-Conectada a la red eléctrica: *Aquella instalación de generación conectada en el interior de una red de un consumidor, que comparte infraestructuras de conexión a la red con un consumidor o que esté unida a este a través de una línea directa y que tenga o pueda tener, en algún momento, conexión eléctrica con la red de transporte o distribución. También tendrá consideración de instalación de generación conectada a la red aquella que está conectada directamente a las redes de transporte o distribución.*

-Aislada de la red eléctrica: *Aquella en la que no existe en ningún momento capacidad física de conexión eléctrica con la red de transporte o distribución ni directa ni indirectamente a través de una instalación propia o ajena. Las instalaciones desconectadas de la red mediante dispositivos interruptores o equivalentes no se considerarán aisladas a los efectos de la aplicación de este real decreto.*

Tipos de consumidores

-Consumidores Individuales: *Cuando exista un único consumidor asociado a la instalación.*

-Consumidores Colectivos: *Cuando existan varios consumidores asociados a la misma instalación de generación.*

Tipos de conexión a la red

Las instalaciones de generación podrán conectarse de diferentes formas, de manera que serán:

-Instalaciones próximas en red interior: *Cuando se conecten en la red interior de los consumidores.*

-Instalaciones próximas a través de red: *Cuando se conecten a las redes de baja tensión que dependan del mismo centro de transformación, o se conecten a menos de 500m del consumidor, o estén ubicadas en la misma referencia catastral que el consumidor.*

Modalidades de Autoconsumo

Solo si la instalación se conecta a Red Eléctrica.

-Autoconsumo sin excedentes: *Cuando existen sistemas antivertido que impiden la inyección de energía excedentaria a la red de transporte o distribución. En estas instalaciones el desarrollo tecnológico se alía con el progreso comercial del almacenamiento con baterías, que permite una mejor gestión de los picos de demanda mientras reduce la presión sobre las redes de distribución. En este caso existe un único tipo de sujeto: el consumidor.*

-Autoconsumo con excedentes: *Cuando las instalaciones de generación pueden, además de suministrar energía para autoconsumo, inyectar energía excedentaria en las redes de transporte y distribución. En estos casos existen dos tipos de sujetos: consumidor y productor.*

Las instalaciones con excedentes podrán ser:

-Autoconsumo con excedentes acogidas a compensación.

-Autoconsumo con excedentes sin compensación.

Con cualquiera de las modalidades, las instalaciones de autoconsumo ofrecen a los consumidores interesantes ahorros en su factura eléctrica. Aunque en ningún caso el resultado podrá ser negativo.

Después de describir cómo se clasifican las instalaciones de autoconsumo, el SHFE que se va a instalar se puede catalogar de esta forma:

Instalación Fotovoltaica de Autoconsumo - Aislada de la Red Eléctrica - Instalaciones Próximas En Red Interior - De Baja Tensión - Sin Compensación por Excedentes

1.3 Problemática

Actualmente, en España se consume una energía total de alrededor de los 228 TWh y en el mundo se consume alrededor de 22500 TWh según ([“Consumo Energético Mundial de Electricidad” 2020](#)).

Es por eso que debido a las recientes subidas del precio de la luz en España se ha tenido que buscar varias alternativas para abaratar los costes de la generación u obtención de energía eléctrica.

A continuación, a través de los históricos se puede ver una comparativa sobre los precios de la luz en este último año por meses en esta ([figura 1.1](#)).

| FACTURA MENSUAL ELECTRICIDAD (PVPC) | |
|-------------------------------------|--------------------|
| Mes | Precio (euros/mes) |
| Mayo 2022 | 98,8 |
| Abril 2022 | 102,34 |
| Marzo 2022 | 143,03 |
| Febrero 2022 | 110,27 |
| Enero 2022 | 111,64 |
| Diciembre 2021 | 119,17 |
| Noviembre 2021 | 95,94 |
| Octubre 2021 | 100,7 |
| Septiembre 2021 | 87,40 |
| Agosto 2021 | 78,30 |
| Julio 2021 | 72,20 |
| Junio 2021 | 68,81 |
| Mayo 2021 | 70,55 |
| Abril 2021 | 70,73 |
| Marzo 2021 | 62,25 |
| Febrero 2021 | 55,22 |
| Enero 2021 | 69,88 |
| Diciembre 2020 | 60,96 |
| Noviembre 2020 | 60,33 |
| Octubre 2020 | 57,23 |
| Septiembre 2020 | 58,97 |
| Agosto 2020 | 56,57 |

Figura 1.1: Comparativa por meses del precio de la luz en España

| EVOLUCIÓN ANUAL PRECIO MEDIO DE LA FACTURA | |
|--|--------|
| Factura mensual 2022 (provisional) | 113,23 |
| Factura mensual 2021 | 79,11 |
| Factura mensual 2020 | 56,28 |
| Factura mensual 2019 | 62,33 |
| Factura mensual 2018 | 67,21 |
| Factura mensual 2017 | 65,64 |
| Factura mensual 2016 | 60,03 |
| Factura mensual 2015 | 66,93 |
| Factura mensual 2014 | 63,85 |

Figura 1.2: Comparativa por años del precio de la luz en España

Y también una comparativa de los años anteriores en esta otra [figura 1.2](#).

(Información contrastada en el INE y en <https://www.ocu.org>)

Los motivos por los cuáles se ha dado una subida del precio de la luz estos últimos, se puede ver en el artículo (García 2022), dónde David García, que es empleado de endesa, explica algunos de los motivos por los cuáles esto ha sucedido:

- El Mix de Producción de Electricidad
- Las Condiciones Climatológicas
- El Precio de los Derechos de Emisión de CO2
- El Precio de los Combustibles
- La Demanda Energética

Y a parte, también se considera que se ha olvidado comentar cómo funciona el mercado de la energía en España. El mercado eléctrico en España funciona como cualquier otro mercado, de tal forma que se aplica la ley de la oferta y la demanda. Cómo bien comenta José Luis Crespo en su vídeo (Fracture 2021), toda la energía se vende al precio que marca el punto de casación. El punto de casación es el punto en el cuál la curva de producción y de coste de la energía interseccionan entre sí.

Este tipo de sistema se conoce cómo Sistema Marginalista y tiene un gran problema. Resulta que normalmente en el mercado se igualan los precios de las energías, pero si existe una energía la cuál su coste es muy elevado, todas las demás disparan su precio

automáticamente. Como bien se ha enumerado anteriormente, se sabe que el precio del gas/carbón ha subido mucho últimamente debido a ciertos factores, y es por eso que el precio de la luz en España se ha encarecido exponencialmente.

1.4 Solución

La solución propuesta ante las problemáticas ya citadas anteriormente es la instalación de un SHFE.

Un sistema híbrido brinda la oportunidad de obtener la energía de distintos métodos y de diferentes fuentes que se pueden encontrar en el entorno.

En este caso, se va a apostar por el uso de energías renovables, tanto la energía eólica como la energía fotovoltaica, así que la generación de energía será totalmente aleatoria y dependerá, mayormente, de los acontecimientos meteorológicos.

Es por eso que para la elección del tipo de energía que se pretende obtener se ha tenido en cuenta cuál puede ser más favorable para producir según varios aspectos:

- Localización
- Tecnologías Disponibles
- Liquidez Financiera
- Espacio Disponible

Teniendo en cuenta estos aspectos, se ha elegido utilizar la energía eólica y la energía fotovoltaica. Más adelante, en la [subsección 3.1.3](#), se verá con mayor detalle la elección propuesta.

2 Normativa Aplicable

Para poder realizar una instalación impecable y dentro del marco legal tanto internacional como nacional, se van a exponer a continuación las normativas aplicables vigentes a la instalación del SHFE que se pretende realizar. Para saber qué leyes se deben aplicar, hay que tener en cuenta la tipología de la instalación, ya comentada en la [sección 1.2](#).

El presente proyecto se ha elaborado de acuerdo con la normativa aplicable a instalaciones de energía solar fotovoltaica y eólica, para el autoconsumo de electricidad. La instalación se diseña conforme a la reglamentación, normas técnicas y resoluciones administrativas que le son de aplicación, en particular:

- Real Decreto 842/2002, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión, BOE nº224 de 18/09/2002 e instrucciones técnicas complementarias ITC BT 02, 03, 04, 05, 08, 10,18, 19, 21, 22, 23, 24, 30 y 40.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, BOE nº310 de 27 de diciembre de 2013.
- Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. BOE nº242 de 6 de octubre de 2018.
- Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. BOE nº423 de 10 de octubre de 2015.
- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. BOE nº83 de 6 de abril de 2019.
- 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. BOE nº3295 de 8 de diciembre de 2011.
- Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico (texto consolidado). BOE nº224 de 18 de septiembre de 2007.

- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regulan la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables, cogeneración y residuos.
- Real Decreto 187/2016, de 6 de mayo, relativo a las exigencias de seguridad de material eléctrico en instalaciones eléctricas para determinados límites de Tensión.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Normas UNE 21123, 21030 y UNE HD 603-5N para cables según uso en intemperie, al aire o enterrados.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación y sus modificaciones.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

En los Anexos se inserta el pliego de condiciones técnicas para esta instalación.

3 Diseño del Sistema Híbrido Fotovoltaico-Eólico

3.1 Datos

En esta sección se van a exponer todos los datos necesarios para llevar a cabo la instalación del SHFE, la explicación de la obtención de ellos, tanto así, cómo las justificaciones de cada una de las decisiones que se tengan en cuenta a la hora de diseñar el SHFE. Esta sección, se dividirá en las distintas subsecciones siguientes: [subsección 3.1.1](#), [subsección 3.1.2](#) y [subsección 3.1.3](#).

3.1.1 Vivienda

Referente a la vivienda se van a comentar ciertos aspectos de la misma que son interesantes e indispensables para el desarrollo de la instalación del SHFE.

En torno a la posición de la vivienda, se pueden comentar los siguientes aspectos:

- Latitud = 38.398085062°
- Longitud = -0.4808754431°

(La dirección de la vivienda se reserva para datos de confidencialidad y además se considera que no es realmente necesaria para el estudio).

Seguidamente, en la [figura 3.1](#) se muestra un plano satélite de la vivienda, tanto de la parcela cómo del edificio habitable.

En relación con las medidas de la vivienda, se puede afirmar que:

- Parcela = $2169 m^2$
- Tejado disponible = $144 m^2$



Figura 3.1: Plano satélite de la vivienda en 2D

En las medidas del tejado, ya se ha tenido en cuenta las posibles sombras, obstáculos o impedimentos que hagan mal funcionamiento en los sistemas generadores de energía. Aún así, no significa que sólo se pueda realizar la instalación en esa zona, también se podría instalar en otra zona de la parcela, ya que cómo se puede ver en el plano en la [figura 3.1](#) se dispone de muchas zonas de tierra las cuáles sólo habría que preparar para la instalación.

Esta es una opción a tener en cuenta, aunque la idea principal es la instalación de los sistemas generadores de energía en el tejado, tanto paneles como aerogenerador, con tal de intentar evitar incordios de ocupación de espacios con los mismos y ahorrar metros en relación al cableado.

El siguiente aspecto a tener en cuenta es la orientación de la vivienda.

Cómo bien se sabe gracias a varios libros cómo (Vicente 2019) o bien (T. Markvart 2019), la orientación ideal para los paneles de un sistema fotovoltaico para una instalación situada en el hemisferio norte según la IEC es el sur o cómo se indica en la IEC de ángulo azimut 0° .

En esta [figura 3.2](#) se indica cómo influye el ángulo azimut en la obtención de energía de los paneles.

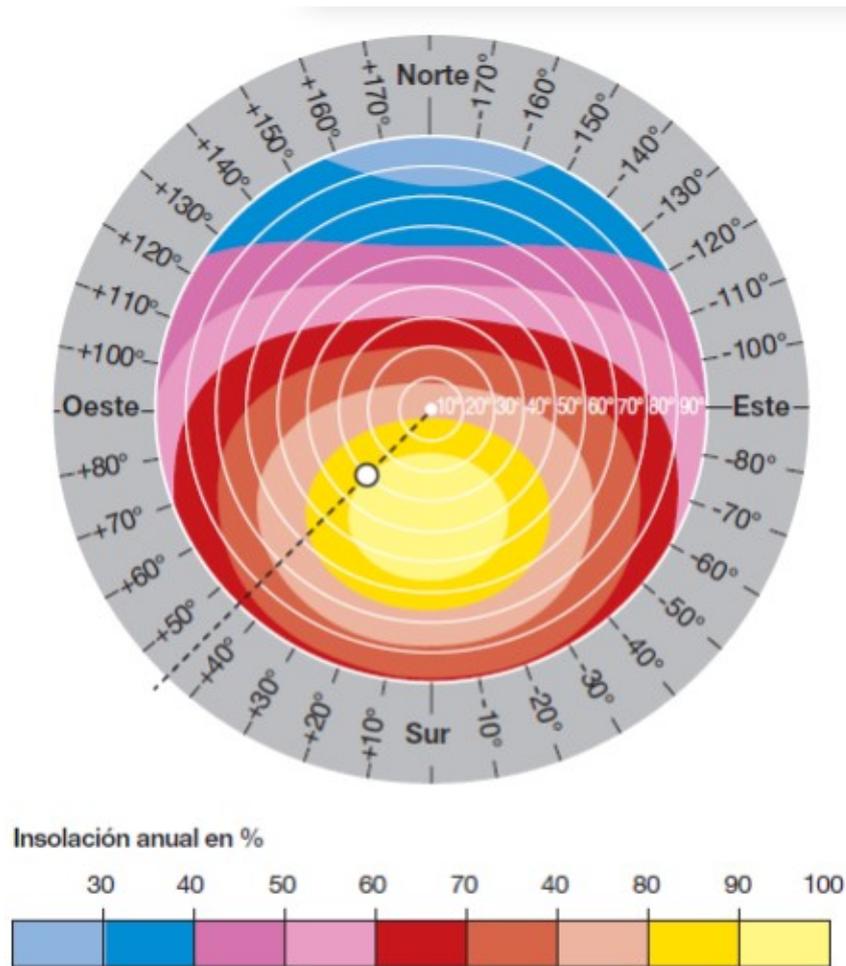


Figura 3.2: Insolación recibida según el ángulo azimut de los paneles

Es por eso que según la figura 3.3, la cuál incluye la rosa de los vientos, que indica la orientación, se puede observar que los tejados más favorables son los orientados al sur.

Se puede ver a ojo que los tejados que están mayormente horizontados al sur son los que se indican en amarillo en la figura 3.4.



Figura 3.3: Plano satélite del tejado con rosa de los vientos



Figura 3.4: Plano satélite de las partes del tejado óptimas

Es por eso que el tejado óptimo tendrá una superficie de unos $45 m^2$.

Aunque estimando que se quitan los picos de la superficie óptima, ya que los paneles son rectangulares y no caben en superficies irregulares, se puede confirmar al menos $32 m^2$.

Para acabar con la orientación de la vivienda, a través de la herramienta de recortes podemos usar una regla que nos haga sacar el azimut real del tejado óptimo como se puede ver en la [figura 3.5](#). Obviamente estos 66° no es el azimut real. En este caso, guiándose por la [figura 3.2](#) se debe restarle -90° a esos 66° , lo que permite obtener un azimut de -24° , un ángulo bastante aceptable para proceder a la instalación de las placas en el mismo tejado.



Figura 3.5: Plano satélite de la vivienda con ángulo azimut

Aún así, se verá una simulación de la energía que se puede obtener para ese ángulo en la [subsección 3.1.3](#).

En relación a la inclinación real de los paneles, se ha hecho un cálculo muy sencillo a través de la [Ecuación 3.1](#):

$$PendienteTejado = \frac{Alturamax - Alturamin}{Ancho (lagua)} \cdot 100 = \frac{13,54 - 10,57}{8,96} \cdot 100 = 33,14^{\circ} \quad (3.1)$$

La inclinación óptima es el ángulo de inclinación para el cuál la producción de energía fotovoltaica es máxima.

La inclinación óptima para cualquier época del año en esta localización, se puede relacionar con la siguiente [Ecuación 3.2](#):

$$Pendiente Optima = 0,9 \cdot Latitud = 0,9 \cdot 38,398085062^{\circ} = 34,56^{\circ} \quad (3.2)$$

Se puede afirmar que la inclinación real que se ha calculado en la [Ecuación 3.1](#) es bastante óptima y por tanto, se utilizará una estructura coplanar para soportar los paneles.

Por el contrario, la instalación del sistema de generación eólico no se va a hacer en el tejado de la vivienda. El por qué de esta decisión atiende a dos factores fundamentales.

En el tejado de la vivienda no hay una superficie plana para instalar el aerogenerador, por lo que el generador no va a tener la estabilidad necesaria y tampoco se puede asegurar que el tejado aguante una estructura cuyo centro de gravedad se sitúa geométricamente tan distante del tejado.

La otra cosa a tener en cuenta son las vibraciones que genera un aerogenerador, si se sitúa en el tejado, a parte de ser molesto, puede dañar la estructura de la vivienda.

Por estos motivos, se ha decidido situar el aerogenerador en un espacio amplio, para poder recibir el viento de todas las direcciones, y sobretodo, en una superficie plana.

En la figura 3.6 se puede ver la localización en la cuál se va a instalar el aerogenerador.



Figura 3.6: Plano 2D de la Vivienda con localización del Aerogenerador

En la [sección 3.6](#) se detallarán las estructuras que se van a utilizar para anclar los elementos de generación, tanto los paneles fotovoltaicos como el aerogenerador.

Por último, cabe destacar que la instalación eléctrica de la vivienda en su totalidad funciona a 230 voltios en corriente alterna. Eso quiere decir que todas las cargas eléctricas que consumen energía, deben recibir del SHFE una corriente alterna de 230 V.

3.1.2 Consumo

En cuánto al consumo energético de la vivienda, se ha hecho un cálculo estimando las horas de consumo de cada una de las cargas eléctricas. En la [tabla 3.1](#) se pueden ver los consumos parciales y totales de las cargas eléctricas del mes que más se va a consumir. Esto es debido a que se quiere suplir el consumo máximo para intentar que los consumos de la vivienda nunca superen a la producción energética.

| Carga | Cantidad | Horas al día (h) | Potencia Unitaria (W) | Energía Total (Wh) |
|------------|----------|------------------|-----------------------|--------------------|
| Bombilla | 10 | 4 | 25 | 1000 |
| Congelador | 1 | 5 | 180 | 900 |
| Horno | 1 | 0,5 | 1500 | 750 |
| Microondas | 1 | 0,2 | 700 | 140 |
| Nevera | 1 | 8 | 250 | 2000 |
| Lavadora | 1 | 0,5 | 750 | 375 |
| Televisión | 3 | 1 | 300 | 900 |
| Ordenador | 1 | 10 | 350 | 3500 |
| Bomba | 1 | 1 | 700 | 700 |
| Otros | | | | 1100 |
| | | | Potencia Total | 6.680 kW |
| | | | Consumo Total al Día | 11,365 kWh |
| | | | Consumo Total al Mes | 352,315 kWh |

Tabla 3.1: Tabla de los consumos del mes crítico

Cómo se puede ver en la [tabla 3.1](#), se ha añadido el número del tipo de carga que hay en la vivienda, las horas al día de uso y la potencia unitaria que tienen cada una de las cargas.

El cálculo se ha hecho para el mes de junio, en el cuál se incluyen los consumos que afectan al llenado de la piscina, el uso de la bomba tanto así cómo la depuradora. La depuradora se ha tenido en cuenta dentro de otros consumos, así cómo cargadores de baterías o algunos aparatos que se puedan enchufar a las tomas de corriente.

3.1.3 Climatología

En esta sección se pretende realizar un análisis científico-técnico del clima que pueda afectar a la producción de energía del SHFE, basándose en históricos climatológicos.

El sistema de generación híbrido a instalar que se ha elegido, cómo bien se comentó anteriormente, es la combinación de la tecnología de generación eólica con la fotovoltaica. Se ha decidido combinar estas dos tecnologías debido a que se sabe que en la zona en la que se va a instalar el SHFE la irradiancia solar es bastante alta y eso nos va a permitir producir gran cantidad de energía. En la [figura 3.7](#) se puede ver los datos de irradiancia y de horas de sol pico (HSP) al año de cada provincia de España.

Además, según la escala de Beaufort (Beaufort 2021) podemos tener vientos clasificados como “ Temporal fuerte ” o bien “ Temporal duro ”, siendo muy favorable la generación de energía.

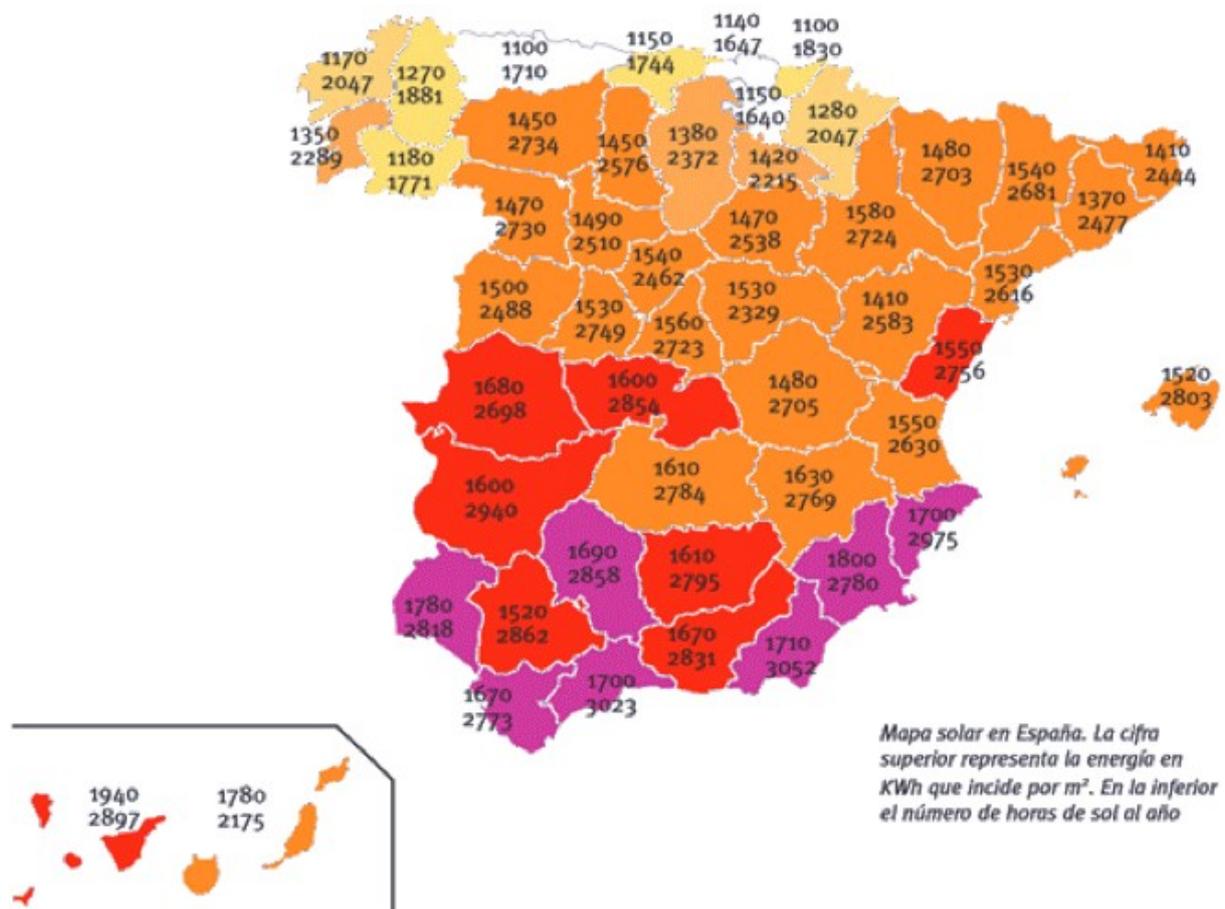


Figura 3.7: Mapa de España con los datos de Irradiancia y HSP al año

A través de la herramienta PVGIS, que es una herramienta web que permite calcular la producción energética y que dispone de una base de datos meteorológicos tanto para instalaciones fotovoltaicas como para instalaciones eólicas, se va a analizar los datos obtenidos para seguidamente determinar los elementos y sus características que se deben incluir al SHFE a instalar. A continuación, se muestra la interfaz de PVGIS en esta [figura 3.8](#).

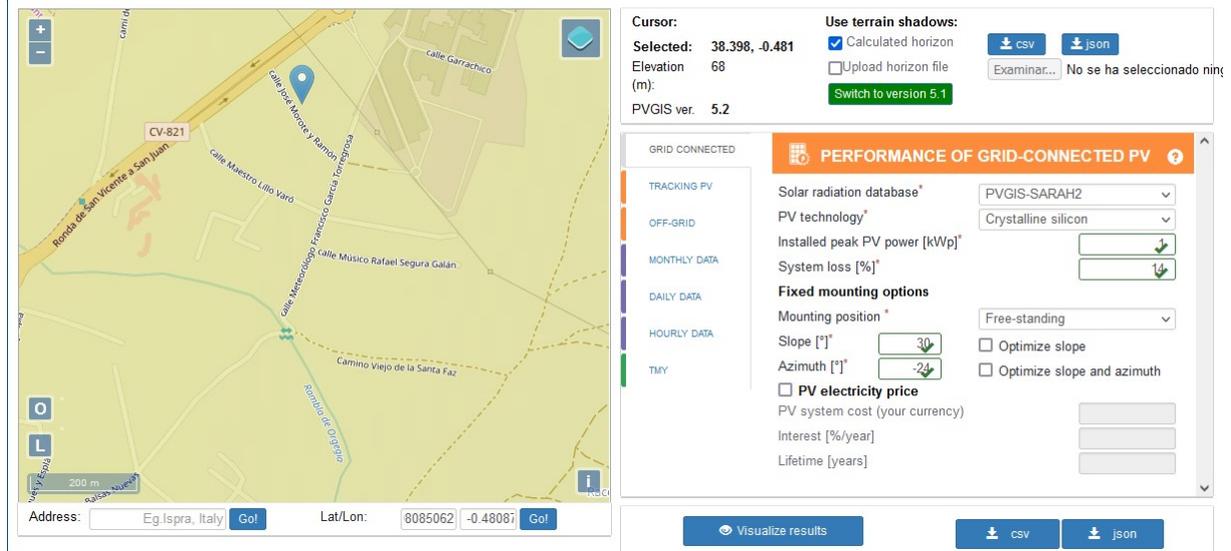


Figura 3.8: Interfaz de PVGIS

Para obtener las simulaciones de la producción energética, se deben analizar los climas por separado de cada una de las tecnologías del SHFE:

- Fotovoltaica

A continuación se va a analizar la irradiancia que va a incidir sobre los paneles según la base de datos de PVGIS.

Puesto que se necesita saber la potencia de pico de los paneles y aún no se ha dimensionado, se va a estimar la potencia pico de los paneles igual a 1 kWp.

También se pide la capacidad de la batería, la cuál pondremos un valor infinito o muy alto para no alterar la simulación.

Con tal de realizar la simulación en PVGIS debemos tener en cuenta los datos obtenidos en los apartados anteriores.

Para recordar los valores, se ha realizado un resumen de los datos en esta [tabla 3.2](#):

| | |
|----------------|-----------------------------|
| Coordenadas | 38.398085062, -0.4808754431 |
| Inclinación | 33 ^o |
| Orientación | -24 ^o |
| Consumo Diario | 11365 Wh |

Tabla 3.2: Tabla con los datos para realizar la simulación en PVGIS

Insertando esos datos se puede obtener un resumen de la producción energética solar anexo los documentos.

- Eólica

En resumen, la energía eólica se obtiene gracias al movimiento que genera el viento en las aspas de los aerogeneradores y que este movimiento mecánico se convierte en electricidad gracias a un motor eléctrico. Es por eso que es muy importante saber que la producción energética depende de la velocidad del viento, entre otros factores que más adelante se van a comentar.

En la siguiente [Ecuación 3.3](#) se puede ver cómo la potencia que se puede generar en el aerogenerador depende de algunas magnitudes físicas:

$$Potencia\ Eolica = \frac{dEc}{dt} = \frac{dm \cdot v^2}{2} = \frac{\rho \cdot A \cdot v^2}{2} \quad (3.3)$$

Siendo:

- m : Masa del aire
- ρ : *Densidad del aire*
- v : Velocidad del viento
- A : Área trazada por las palas del aerogenerador

Tras esta breve introducción teórica, se va a proceder a obtener los históricos de la velocidad del viento a través de ([PVGIS 2022](#)) haciendo una media para cada mes durante 7 años y de la base de datos de ([Bornay 2022](#)).

En esta [tabla 3.3](#) se ven las distintas velocidades durante cada mes:

| Mes | Velocidad del Viento (m/s) |
|------------|----------------------------|
| Enero | 5,30 |
| Febrero | 5,49 |
| Marzo | 5,36 |
| Abril | 5,15 |
| Mayo | 4,59 |
| Junio | 4,53 |
| Julio | 4,75 |
| Agosto | 4,63 |
| Septiembre | 4,39 |
| Octubre | 4,55 |
| Noviembre | 5,14 |
| Diciembre | 5,40 |

Tabla 3.3: Tabla con las medias de las velocidades del viento por mes de los últimos 7 años

En la [tabla 3.3](#) se puede ver que el mes en el que menos energía se producirá será septiembre.

Aún así, los datos no son totalmente certeros y cómo se puede ver, la desviación entre ellos no es muy grande, eso significa que la producción eólica va a ser constante durante todo el año. Teniendo siempre en cuenta que los acotamientos climatológicos son impredecibles.

En la [subsección 3.5.2](#), una vez elegido el aerogenerador, se podrá sacar la producción energética.

3.2 Croquis de la Instalación del SHFE

Cómo se lleva comentando durante todo el proyecto, se va a hacer una instalación aislada de la red eléctrica que a partir de varios generadores de energía produce un flujo de corriente continua, la cuál por un lado se ha de transformar en corriente alterna para que sea consumida por las cargas de la vivienda y por otro lado, si es necesario, esa corriente continua, producida por los generadores, ha de ser regulada para poder cargar las baterías. Por esta razón, el SHFE debe tener, al menos, los siguientes elementos:

- **Sistema Generador de energía, (compuesto por paneles fotovoltaicos y aerogenerador/es)**

- **Inversor**

- **Banco de Baterías**

- **Cuadro de protecciones AC**

- **Protecciones CC (Fusibles)**

- **Regulador de Carga**

- **Cableado**

Teniendo los elementos en cuenta, un croquis acorde con las condiciones presentadas puede figurar de esta forma:

Este esquema es una idea general sin entrar en detalle sobre la instalación del SHFE y, por tanto, es un esquema no definitivo y que puede cambiar con respecto al plano final.

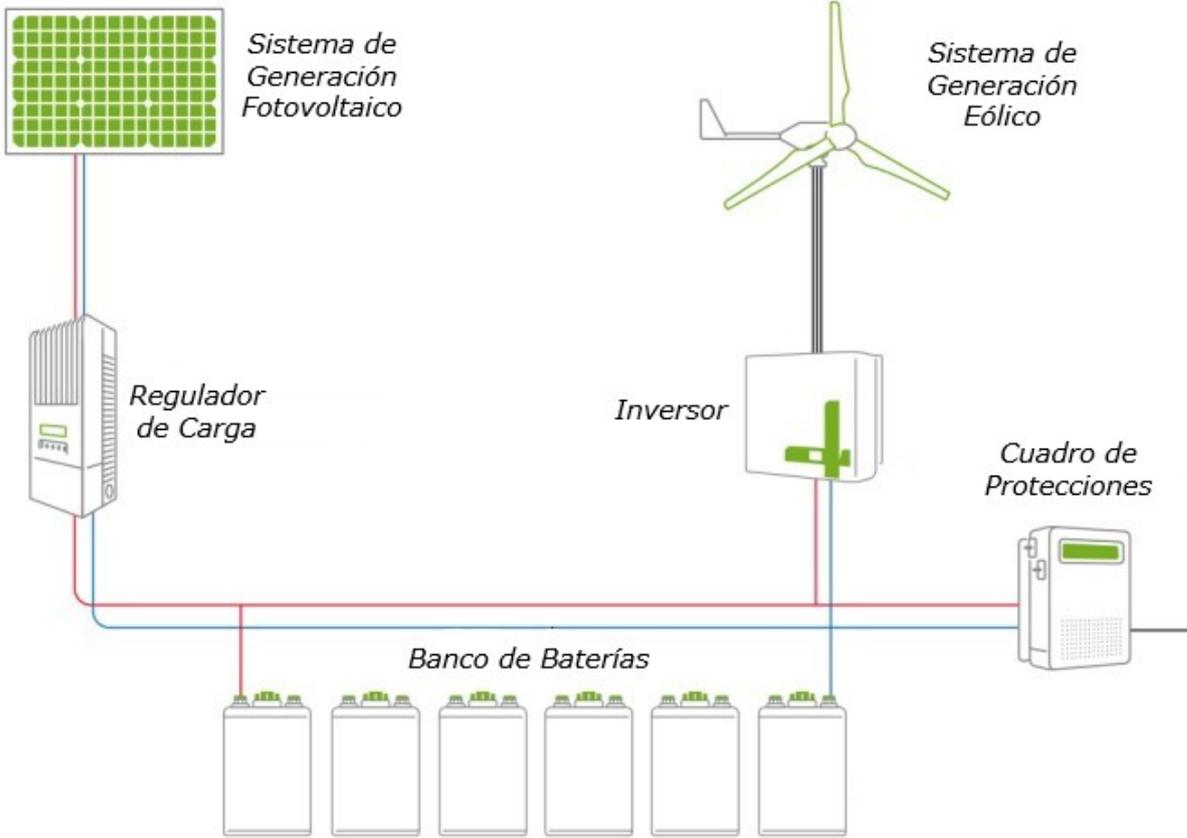


Figura 3.9: Croquis de la Instalación del SHFE

3.3 Inversor

Lo primero que se va a calcular son los parámetros del inversor. Se escoge primero el inversor debido a que este inversor debe ser especial, ya que se va a utilizar para una instalación aislada. Esto es debido a que en el mercado se pueden encontrar inversores que lleven incorporado las funciones de:

- Regulador de carga solar: se encarga de ajustar la intensidad y voltaje de salida a las condiciones en las que esté la batería en cada momento. En este punto, dependiendo de las tensiones de operación del sistema generador y de las baterías, podemos optar por reguladores PWM o MPPT.
- Inversor de onda pura: se encarga de transformar la corriente continua que le llega del conjunto de baterías o del generador de energía para que sea apta para el consumo en la vivienda.
- Cargador de baterías : se encarga de cargar la batería y alimentar los consumos energéticos que tenga el inversor para que la energía no fluya fuera de la batería.

Se pueden hacer bastantes combinaciones a partir de estas 3 funciones. Para elegir una u otra se va a hacer un cálculo de las características que definen a un inversor para saber qué tipo y características buscar en el mercado.

Para empezar se debe estimar la cantidad de potencia a instalar necesaria según los consumos en la vivienda.

Para saber la cantidad de potencia a instalar se deben tener en cuenta los rendimientos de los elementos utilizados. Obviamente los elementos no han sido elegidos y se va a hacer una estimación.

Los rendimientos de los elementos se pueden ver en esta [tabla 3.4](#):

| Elemento | Rendimiento (%) |
|--|-----------------|
| Paneles (Fuera de STC) | 0.99 |
| Paneles (Pérdida de rendimiento por año) | (Promedio) 0.94 |
| Inversor | 0.98 |
| Cableado y Carga | 0.97 |
| Total | 0.89 |

Tabla 3.4: Tabla con los datos de los rendimientos de los elementos del SHFE

Para el cálculo del rendimiento de los paneles se ha cogido una media del rendimiento entre todos los años de vida útil del panel (25 años).

Sabiendo, gracias al apartado anterior [subsección 3.1.2](#), que la potencia total a plena carga del sistema es de 6680 W y estimando que se va a conectar cerca del 90 % de la potencia de consumo teniendo así un coeficiente de carga con un valor de 0.75, se puede afirmar que la potencia del inversor debe ser de:

$$Potencia\ total\ al\ 65\ \% = Potencia\ Total \cdot 0,65 = 6680 \cdot 0,65 = 4342\ W \quad (3.4)$$

De forma práctica, el cálculo de la [Ecuación 3.4](#) significa que se debe tener la norma de no conectar todas las cargas a la vez o las cargas que más consumen.

El coeficiente es muy alto y es casi imposible que el sistema caiga debido a esto. Pero se estima tan alto porque es una instalación aislada y este parámetro le da robustez y estabilidad al SHFE.

Aplicando los rendimientos ya comentados en la [tabla 3.4](#) a la potencia total al 65 % de la carga, en la [Ecuación 3.5](#) se puede ver que el valor de la potencia a instalar es de:

$$Potencia\ total\ a\ instalar = \frac{Potencia\ Total\ al\ 65\ \%}{0,89} = \frac{4342}{0,89} = 4879\ W \approx 5\ kW \quad (3.5)$$

Puesto que la potencia que debe soportar el inversor es de entorno a los 5kW se ha buscado en el mercado actual algún inversor que cumpla con ese requisito.

El inversor que se ha encontrado es el “Inversor Cargador 5000W 48V MPPT 80A Must Solar”.

Este equipo cuenta con un inversor de onda pura, cargador baterías y un regulador solar maximizador de tipo MPPT de 80A.

Obviamente, se ha elegido este elemento debido a su gran versatilidad.

Las características técnicas se pueden ver en la ficha técnica incluida en esta [figura 3.10](#).

Y la ficha técnica completa se encuentra en Anexos.

Especificaciones

| MODELO | | PV18-2024 VHM | PV18-3024 VHM | PV18-3048 VHM | PV18-4048 VHM | PV18-5048 VHM | PV18-5548 VHM |
|---------------------------------|--|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Voltaje de baterías del sistema | | 24VDC | | | 48VDC | | |
| SALIDA INVERSOR | Potencia del inversor | 2000W | 3000W | 3000W | 4000W | 5000W | 5500W |
| | Pico de potencia | 4000W | 6000W | 6000W | 8000W | 10000W | 11000W |
| | Tipo de onda | Onda senoidal pura | | | | | |
| | Regulación de voltaje AC (modo baterías) | (220VAC~240VAC)±5% | | | | | |
| | Eficiencia del inversor | 93% | | | | | |
| | Tiempo de transferencia | 10ms (para PCs) 20ms (para electrodomésticos) | | | | | |
| ENTRADA AC | Voltaje | 230VAC | | | | | |
| | Rango de voltaje de salida (seleccionable) | 170~280VAC(para PCs) \ 90~280VAC(para electrodomésticos) \ 184~253VAC(VDE4105) | | | | | |
| | Rango de frecuencia | 50Hz/60Hz(Auto programado) | | | | | |
| BATERÍA | Voltaje nominal | 24VDC | | | 48VDC | | |
| | Voltaje carga flotación | 27VDC | | | 54VDC | | |
| | Protección sobrevoltaje | 31VDC | | | 60VDC | | |
| CARGADOR SOLAR & CARGADOR AC | Voltaje máximo FV circuito abierto | 145VDC | | | | | |
| | Voltaje FV Rango MPPT | 30~130VDC | | | 64~130VDC | | |
| | Consumo en stand by | 2W | | | | | |
| | Potencia entrada PV | 1440W/1920W | | | 2880W/3840W | | |
| | Corriente máxima de carga solar | 60A/80A | | | | | |
| | Eficiencia máxima | 98% | | | | | |
| | Corriente carga máxima AC | 20A/30A | | | 60A | | |
| | Corriente carga máxima | 80A | | | 120A/140A | | |
| ESPECIF. MECÁNICAS | Dimensiones (W*H*D)(mm) | 272*355*100 | | | 297.5*468*125 | | |
| | Dimensiones caja (W*H*D)(mm) | 540*395*241 | | | 638*395*241 | | |
| | Peso neto (kg) | 10 | 11 | 12.5 | | | |
| | Peso paquete (kg) | 11.7 | 12 | 13.5 | | | |
| OTROS | Humedad | 5% a 95% Humedad relativa (sin condensación) | | | | | |
| | Temperatura funcionamiento | 0°C ~55°C | | | | | |
| | Temperatura almacenamiento | -15°C ~60°C | | | | | |

Figura 3.10: Características Técnicas del Inversor

3.4 Banco de Baterías

Para el dimensionamiento de las baterías se necesita saber que el sistema ha sido diseñado para tener una autonomía de 2-3 días, basándose en que la instalación es una instalación aislada, que tiene soporte de generación híbrida y que es una zona con producción de energía relativamente alta. Esto significa que la batería debe suplir los consumos de 2-3 días.

Antes de aplicar este requisito, se debe mencionar que otro de los requisitos que se deben tener en cuenta es el coeficiente de la profundidad de descarga (DOD). El porcentaje elegido será de 60 % debido a que no es necesario apurar la vida de la batería, aún así, dependiendo del mercado y de las necesidades este coeficiente de la DOD. Eso quiere decir que la batería no se descargará más del 60 %.

Considerando los requisitos anteriormente mencionados, la energía necesaria para alimentar las baterías va a relacionar el consumo de la vivienda, los días de autonomía, el rendimiento de los elementos y la profundidad de descarga, cómo se puede ver en la [Ecuación 3.6](#).

$$\begin{aligned} \text{Energía Necesaria Baterías} &= \frac{\text{Energía Consumos} \cdot \text{Días Autonomía}}{\text{Rendimiento Elementos} \cdot \text{DOD}} = \\ &= \frac{11365 \cdot 2}{0,89 \cdot 0,6} = 42566 \text{ Wh} \approx 42,6 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Puesto que el voltaje de las baterías debe ser de 48 V según la [figura 3.10](#) del Inversor/Cargador, la capacidad del banco de baterías deberá ser de:

$$\text{Capacidad Baterías} = \frac{\text{Energía Necesaria Baterías}}{\text{Voltaje Baterías}} = \frac{42566}{48} = 887 \text{ Ah} \approx 900 \text{ Ah} \quad (3.7)$$

Por consiguiente, el banco de baterías debe tener una tensión nominal de 48V y una capacidad energética de 900 Ah.

Existen muchos tipos de baterías con sus ventajas e inconvenientes, pero para este caso se ha elegido una batería AGM, porque es una batería asequible económicamente, muy útil para la instalación del SHFE, no necesita mantenimiento y tiene una garantía de 8 años si se utiliza correctamente.

Las características técnicas de la batería vienen dadas en la ficha técnica, se pueden ver los aspectos técnicos de la batería en esta [figura 3.11](#). Y la ficha técnica completa se puede consultar en Anexos.

TECHNICAL SPECIFICATIONS

| | | | | | | | |
|---|--|--------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------|----------|
| BATTERY MODEL | Nominal voltage | | | 12V | | | |
| | Rated capacity (100 hour rate) | | | 300Ah | | | |
| | Cells Per battery | | | | | | |
| DIMENSION | Length | Width | Height | Total Height | | | |
| | 520 mm | 268 mm | 220 mm | 225 mm | | | |
| APPROX. WEIGHT | 66.0 kg \pm 3% | | | | | | |
| CAPACITY @ 25°C | 10 hour rate (25A, 10.8V) | 5 hour rate (40A, 10.5V) | 3 hour rate (62.5A, 10.2V) | 1 hour rate (150A, 9.6V) | | | |
| | 250 Ah | 222 Ah | 196.2 Ah | 150 Ah | | | |
| MAX. DISCHARGE CURRENT | 2500 A (5 sec.) | | | | | | |
| INTERNAL RESISTANCE | Full charged Vat 25°C: Approx. 2.0m Ω | | | | | | |
| CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR) | 40°C | 25°C | 0°C | -15°C | | | |
| | 102% | 100% | 85% | 65% | | | |
| SELF DISCHARGE @25°C | After 3 months storage | | | After 6 months storage | After 12 months storage | | |
| | 91% | | | 82% | 64% | | |
| CHARGE METHOD @25°C | Cycle Use | | | Float Use | | | |
| | 14.1-14.4V (Initial charging current less than 75A) | | | 13.50-13.80V | | | |
| CONSTRUCTION | Container | Electrolyte | Separator | Positive | Negative | Safety valve | Terminal |
| | BS (UL94-HB) / Flame retardant ABS (UL94-V0) | Sulfuric acid | Fiber glass | Lead dioxide | Lead | EPDR | Copper |

Figura 3.11: Características Técnicas de la Batería

El tiempo que tardará como mínimo en cargarse las baterías será:

$$Tiempo\ Carga\ Baterias = \frac{Capacidad\ Baterias}{Corriente\ Maxima\ Carga} = \frac{887}{80} = 11\ Ah \quad (3.8)$$

Para conseguir el voltaje y la capacidad deseada con esta batería se necesita configurar el banco de baterías de una manera en concreto.

Puesto que la capacidad de las baterías elegida es de 300 Ah y el voltaje es de 12 V, teniendo en cuenta que la capacidad necesaria de las baterías debe ser de 900 Ah y el voltaje debe ser de 48 V, se deben colocar 3 ramas en paralelo con 4 baterías en serie en cada rama.

Con tal de llegar a entender esta explicación, se va a realizar un croquis para tener claro cómo hacer la conexión de las baterías. En esta [figura 3.12](#) se puede como sería la conexión.

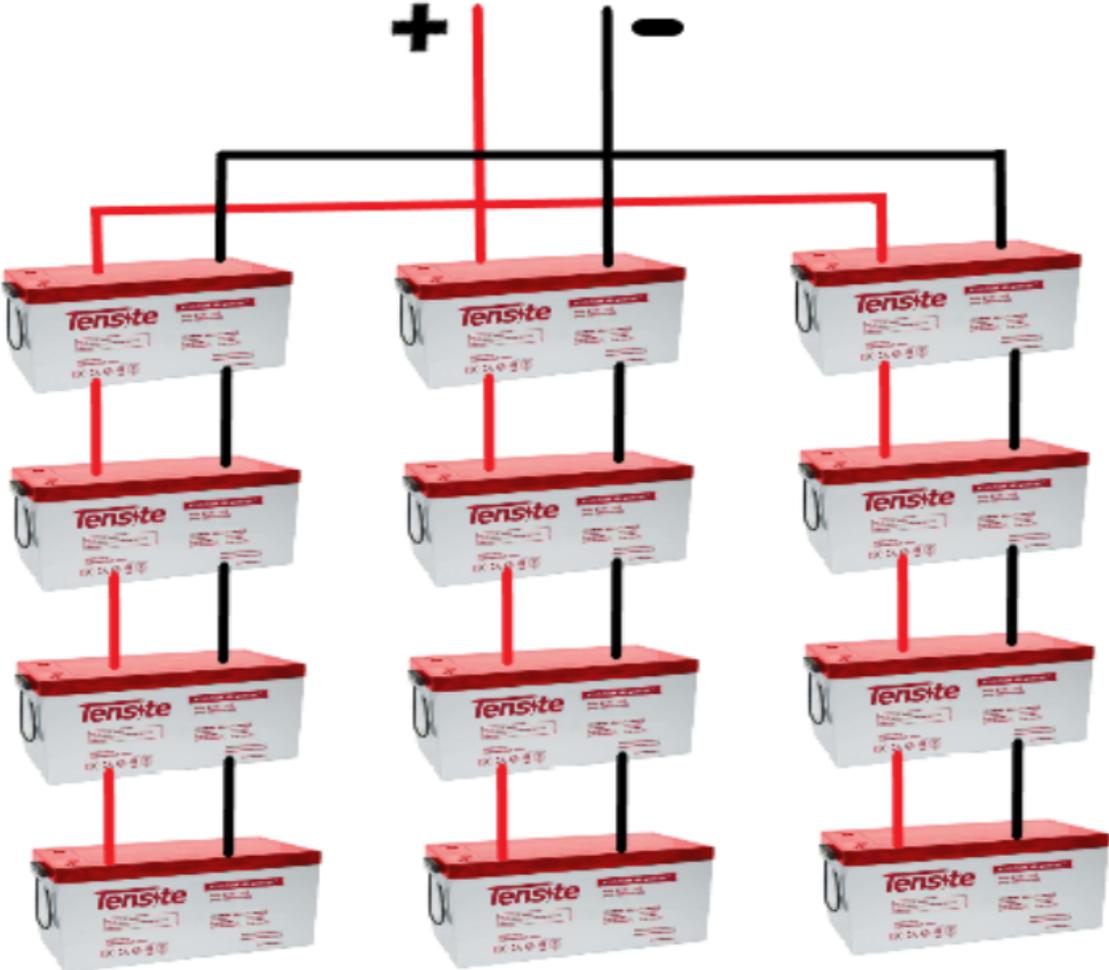


Figura 3.12: Croquis de la conexión del banco de baterías

3.5 Sistema Generador Fotovoltaico y Eólico

Se va a continuar con el dimensionamiento del sistema generador del SHFE. Se ha decidido que se va a hacer el cálculo de la potencia pico del sistema sólo en base a los paneles, es decir, que los paneles cubran el 100% de los consumos. Esta decisión se ha tomado así debido a que los paneles fotovoltaicos van a estar casi siempre produciendo algo de energía, aunque haya algo de nubes siempre se genera algo de energía, por el contrario, el aerogenerador puede estar parado sin producir energía debido a un día que no sea propicio para generar. A parte, se recuerda que en esta zona la producción de energía eólica basada en históricos no es excesivamente alta, al contrario de la producción solar debido a la irradiancia solar, como se ha podido ver en la [subsección 3.1.3](#).

3.5.1 Paneles Fotovoltaicos

Cómo ya se ha comentado, se va a calcular que los paneles cubran los consumos de la vivienda totalmente. De la [tabla 3.1](#), se tiene que el consumo diario es de unos 11,365 kWh en el mes más desfavorable. Sabiendo que se van a producir pérdidas en los cables y por los rendimientos de los elementos (paneles, inversor, carga y descarga baterías) que se pueden ver en la [tabla 3.4](#) y que se estima que la recarga de las baterías se haga en el doble del tiempo que los días de autonomía, es decir, 4 días de recarga, se puede deducir en la siguiente [Ecuación 3.9](#) y también el consumo total en esta otra [Ecuación 3.10](#).

$$\text{Consumo Recarga} = \frac{\text{Consumo Diario}}{\text{Rendimiento Total} \cdot \text{Dias Recarga}} = \frac{11365}{0,89 \cdot 4} = 3192,42 \text{ Wh} \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo Total Diario} &= \text{Consumo Diario} + \text{Consumo Recarga} = 11365 + 3192,42 = \\ &= 14557,42 \text{ Wh} \approx 14,6 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (3.10)$$

La energía necesaria que deben aportar los paneles en el mes más crítico será de entorno a los 14,6 kWh.

Para saber la cantidad de potencia pico que deben aportar los paneles, se va a utilizar la simulación en PVGIS.

Cómo el inversor que se eligió es de unos 5 kW, se va a simular con una potencia pico de 4500 W, imaginando que son 10 paneles de 450 W. Además, utilizando algunos datos que ya se han calculado como la inclinación, azimut, consumo por día, capacidad de la batería y DOD.

En la siguiente [figura 3.13](#) se pueden ver los datos introducidos.

The screenshot displays the PVGIS simulation interface. At the top, it shows cursor coordinates (38.398, -0.481), elevation (68m), and PVGIS version (5.2). It also includes options for terrain shadows (Calculated horizon checked) and download buttons for CSV and JSON. The main section is titled 'PERFORMANCE OF OFF-GRID PV SYSTEMS' and lists various parameters and their values:

| Parameter | Value |
|--------------------------------|--------------|
| Solar radiation database* | PVGIS-SARAH2 |
| Installed peak PV power [Wp] * | 4500 |
| Battery capacity [Wh]* | 900 |
| Discharge cutoff limit [%] * | 40 |
| Consumption per day [Wh] * | 42600 |
| Slope [°] * | 33 |
| Azimuth [°] * | -24 |

Figura 3.13: Simulación para una potencia pico de 4500 W

Se puede observar el resumen de la simulación en los Anexos.

Puesto que la producción en invierno es un poco más baja, se va a simular con 5000 W. El resultado se puede ver en Anexos.

Aunque la producción diaria de energía no llegue a los 14,6 kW todos los meses, cabe recordar que a parte de que; en invierno los consumos serán bastante menores, también se tiene el soporte de la generación eólica. Estos dos hechos garantizan la estabilidad del SHFE.

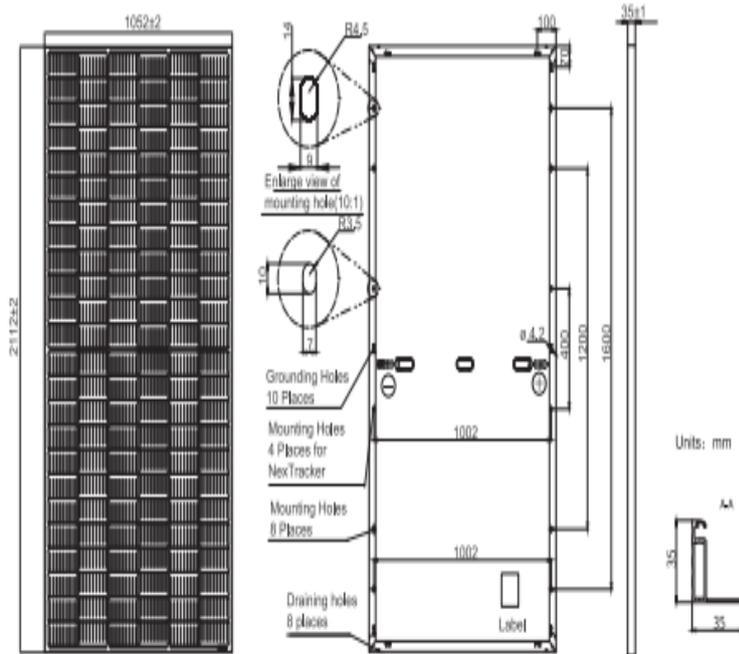
En conclusión, se van a instalar 11 paneles con una potencia pico de 455 W. El panel elegido es “Panel Solar 455W JA Solar Mono PERC”. Cuya ficha técnica completa se encuentra en los Anexos.

Los datos más importantes de la ficha técnica son los datos de la [figura 3.14](#).



JAM72S20 445-470/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

| | |
|------------------------------------|--|
| Cell | Mono |
| Weight | 24.7kg±3% |
| Dimensions | 2112±2mm×1052±2mm×35±1mm |
| Cable Cross Section Size | 4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL) |
| No. of cells | 144 (6×24) |
| Junction Box | IP68, 3 diodes |
| Connector | QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V) |
| Cable Length (Including Connector) | Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-) |
| Packaging Configuration | 31pcs/pallet 682pcs/40ft Container |

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

| TYPE | JAM72S20 -445/MR | JAM72S20 -450/MR | JAM72S20 -455/MR | JAM72S20 -460/MR | JAM72S20 -465/MR | JAM72S20 -470/MR |
|--|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Rated Maximum Power(Pmax) [W] | 445 | 450 | 455 | 460 | 465 | 470 |
| Open Circuit Voltage(Voc) [V] | 49.56 | 49.70 | 49.85 | 50.01 | 50.15 | 50.31 |
| Maximum Power Voltage(Vmp) [V] | 41.21 | 41.52 | 41.82 | 42.13 | 42.43 | 42.69 |
| Short Circuit Current(Isc) [A] | 11.32 | 11.36 | 11.41 | 11.45 | 11.49 | 11.53 |
| Maximum Power Current(Imp) [A] | 10.80 | 10.84 | 10.88 | 10.92 | 10.96 | 11.01 |
| Module Efficiency [%] | 20.0 | 20.3 | 20.5 | 20.7 | 20.9 | 21.2 |
| Power Tolerance | 0~+5W | | | | | |
| Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc}) | +0.044%/°C | | | | | |
| Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc}) | -0.272%/°C | | | | | |
| Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp}) | -0.350%/°C | | | | | |
| STC | Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G | | | | | |

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

Figura 3.14: Características Técnicas del Panel de 455W

Para asegurar que el panel se complementa con el resto del SHFE, se va a analizar; si los paneles caben en la superficie del tejado, si se pueden poner todos en una misma rama en serie analizando tensión máxima de circuito abierto e intensidad máxima de cortocircuito.

La superficie del tejado óptimo es de unos 32 m^2 según se vió en la [subsección 3.1.1](#), sabiendo que se van a instalar 11 paneles en el tejado y que las dimensiones del panel según la ficha técnica, [figura 3.14](#), son de $2112 \times 1052 \times 35 \text{ mm}$, la superficie de los paneles será:

$$\text{Superficie Paneles} = \text{Superficie Panel} \cdot N^{\circ} \text{Paneles} = \frac{2112 \cdot 1052}{1000000} \cdot 11 = 24,44 \text{ m}^2 \quad (3.11)$$

Está bastante claro que las placas solares caben en el tejado, aunque cabe destacar que se debe tener en cuenta que no caben en línea recta y que se deben poner en el mismo tejado abajo 6 placas y arriba 5 placas, ya que la longitud por la parte de abajo es mucho mayor.

Para saber si se necesita poner los paneles en paralelo es preciso conocer la tensión que soporta el inversor en CC, para ello hay que mirar la ficha técnica del inversor en la [figura 3.10](#). Según la ficha técnica del inversor, el valor de tensión máxima que soporta en CC es de 145 V. El número máximo de paneles en serie que se pueden conectar a la entrada del inversor se puede ver en esta [Ecuación 3.12](#):

$$\text{Paneles por Cadena} = \frac{\text{Tension Maxima Inversor}}{\text{Tension Circuito Abierto Panel}} = \frac{145}{49,85} = 2,90 \text{ Paneles} \quad (3.12)$$

Según el cálculo, se pueden poner 2,90 paneles por cadena, sabiendo que la tensión de circuito abierto real va a ser mucho mayor debido a que hará temperaturas mucho más altas que las que se asumen en la NOCT, por consiguiente serán 2 paneles por cadena.

Cómo son 11 paneles en total, habrá que conectar 2 paneles en serie por 5 ramas en paralelo y otra rama en paralelo con 1 panel. Cada una de las ramas irá a una entrada MPPT del inversor totalmente distinta, cómo bien se puede ver en el plano multifilar de la [figura 3.25](#).

3.5.2 Aerogenerador

Con tal de dimensionar el aerogenerador que se va a utilizar para el SHFE hay que recordar que éste es un complemento de la instalación.

Se va a suponer que el aerogenerador suple la quinta parte de los consumos. Para que en caso de que no se genere energía por efecto fotovoltaico, se genere algo por energía eólica.

De esta forma, el aerogenerador tendrá una potencia pico de:

$$Potencia\ Pico\ Aerogenerador = \frac{Potencia\ Pico\ Paneles}{5} = \frac{5005}{5} = 1001\ kW \approx 1\ kW \quad (3.13)$$

Cómo se vió en la [tabla 3.3](#), la velocidad media de viento no llega a los 7 m/s.

El problema es que esa media es una media con una gran desviación, eso quiere decir que un día se llegue a los 17 m/s y otro día la velocidad sea de 2m/s, por ejemplo. Así que se ha optado por coger un aerogenerador con potencia pico de 1000W, con regulador híbrido de 48V. En la página web ([Aerogenerador 1000w 48v con regulador híbrido 2022](#)) se pueden ver las características técnicas del aerogenerador.

Según el fabricante, a una velocidad de 5 m/s podría generar unos 300W. Aún así no se puede hacer una estimación porque puede variar bastante la velocidad del viento y cómo se vió en la [Ecuación 3.3](#) la potencia varía con el cuadrado de la velocidad del viento.

A través de los datos de viento de la [tabla 3.3](#) y del simulador que ofrece ([Bormay 2022](#)), se ha hecho una media de la producción eólica al día para cada mes del año en Wh/día.

Se puede ver en la siguiente [tabla 3.5](#):

| Mes | Aerogenerador (1kWp) |
|------------|----------------------|
| Enero | 3903,33 |
| Febrero | 4058,33 |
| Marzo | 3903,33 |
| Abril | 3903,33 |
| Mayo | 3591,67 |
| Junio | 2680,00 |
| Julio | 2978,33 |
| Agosto | 2828,33 |
| Septiembre | 2388,33 |
| Octubre | 2680,00 |
| Noviembre | 3591,67 |
| Diciembre | 4058,33 |

Tabla 3.5: Tabla con los datos de Producción Eólica para cada día de cada mes

3.6 Estructuras / Soportes

Las estructuras son un elemento indispensable que permiten soportar adecuadamente los sistemas de generación de energía para que esa generación sea lo más óptima posible. Es por eso que se van a estudiar las diferentes formas de sujetar tanto los paneles como el aerogenerador que se va a utilizar. A continuación en las [subsección 3.6.1](#) y [subsección 3.6.2](#) se van a ver las estructuras a utilizar.

3.6.1 Soporte para Paneles

La cubierta de la edificación dónde se van a instalar los paneles es inclinada y de tipo teja, por consiguiente ha sido seleccionada una estructura soporte de los paneles paralela a la cubierta de tipo coplanar de aluminio.

La disposición se realizará para optimizar la generación de energía de los paneles, evitando en la medida de lo posible la creación de sombras y adaptándose a la superficie disponible en el tejado. La sujeción de los paneles fotovoltaicos se realizará siguiendo las instrucciones del fabricante, de modo que no se produzcan flexiones superiores a las admitidas.

Estas estructuras cumplirán con la normativa específica española a través de un estudio de cargas previo. En los anexos se podrá ver un ejemplo.

La estructura que se va a utilizar es en aluminio/acero galvanizado con tornillería de acero inoxidable y es fabricada por Falcat, concretamente el modelo L Feet. Las características técnicas se pueden ver en la ficha técnica incluida en los anexos.



Figura 3.15: Soporte Coplanar de los Paneles Fotovoltaicos

3.6.2 Estructura Aerogenerador

Cómo se ha comentado anteriormente, el aerogenerador se ubicará en una superficie plana de tierra. Por tanto, se deben instalar zapatas de hormigón armado en la propia tierra para que la estructura del aerogenerador tenga estabilidad.

La torre del aerogenerador irá soldada a la superficie que sujetan las zapatas. De esta forma se consigue controlar las vibraciones del aerogenerador anclando el aerogenerador totalmente.

3.7 Cableado

En esta sección se va a hacer un análisis de las características del cable necesario para cada tramo de la instalación del SHFE. Para hacerse una idea, se pueden ver los distintos tramos que van a formar el SHFE en esta [tabla 3.6](#):

| Tramo | Descripción | Longitud Cable (m) |
|-------|--|--------------------|
| 1 | Aerogenerador - Cuadro Protecciones CC | 14 |
| 2 | Paneles - Cuadro Protecciones CC | 3 |
| 3 | Cuadro Protecciones CC - Inversor | < 1 |
| 4 | Inversor - Baterías | < 1 |
| 5 | Inversor - Cuadro Protecciones CA | < 1 |
| 6 | Cuadro Protecciones CA - Cuadro Vivienda | 6 |

Tabla 3.6: Tabla con los Tramos del Cableado del SHFE

Los conductores serán de cobre y tendrán una sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos.

La caída de tensión máxima considerada para la parte de corriente continua es de 1,5 %, así como de 1,5 % para la parte de corriente alterna.

El dimensionado del cableado se realiza aplicando el método basado en el Reglamento Eléctrico de Baja Tensión, aplicando el criterio por capacidad térmica, el criterio de caída de tensión y proponiendo una sección para cada tramo de cableado de la instalación del SHFE.

Para la colocación de los conductores se seguirá en todo momento las recomendaciones del RBTE, y sobre todo las instrucciones ITC-BT-07, ITC-BT-19, ITC-BT-20, ITC-BT-21.

El cableado se conducirá siempre de manera que tenga el menor impacto visual posible.

Para realizar estos cálculos, se va a suponer una temperatura ambiente de 40^o C, para todos los tramos el tipo de instalación que se va a utilizar está catalogado como “ Instalación tipo B2 - Cables multiconductores en tubos de montaje superficial o empotrados en obra ” sin ningún tipo de condición especial en la instalación, el conductor utilizado será cobre (Cu) y el aislamiento será polietileno reticulado (XLPE).

Tras enumerar las condiciones, se van a utilizar las siguientes ecuaciones y tablas del REBT:

$$Intensidad\ Calculo = 2 \cdot R \cdot I = \frac{2 \cdot L \cdot I}{S \cdot C} \quad (3.14)$$

$$U_{cc} = 2 \cdot R \cdot I = \frac{2 \cdot L \cdot I}{S \cdot C} \quad (3.15)$$

Siendo L la longitud del cable, I la intensidad que recorre el cable, S la sección del cable y C la conductividad del cable.

$$\Delta U_{cc} = \frac{U_{cc}}{V_{trabajo}} \cdot 100 \quad (3.16)$$

$$U_{ca} = \frac{2 \cdot L \cdot P}{S \cdot C \cdot V_{trabajo}} \quad (3.17)$$

$$\Delta U_{ca} = \frac{U_{ca}}{V_{trabajo}} \cdot 100 \quad (3.18)$$

$$Intensidad\ Calculo < Intensidad\ Maxima\ Admisible\ del\ Cable = I_b < I_z \quad (3.19)$$

$$T = T_0 + \left[(T_{max} - T_0) \cdot \frac{I_b^2}{I_z^2} \right] \quad (3.20)$$

Siendo T la temperatura real del cable, T_0 la temperatura ambiente del cable, T_{max} la temperatura máxima del aislamiento.

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_{20^\circ C}} \cdot (1 + \alpha_{Cu} \cdot (T_C - T_0))} \quad (3.21)$$

Siendo C la conductividad a temperatura real del cable, $C_{20^\circ C}$ la conductividad a temperatura ambiente del cable y α_{Cu} coeficiente de dilatación lineal del cable.

TABLA C.52.1 bis
Intensidades admisibles en amperios al aire (40 °C)

| MÉTODO DE INSTALACIÓN TIPO SEGÚN TABLA 52-B2 | | TIPO DE AISLAMIENTO TÉRMICO (XLPE o PVC) + NÚMERO DE CONDUCTORES CARGADOS (2 o 3) (TEMPERATURA MÁXIMA DE LOS CONDUCTORES EN RÉGIMEN PERMANENTE → 70°C TIPO PVC Y 90°C TIPO XLPE) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------|--------------|-----|---------------|---------------|--------------|-----|---------------|-----|---------------|---------------|-----|-----|
| A1 | | | PVC3 (70 °C) | PVC2 (70 °C) | | | | | | XLPE3 (90 °C) | XLPE2 (90 °C) | | | | | | | | |
| A2 | | PVC3 (70 °C) | PVC2 (70 °C) | | | | | | | XLPE3 (90 °C) | XLPE2 (90 °C) | | | | | | | | |
| B1 | | | | | PVC3 (70 °C) | PVC2 (70 °C) | | | | | | | | XLPE3 (90 °C) | | XLPE2 (90 °C) | | | |
| B2 | | | | | PVC3 (70 °C) | PVC2 (70 °C) | | | | | | | | XLPE3 (90 °C) | | XLPE2 (90 °C) | | | |
| C | | | | | | | | PVC3 (70 °C) | | | | PVC2 (70 °C) | | XLPE3 (90 °C) | | | PVC2 (90 °C) | | |
| D1/D2* | | VER SIGUIENTE TABLA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | PVC3 (70 °C) | | | | PVC2 (70 °C) | | XLPE3 (90 °C) | XLPE2 (90 °C) | | |
| F | | | | | | | | | | | PVC3 (70 °C) | | | PVC2 (70 °C) | | XLPE3 (90 °C) | XLPE2 (90 °C) | | |
| Cobre | mm ² | 2 | 3 | 4 | 5a | 5b | 6a | 6b | 7a | 7b | 8a | 8b | 9a | 9b | 10a | 10b | 11 | 12 | 13 |
| | 1.5 | 11 | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 14 | 14.5 | 15.5 | 16 | 16.5 | 17 | 17.5 | 19 | 20 | 20 | 20 | 21 | 23 | 25 |
| | 2.5 | 15 | 15.5 | 17 | 18 | 19 | 20 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 26 | 27 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 |
| | 4 | 20 | 20 | 22 | 24 | 25 | 26 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 34 | 36 | 36 | 38 | 40 | 44 | 46 |
| | 6 | 25 | 26 | 29 | 31 | 32 | 34 | 36 | 37 | 39 | 40 | 41 | 44 | 46 | 46 | 49 | 52 | 57 | 59 |
| | 10 | 33 | 36 | 40 | 43 | 45 | 46 | 49 | 52 | 54 | 54 | 57 | 60 | 63 | 65 | 68 | 72 | 78 | 82 |
| | 16 | 45 | 48 | 53 | 59 | 61 | 63 | 66 | 69 | 72 | 73 | 77 | 81 | 85 | 87 | 91 | 97 | 104 | 110 |
| | 25 | 59 | 63 | 69 | 77 | 80 | 82 | 86 | 87 | 91 | 95 | 100 | 103 | 108 | 110 | 115 | 122 | 135 | 146 |
| | 35 | 72 | 77 | 86 | 95 | 100 | 101 | 106 | 109 | 114 | 119 | 124 | 127 | 133 | 137 | 143 | 153 | 168 | 182 |
| | 50 | 86 | 94 | 103 | 116 | 121 | 122 | 128 | 133 | 139 | 145 | 151 | 155 | 162 | 167 | 174 | 188 | 204 | 220 |
| | 70 | 109 | 118 | 130 | 148 | 155 | 162 | 170 | 178 | 185 | 193 | 199 | 208 | 214 | 223 | 243 | 262 | 282 | |
| | 95 | 131 | 143 | 156 | 180 | 188 | 187 | 196 | 207 | 216 | 224 | 234 | 241 | 252 | 259 | 271 | 298 | 320 | 343 |
| | 120 | 150 | 164 | 179 | 207 | 217 | 216 | 226 | 240 | 251 | 260 | 272 | 280 | 293 | 301 | 314 | 350 | 373 | 397 |
| | 150 | 171 | 188 | 196 | 224 | 236 | 247 | 259 | 276 | 289 | 299 | 313 | 322 | 337 | 343 | 359 | 401 | 430 | 458 |
| 185 | 194 | 213 | 222 | 256 | 268 | 281 | 294 | 314 | 329 | 341 | 356 | 368 | 385 | 391 | 409 | 460 | 493 | 523 | |
| 240 | 227 | 249 | 258 | 299 | 315 | 330 | 345 | 368 | 385 | 401 | 419 | 435 | 455 | 468 | 489 | 545 | 583 | 617 | |
| 300 | 259 | 285 | 295 | 343 | 360 | 398 | 396 | 432 | 414 | 461 | 468 | 516 | 524 | 547 | 549 | 630 | 674 | 713 | |

NOTAS: con fondo naranja figuran los valores que no se aplican en ningún caso. Los cables de aluminio no son termoplásticos (PVC2 o PVC3), ni suelen tener secciones inferiores a 16 (estos valores no son necesarios). Los valores con fondo azul no figuran en la tabla original. Han sido calculados con los criterios de la propia norma UNE-HD 60364-5-52. Los valores con fondo amarillo no figuran en la tabla original y no es posible calcularlos con la UNE-HD 60364-5-52, por lo que se ha recurrido al método de cálculo de la última versión internacional de la norma IEC 60364-5-52, que curiosamente no ha eliminado el método de cálculo como se ha hecho en la versión UNE-HD.

Figura 3.16: Tabla intensidades máximas admisibles del cobre a 40°C

Cabe destacar que las secciones calculadas en este apartado no son las secciones finales, ya que se han de cumplir los criterios de protección para cada uno de los tramos. En la [sección 3.8](#) se comprobarán las secciones calculadas y se hará la cuenta de los metros necesarios de cada tipo de cable.

3.7.1 Tramo 1

Por este tramo de cableado circulará una corriente continua generada por el aerogenerador. Según la normativa UNE (IEC 60364- 712) los conductores de CC deben tener aislamiento doble o reforzado (clase II) para minimizar el riesgo de defecto a tierra y de cortocircuito. Es decir, que para este tramo se va a utilizar cable de tipo solar.

La intensidad que va a circular por este tramo será la intensidad máxima que puede aportar el aerogenerador a su máxima potencia. Si suponemos que hay un fallo y no se desconecta cuando alcanza su pico máximo (1000W), suponiendo un 20 % de potencia máxima extra, se puede obtener una corriente máxima de:

$$Intensidad\ Tramo\ 1 = \frac{Potencia\ Maxima}{V} = \frac{1000 \cdot 1,2}{48} = 25\ A \quad (3.22)$$

Según la [figura 3.16](#), la sección necesaria para cumplir la condición [3.19](#) debe ser de 4mm^2 , sin que ésta sea la definitiva. Siendo la intensidad máxima admisible $I_z=32\text{A}$. Se van a calcular los criterios de capacidad térmica y los de la caída de tensión para esta sección. En primer lugar, se utiliza la [Ecuación 3.20](#) para hallar la temperatura real estimada a la que el conductor se va a exponer. Aplicando la ecuación citada:

$$T = 40 + \left[(90 - 40) \cdot \frac{25^2}{32^2} \right] = 70,52^\circ\text{C} \quad (3.23)$$

Por consiguiente, la conductividad a esa temperatura viene dada por la aplicación de la [Ecuación 3.21](#):

$$C = \frac{1}{\frac{1}{56}} \cdot (1 + 0,00392 \cdot (70,52 - 20)) = 46,74 \frac{m}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \quad (3.24)$$

Y por último para saber el porcentaje de la caída de tensión en ese tramo se deben combinar dos ecuaciones, tanto la [Ecuación 3.17](#) y [Ecuación 3.18](#), queda de tal forma:

$$\Delta U_{ca} = \frac{2 \cdot L \cdot P \cdot 100}{S \cdot C \cdot V_{trabajo}^2} = \frac{2 \cdot 14 \cdot 5000 \cdot 100}{4 \cdot 46,74 \cdot 230^2} = 1,42\% \quad (3.25)$$

Cumple con la normativa del REBT o del PCT del IDAE ya que es menor a la caída de tensión de 1,5%. Es cierto que la caída de tensión es muy grande, de hecho está al límite, pero se ha de tener en cuenta que la sección va a cambiar debido a que se deben cumplir las condiciones de las protecciones. En la [sección 3.8](#) se verá con más detalle.

3.7.2 Tramo 2

Por este tramo de cableado circulará una corriente continua generada por los paneles. Según la normativa UNE (IEC 60364- 712) los conductores de CC deben tener aislamiento doble o reforzado (clase II) para minimizar el riesgo de defecto a tierra y de cortocircuito. Es decir, que para este tramo se va a utilizar cable de tipo solar.

La intensidad que circulará por cada una de las cadenas será la intensidad máxima que pueden dar los paneles y vendrá especificada en la [figura 3.14](#) que es la ficha técnica del panel, cuya intensidad es de 10,88 A.

Puesto que por este tramo va a circular una corriente inferior a la del tramo 1, se puede suponer que para la misma sección elegida en el tramo 1 la caída de tensión será mucho menores, cumpliendo las condiciones anteriormente citadas.

3.7.3 Tramo 3

Teniendo en cuenta que el inversor se situará al lado del cuadro de protecciones, no se van a tener en cuenta caídas de tensión. La intensidad que circulará por este tramo será de:

$$IntensidadTramo3 = IntensidadPanel + IntensidadAerogenerador = 10,88 + 25 = 35,88A \quad (3.26)$$

Puesto que el inversor tiene bastantes entradas MPPT, no es necesario calcular una sección específica, porque todos los cables llevarán la corriente que sale de los generadores. Cómo la más restrictiva es la del aerogenerador, esa es la sección que se va a utilizar. Cómo anteriormente se ha mencionado, por motivos de comodidad, aunque no sea estrictamente necesario, se va a instalar la sección necesaria para el aerogenerador para todos los otros tramos de corriente continua.

De hecho hasta se podría unir las salidas de los paneles fotovoltaicos de 2 en 2 cadenas, ya que la intensidad que circularía sería de 21,76 A siendo menor que la circularía por el tramo 1.

3.7.4 Tramo 4

Para este tramo se utilizará el cable proporcionado por el fabricante de las baterías. Dicho cable ya viene incluido en la compra de las baterías y dimensionado para su correcto funcionamiento.

3.7.5 Tramo 5

Por este tramo de cableado circulará una corriente alterna proporcionada por el inversor. Puesto que este tramo es muy corto, la caída de tensión no será muy grande. Así que la dimensión de este cableado se va a hacer para el tramo 5, en el cuál se van a utilizar 5 metros de cable y va a ser el mismo que se utilice en este tramo por ser menos restrictivo.

3.7.6 Tramo 6

Por este tramo de cableado circulará una corriente alterna proporcionada por el inversor. Conforme a lo comentado en el tramo 5, este tramo se va a calcular como si fuesen el tramo 5 y 6, por consiguiente este tramo va a tener una longitud de unos 6 metros.

La intensidad que circulará por este tramo será de:

$$IntensidadTramo5/6 = \frac{Potencia\ Instalada}{Tension\ Monofasica} = \frac{5000}{230} = 21,73 A \quad (3.27)$$

Puesto que la intensidad de cálculo debe ser menor a la intensidad máxima admisible del cable y según la Tabla 52-B1 y A.52-1 bis (UNE 20460-5-523:2004) que se puede ver en la [figura 3.16](#), la sección del cable será de $2,5mm^2$, sin ser definitiva.

Para esta sección se deben cumplir los criterios de capacidad térmica y los de la caída de tensión.

En primer lugar, se utiliza la [Ecuación 3.20](#) para hallar la temperatura real estimada a la que el conductor se va a exponer. Aplicando la ecuación:

$$T = 40 + \left[(90 - 40) \cdot \frac{21,73^2}{24^2} \right] = 80,99^\circ C \quad (3.28)$$

Por consiguiente, la conductividad a esa temperatura viene dada por la aplicación de la [Ecuación 3.21](#):

$$C = \frac{1}{\frac{1}{56}} \cdot (1 + 0,00392 \cdot (80,99 - 20)) = 45,19 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \quad (3.29)$$

Y por último para saber el porcentaje de la caída de tensión en ese tramo se deben combinar dos ecuaciones, tanto la [Ecuación 3.17](#) y [Ecuación 3.18](#), queda de tal forma:

$$\Delta U_{ca} = \frac{2 \cdot L \cdot P \cdot 100}{S \cdot C \cdot V_{trabajo}^2} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 5000 \cdot 100}{2,5 \cdot 45,19 \cdot 230^2} = 1,01 \% \quad (3.30)$$

Cumple con la normativa del REBT o del PCT del IDAE ya que es menor a la caída de tensión de 1,5%.

Es cierto que la caída de tensión es muy grande pero se ha de tener en cuenta que la sección va a cambiar debido a que se deben cumplir las condiciones de las protecciones.

A continuación, en la [sección 3.8](#) se va a ver con detalle.

3.8 Protecciones

Las protecciones automáticas en un sistema en el que se trabaja con corrientes que pueden poner en peligro la vida de seres vivos son indispensables para la instalación del SHFE. La instalación debe cumplir con la propuesta de seguridad de las normativas aplicables a la instalación del SHFE.

Las condiciones que se deben cumplir en las protecciones de la instalación son las siguientes:

- Protecciones CC

$$I_b < I_n < I_z \quad (3.31)$$

$$I_f < 1,45 \cdot I_z \quad (3.32)$$

Siendo I_n la intensidad del calibre de la protección e I_f la intensidad que garantiza el funcionamiento del fusible.

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

Tabla II

Figura 3.17: Tabla intensidades de los fusibles tipo gL y gG

- Protecciones CA
Se debe cumplir la [Ecuación 3.19](#).

Como medidas de protección de la instalación, y de esta respecto a las personas, se clasifican los siguientes sistemas de protección en las [subsección 3.8.1](#) y [subsección 3.8.2](#).

3.8.1 Protecciones CC

Las protecciones de corriente continua se van a instalar en un cuadro de protección, formadas por fusibles colocados tanto en el polo positivo como en el negativo y que van a proteger tanto los tramos 1 y 2 del SHFE.

No se ha optado por instalar sobretensiones debido a que la vivienda cuenta con un pararrayos bastante potente y tampoco se considera que sea una zona de alto riesgo de temporales eléctricos.

A continuación se van a calcular los 14 fusibles que deben soportar una corriente de $I_b=25A$.

Según la [Ecuación 3.31](#) y [Ecuación 3.32](#) que indican las condiciones de protección contra sobrecargas.

$$25 < I_n < 32 \quad (3.33)$$

Eso indica que I_n debe ser igual a 32A, ya que los calibres de los fusibles superiores a 25A son de 32A, por tanto, según [figura 3.16](#) la nueva intensidad máxima admisible $I_z=41$ aumentando la sección a 6mm^2 .

La otra condición de sobrecarga que se debe cumplir es la [Ecuación 3.32](#), para este caso, según la [figura 3.17](#):

$$1,6 \cdot I_n < 1,45 \cdot 41. \quad I_n < \frac{1,45 \cdot 41}{1,6} < 37,16\text{A} \quad \text{Cumple} \quad (3.34)$$

Se ha comprobado que se cumplen todas las condiciones del criterio de sobrecarga para un cable de 6mm^2 y un fusible de 32A en todos los tramos de corriente continua 1, 2 y 3.

El cable elegido es Cable Unifilar 6 mm² SOLAR PV ZZ-F y según el fabricante es especial para instalaciones eléctricas. Se trata de un cable de potencia libre de halógenos. El cable Solar ZZ-F es un cable flexible de potencia diseñado para satisfacer los requisitos industriales más exigentes, como por ejemplo las conexiones industriales de baja tensión, redes urbanas, instalaciones en edificios. Las características técnicas están incluidas en los Anexos.

En relación a los fusibles, se ha elegido el Fusible 32A 14x51 cuya ficha técnica se ha incluido en los Anexos.

3.8.2 Protecciones CA

En el cuadro de las protecciones de corriente alterna se van a instalar un interruptor magnetotérmico, para proteger la instalación contra sobrecargas y cortocircuitos, y un interruptor diferencial para proteger contra contactos directos e indirectos. Estas protecciones se van a encargar de proteger tanto los tramos de CA del SHFE.

En primer lugar, se va a realizar el dimensionamiento del interruptor magnetotérmico, para ello se debe tener en cuenta los criterios de sobrecarga, que vienen en esta [Ecuación 3.31](#). La intensidad del cálculo del tramo de CA se calculó en la [Ecuación 3.27](#).

$$21,73 < I_n < 24 \quad (3.35)$$

Puesto que no hay calibres de interruptores magnetotérmicos entre esos valores, se va a elegir un interruptor magnetotérmico con un calibre de 25A y por tanto, para cumplir esta condición la nueva sección según la [figura 3.16](#) debe ser de 4mm^2 , con una $I_z=32\text{A}$.

El interruptor magnetotérmico escogido para el cuadro de protecciones de CA del SHFE es Schneider Electric A9K17225 IK60N Interruptor Automático MagnetoTérmico.

A continuación se va a dimensionar el calibre del interruptor diferencial.

Se va a elegir un calibre superior al del interruptor magnetotérmico, por consiguiente, el calibre del diferencial será de 40 A. Se ha de tener en cuenta que en el abanico de cargas eléctricas se halla una bomba de agua, así que debe contar con un diferencial especial con una sensibilidad de 300 mA, aún así, este diferencial no se va a tener en cuenta ya que pertenece a la instalación ya existente.

Así que, obviando ese detalle, las cargas son comunes y se necesitará poner un diferencial con una sensibilidad de 30mA. Este interruptor diferencial como el interruptor magnetotérmico deben ser de 2 polos. Y por último, se va a optar poner un interruptor diferencial del tipo A, debido a que se tienen ciertos elementos que pueden provocar armónicos en la red y provocar disparos intempestivos de las protecciones.

El interruptor diferencial elegido es Diferencial Legrand 40A 2P 30mA Tipo A y según el fabricante es una protección esencial para prevenir derivaciones en nuestro circuito de corriente alterna. Este dispositivo actúa cuando detecta una diferencia en las lecturas provocada por una derivación.

Una vez consideradas las protecciones a utilizar en el SHFE, se puede afirmar el tipo de cable que se va a utilizar. Según el fabricante, el cable elegido se denomina como RZ1-K (AS) y está formado por cable de cobre flexible de alta seguridad con aislamiento XLPE y cubierta de poliolefinas.

Diseñado según UNE 21123-4, se trata de un cable de polietileno reticulado y cubierta: termoplástico, tipo Z1 libre de halógenos, no propagador de incendios y baja emisión de humos.

De este modo, se va a realizar una tabla para resumir los detalles más importantes que se han desarrollado en esta sección.

| Protección | Nombre Comercial | Características |
|----------------------------|--|--|
| Fusible | Fusible 32 A 14x51 | In=32 A Poder de Corte=100 kA |
| Interruptor Magnetotérmico | Schneider Electric A9K17225 IK60N | 2 polos-230 V / In=25 A Curva tipo C / Poder de Corte=6 kA |
| Interruptor Diferencial | Diferencial Legrand 40A 2P 30mA Tipo A | 2 polos-230 V / In=40 A / Sensibilidad=30 mA / Clase A |

Tabla 3.7: Tabla de características de cada una de las protecciones utilizadas

Completando la [tabla 3.6](#) se tiene esta otra:

| Tramo | Descripción | Longitud (m) | Sección (mm ²) | Descripción Cable |
|-------|--|--------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | Aerogenerador - Cuadro Protecciones CC | 14 | 6 | RZ1-K (AS) SOLAR PV ZZ-F |
| 2 | Paneles - Cuadro Protecciones CC | 3 | 6 | RZ1-K (AS) SOLAR PV ZZ-F |
| 3 | Cuadro Protecciones CC - Inversor | < 1 | 6 | RZ1-K (AS) SOLAR PV ZZ-F |
| 4 | Inversor - Baterías | < 1 | N/A | N/A |
| 5 | Inversor - Cuadro Protecciones CA | < 1 | 4 | RZ1-K (AS) |
| 6 | Cuadro Protecciones CA - Cuadro Vivienda | 6 | 4 | RZ1-K (AS) |

Tabla 3.8: Tabla con los Tramos del Cableado del SHFE

3.9 Toma a Tierra

La puesta a tierra en una instalación es muy importante y tiene como objeto limitar la tensión que se pueda presentar en un momento dado y también asegurar la actuación de las protecciones y disminuir el riesgo que supone un fallo en los conductores utilizados. Los conductores de cobre utilizados como electrodos serán de construcción y resistencia eléctrica según la clase 2 de la norma UNE 21.022.

Para la toma de tierra se pueden utilizar electrodos formados por barras, tubos, pletinas, conductores desnudos o placas.

El tipo y la profundidad de enterramiento de las tomas de tierra deben ser tales que los efectos climáticos no aumenten la resistencia de la toma de tierra por encima del valor estimado. Para asegurar el funcionamiento óptimo, la profundidad nunca será inferior a 0,50 metros.

Con todas estas condiciones, en el SHFE se tiene como objetivo conseguir una resistencia a tierra de 15Ω , ya que según el REBT los edificios con pararrayos tienen como meta ese valor de resistencia.

La sección de los cables de tierra vendrá pautada por la ITC-BT-18 del REBT, cuya tabla se puede ver en la [figura 3.18](#). Siguiendo la tabla, las secciones que se han calculado para el SHFE no van a ser superiores a 16mm^2 , así que las secciones de los cables de puesta a tierra deberán ser iguales a las secciones de fase ya calculadas.

Se pueden ver en esta [tabla 3.8](#).

Instalaciones de PUESTA A TIERRA

Secciones mínimas de los conductores de protección

| <i>Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm²)</i> | <i>Secciones mínimas de los conductores de protección (mm²)</i> |
|--|--|
| <i>S ≤ 16</i> | <i>S (*)</i> |
| <i>16 < S ≤ 35</i> | <i>16</i> |
| <i>S > 35</i> | <i>S/2</i> |

(*) Con un mínimo de:
 2,5 mm² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y tienen una protección mecánica
 4 mm² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y no tienen una protección mecánica

Valores de resistencia de tierra

| | | |
|--|---|--|
| Guía BT 18 | { | R < 15 Ω Edificios con parrarayos R < 37 Ω Edificios sin parrarayos |
| Reglamento de infraestructuras comunes de Telecomunicación en Edificios | { | R < 10 Ω |

Figura 3.18: Tabla con las secciones mínimas de los conductores de protección

Para concluir, la realización de la puesta a tierra se conectará la tierra existente del edificio, de manera que en el caso de que ocurra una falta esta sea absorbida por la totalidad de puesta a tierra asegurando la derivación de la falta.

3.10 Balance Energético

En esta sección se va a hacer un estudio analítico sobre los flujos de energía generados y consumidos en el SHFE.

Antes de presentar los datos de producción y consumos se ha de tener en cuenta que; para los consumos se ha cogido el caso más desfavorable y para los meses que no se enciende la bomba se ha restado el funcionamiento de la bomba de 2 horas al día, para la producción energética se han cogido los datos de la velocidad del viento de la [tabla 3.3](#), los datos de producción energética se toman de (*PVGIS 2022*) y por último, para este cálculo no se ha tenido en cuenta la batería, ya que es un análisis al día y se está estimando que las baterías se descargan al final del día, cosa que es irreal, porque algún día guardará algo de energía, pero se está estimando un caso pesimista.

En la siguiente [tabla 3.9](#) se pueden ver los datos numéricos de los consumos y de la producción tanto eólica, solar cómo la producción total para cada mes.

| Mes | Consumo | Paneles (5 kWp) | Aerogenerador (1 kWp) | Producción Total |
|------------|---------|-----------------|-----------------------|------------------|
| Enero | 14000 | 13710 | 3903,33 | 17613,33 |
| Febrero | 14000 | 14181,6 | 4058,33 | 18239,93 |
| Marzo | 14000 | 14552,9 | 3903,33 | 18456,23 |
| Abril | 14000 | 14496,8 | 3903,33 | 18400,13 |
| Mayo | 14000 | 14593,1 | 3591,67 | 18184,77 |
| Junio | 14600 | 14629,4 | 2680,00 | 17309,40 |
| Julio | 14600 | 14599,1 | 2978,33 | 17577,43 |
| Agosto | 14600 | 14554,4 | 2828,33 | 17382,73 |
| Septiembre | 14600 | 14495,7 | 2388,33 | 16884,03 |
| Octubre | 14000 | 14091,6 | 2680,00 | 16771,60 |
| Noviembre | 14000 | 13304,7 | 3591,67 | 16896,37 |
| Diciembre | 14000 | 13123,5 | 4058,33 | 17181,83 |

Tabla 3.9: Tabla con los datos de Consumos Y Producción cada mes

***Todos los datos numéricos están dados en Wh/día.**

Aunque se ve claramente que la producción es mucho mayor que los consumos estimados como más pesimistas, a partir de estos datos se va a realizar un gráfico para poder compararlos.

Primero se va a observar en un gráfico de barras 2D una comparativa entre la producción de cada tecnología y la producción total en la [figura 3.19](#).

A continuación se va a ver la comparativa en el gráfico de barras en 2D entre los consumos y la producción total en la [figura 3.20](#).

Cómo añadido, la simulación en PVGIS proporciona un gráfico que muestra el porcentaje de días que la batería dimensionada va a estar tanto llena como vacía y el porcentaje de días que tendrá de carga la batería al final del día. Se puede ver en la siguiente [figura 3.21](#):

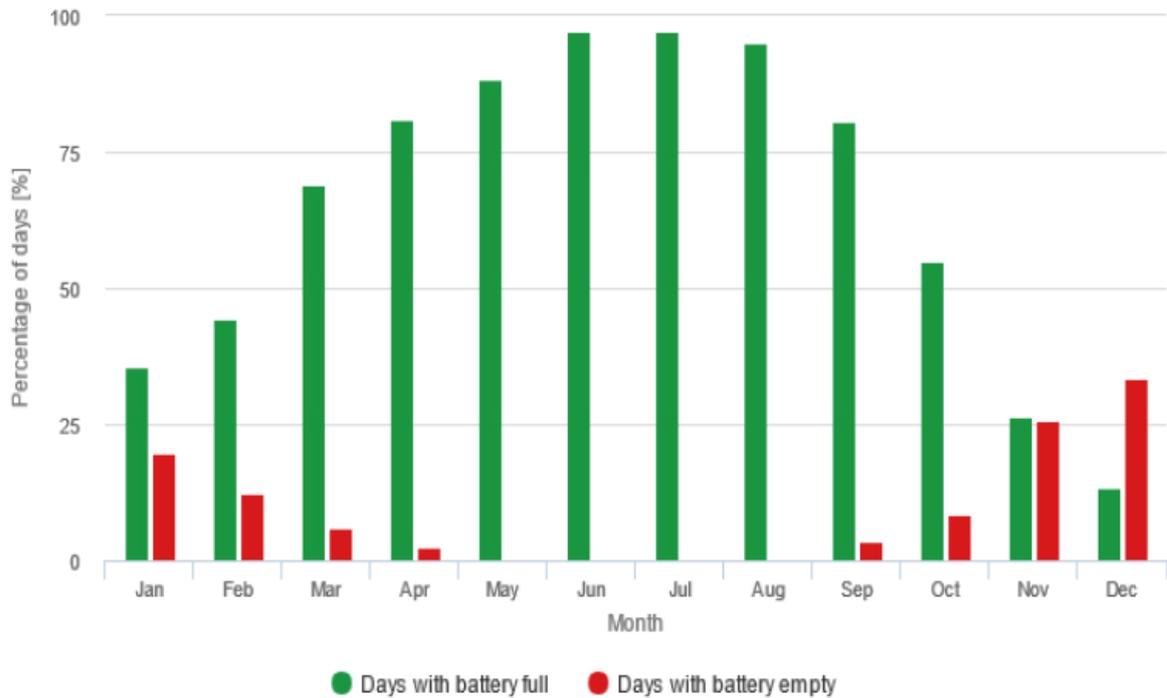


Figura 3.19: Gráfico Producción de cada Generador-Producción Total en el SHFE



Figura 3.20: Gráfico Consumo-Producción en el SHFE

Battery performance for off-grid PV system:



Probability of battery charge state at the end of the day:

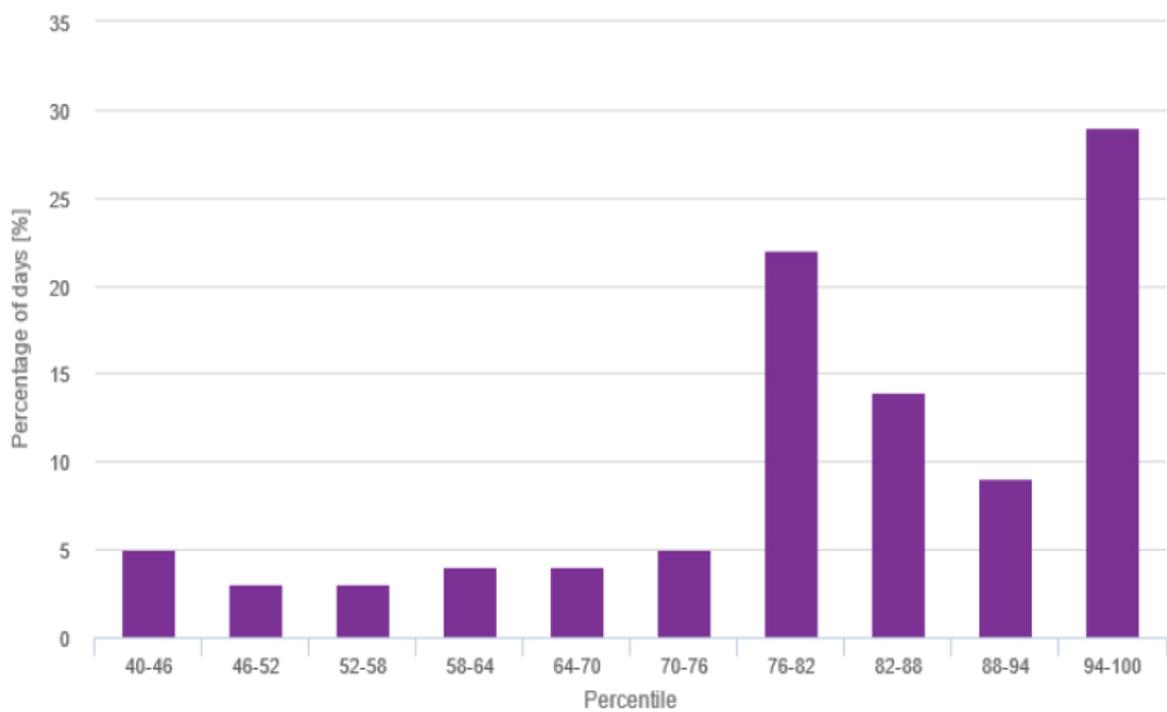


Figura 3.21: Gráficos en PVGIS de las baterías

3.11 Plano Final

3.11.1 *Esquema Unifilar*

En la [figura 3.22](#) se puede ver el esquema unifilar del SHFE dimensionado.

3.11.2 *Plano de Ubicación*

En la [figura 3.23](#) se puede ver el plano de ubicación catastral del SHFE dimensionado.

3.11.3 *Plano 2D*

En la [figura 3.24](#) se puede ver el plano 2D de los elementos del SHFE dimensionado.

3.11.4 *Esquema de Conexiones / Plano Multifilar*

En la [figura 3.25](#) se puede ver el plano multifilar con todas las conexiones del cableado del SHFE dimensionado.

A parte, debido a la mala calidad de la imagen, se va a añadir un pdf del plano multifilar en A3 para visualizar mejor el mismo.

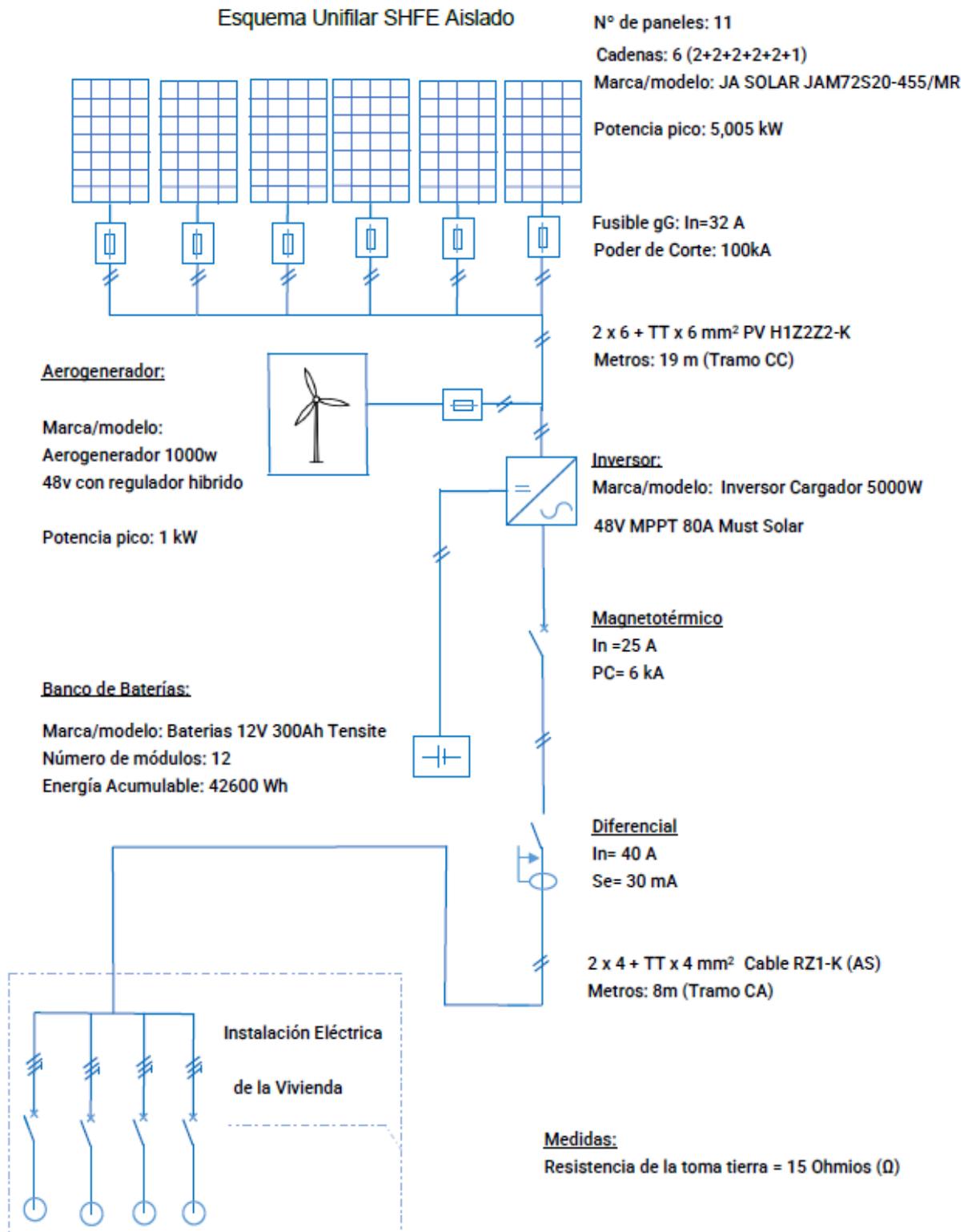


Figura 3.22: Esquema Multifilar del SHFE

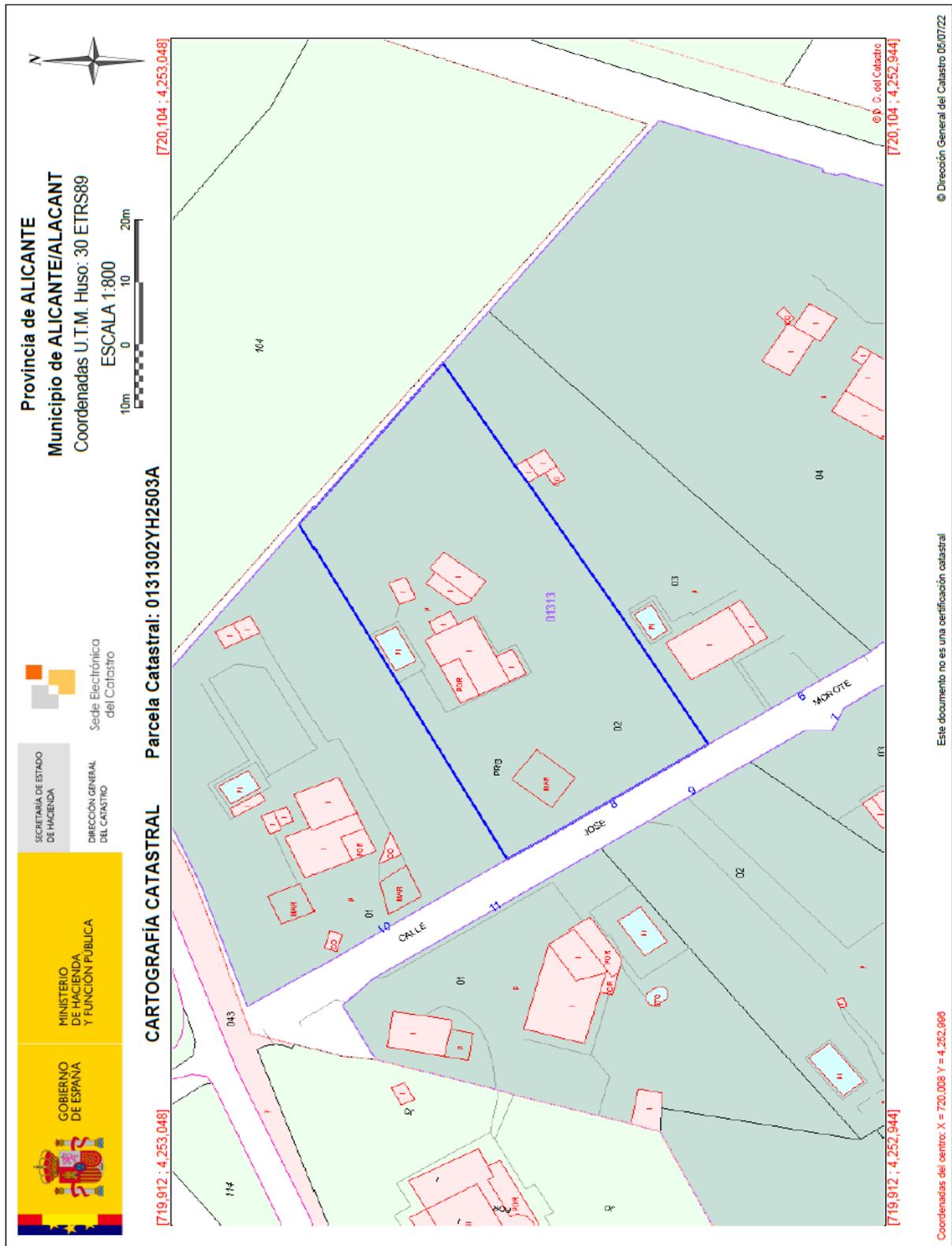


Figura 3.23: Plano de Ubicación Catastral



Figura 3.24: Plano 2D con la ubicación de los elementos del SHFE

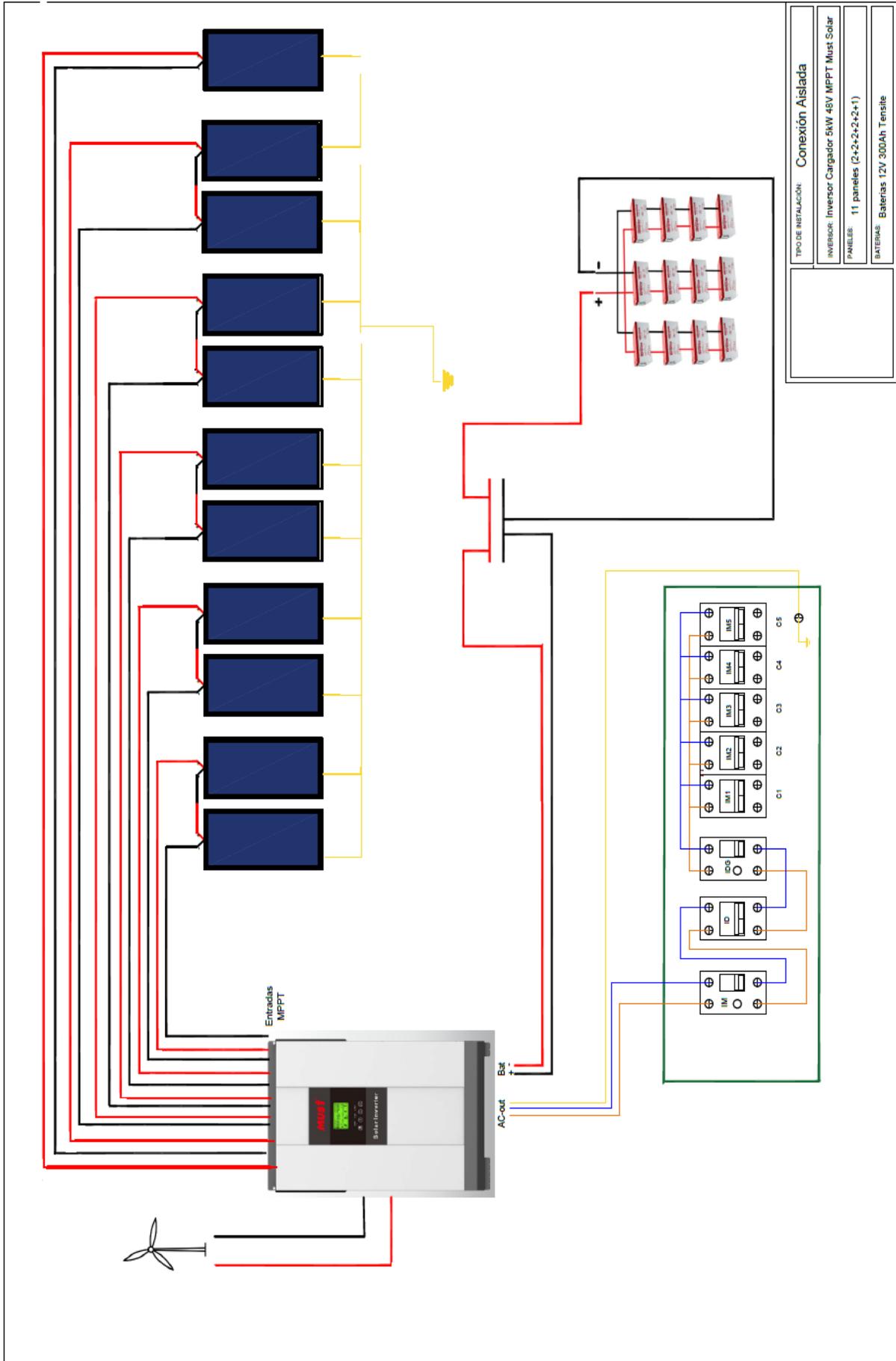


Figura 3.25: Plano Multifilar del SHFE en A4

4 Estudio Económico

4.1 Presupuesto

A continuación, se va a realizar un resumen detallado de todos los artículos que se van a necesitar para completar y efectuar la instalación del SHFE.

Se han añadido varios artículos con la finalidad de complementar los elementos indispensables en la instalación del SHFE.

Todos los precios se han obtenido el mismo día a la vez con tal de hacerlo lo más real posible. Los precios son variables según el valor de la moneda y del propio artículo en momentos distintos en el tiempo.

La mayoría de artículos se se han sacado de las siguientes páginas web ([Autosolar 2022](#)), ([Martin Solar 2022](#)) y ([Schneider Electric España 2022](#)) entre otras.

Se va a estimar un coste de 10 % del total del presupuesto en la mano de obra.

En la [figura 4.1](#) se puede ver un gráfico en forma de tarta que resume por porcentajes el coste de cada elemento del precio total presupuesto generado.

En él se puede observar que el coste de las baterías es casi la mitad del coste de la instalación del SHFE entero.

Es uno de los motivos por los cuáles se ha elegido poner baterías AGM en lugar de baterías de litio.

Aún así, en la [sección 4.2](#) se va a poder analizar si se pueden cambiar las baterías, en caso de que salga rentable.

| Artículo | Descripción del Artículo | Unidades | Precio Ud | Total |
|----------|--|----------|-----------|-----------------|
| Inversor | | | | 661,27 € |
| | Inversor Cargador 5000W 48V MPPT 80A Must Solar | 1 | 617,12 € | 617,12 € |
| | Base Instalación Inversor | 1 | 44,15 € | 44,15 € |

Tabla 4.1: Presupuesto Inversor Instalación SHFE

| Artículo | Descripción del Artículo | Unidades | Precio Ud | Total |
|-------------|---|----------|-----------|------------------|
| Panel Solar | | | | 2617,97 € |
| | Panel Solar JA SOLAR JAM72S20-455/MR 455W | 11 | 203,72 € | 2240,92 € |
| | Estructura 5 Paneles 30-45mm Coplanar Falcat | 1 | 170,56 € | 170,56 € |
| | Estructura 6 Paneles 30-45mm Coplanar Falcat | 1 | 206,49 € | 206,49 € |

Tabla 4.2: Presupuesto Panel Solar Instalación SHFE

| Artículo | Descripción del Artículo | Unidades | Precio Ud | Total |
|---------------|--|----------|-----------|-----------------|
| Aerogenerador | | | | 889,00 € |
| | Aerogenerador 1000w 48v con Regulador Híbrido | 1 | 889,00 € | 889,00 € |

Tabla 4.3: Presupuesto Aerogenerador Instalación SHFE

| Artículo | Descripción del Artículo | Unidades | Precio Ud | Total |
|----------|---------------------------------------|----------|-----------|------------------|
| Batería | | | | 4757,26 € |
| | Batería AGM 12V 300Ah Tensite | 12 | 375,43 € | 4505,16 € |
| | Cable de Interconexión de Baterías | 18 | 9,30 € | 167,40 € |
| | Desconector de Baterías 600A | 1 | 84,70 € | 84,70 € |

Tabla 4.4: Presupuesto Batería Instalación SHFE

| Artículo | Descripción del Artículo | Unidades | Precio Ud | Total |
|----------|--|----------|-----------|-----------------|
| Cableado | | | | 190,39 € |
| | Cable Unifilar 6mm ² SOLAR PV ZZ-F Rojo | 20 | 2,94 € | 58,80 € |
| | Cable Unifilar 6mm ² SOLAR PV ZZ-F Negro | 20 | 2,94 € | 58,80 € |
| | Cable 6mm ² H07V-K Amarillo Verde | 25 | 1,35 € | 33,75 € |
| | Cable Manguera 3 x 4mm ² Libre Halógenos | 8 | 4,88 € | 39,04 € |

Tabla 4.5: Presupuesto Cableado Instalación SHFE

| Artículo | Descripción del Artículo | Unidades | Precio Ud | Total |
|--------------|---|----------|-----------|-----------------|
| Protecciones | | | | 418,72 € |
| | Caja de Protecciones ICP | 2 | 7,43 € | 14,86 € |
| | Fusible 32A 14x51 | 14 | 4,24 € | 59,36 € |
| | Portafusibles 14x51 | 14 | 16,77 € | 234,78 € |
| | Interruptor Magnetotérmico Sch- neider Electric A9K17225 IK60N | 1 | 15,13 € | 15,13 € |
| | Interruptor Diferencial Legrand 40A 2P 30mA Tipo A | 1 | 94,59 € | 94,59 € |

Tabla 4.6: Presupuesto Protecciones Instalación SHFE

| Artículo | Descripción del Artículo | Unidades | Precio Ud | Total |
|--------------|--------------------------|----------|--------------|-----------------|
| Mano de Obra | | | | 953,46 € |
| | Mano de Obra | 1 | 10 % Parcial | 953,46 € |

Tabla 4.7: Presupuesto Mano de Obra Instalación SHFE

| Artículo | Total | |
|-----------------|--------------|-------------------|
| Inversor | | 661,27 € |
| Panel Solar | | 2617,97 € |
| Aerogenerador | | 889,00 € |
| Batería | | 4757,26 € |
| Cableado | | 190,39 € |
| Protecciones | | 418,72 € |
| | Parcial | 9534,61 € |
| Mano de Obra | 10 % | 953,46 € |
| | | |
| | Subtotal | 10488,07 € |
| | IVA | 21 % |
| | TOTAL | 12690,57 € |

Tabla 4.8: Presupuesto Final Instalación SHFE

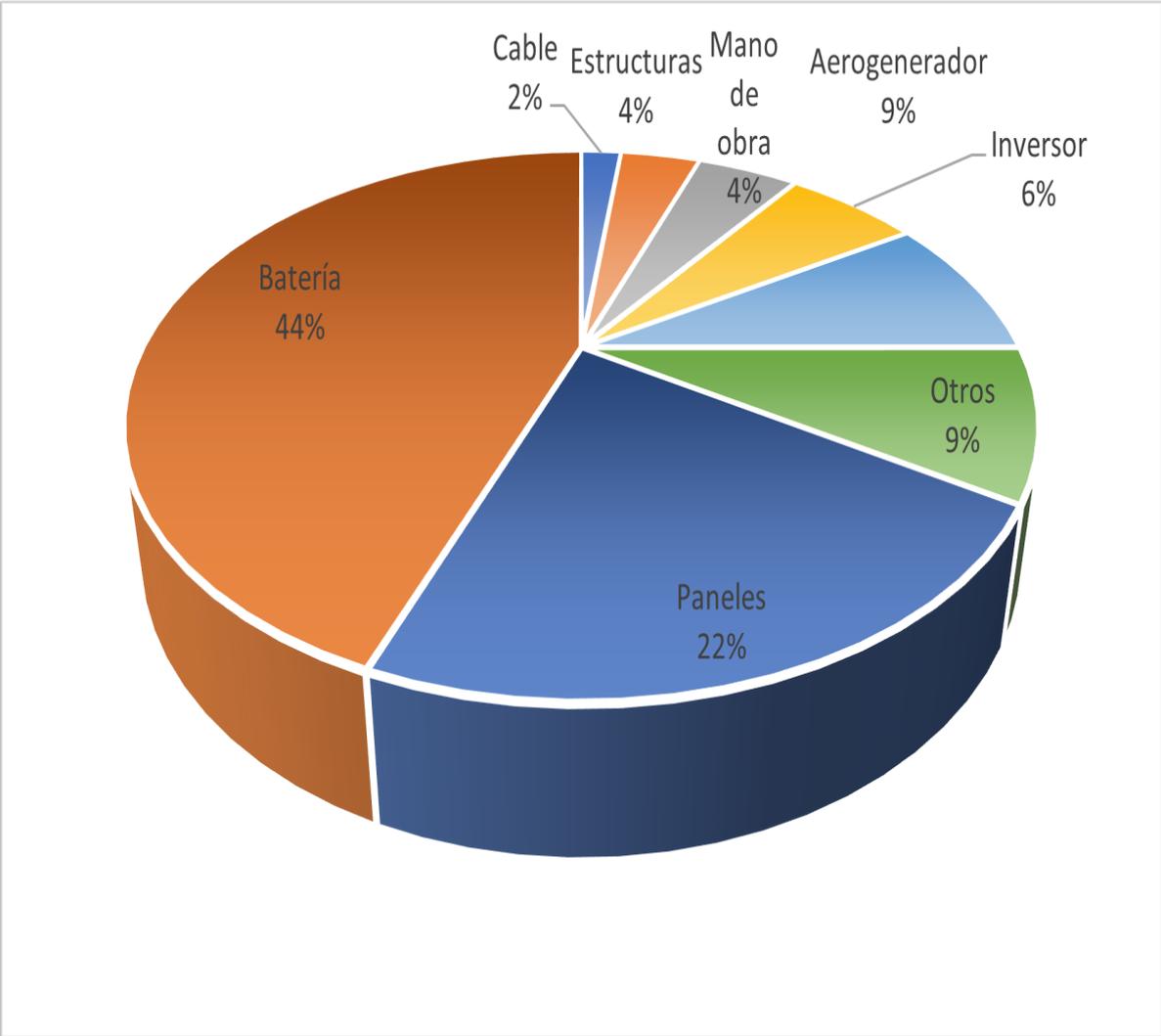


Figura 4.1: Gráfico Porcentajes de Precio del Presupuesto

4.2 Análisis de la Rentabilidad del Proyecto

Cabe destacar que en este análisis no se han tenido en cuenta ni ingresos por subvenciones ni tampoco gastos por posibles tramitaciones para legalizar la instalación. Es imposible meter estos datos ya que los fondos de las subvenciones son variables y los gastos por tramitación de certificados, estudios u otros documentos necesarios para la legalización son variables y dependientes de muchas variables. Más adelante, en el [Capítulo 5](#) se van a comentar algunas de estas cosas mencionadas.

A continuación, con la finalidad de hacer el análisis económico y estudiar la rentabilidad de la instalación del SHFE, se deben tener en cuenta los siguientes datos proyectados en la [figura 4.2](#).

Cogiendo los datos de la producción de la [tabla 3.9](#) y haciendo una media al año, se puede obtener cerca de 6414 kWh.

Se ha estimado un descenso de la producción de los sistemas de generación del 0,5 % al año y que de esa energía generada se consumirá un 90 %.

El precio de la factura de la luz se ha considerado una media de 248 €/MWh en el 2022, aunque a día de hoy el periodo valle (el más barato) entorno a los 330 €/MWh. A día de hoy en España los valores de las tasas de interés e inflación están al 1,54 % y al 10,2 % respectivamente. Aún así, se va a estimar una tasa de inflación media de 2,10 % a lo largo de esos años.

Por último, el estudio económico se va a realizar suponiendo que la instalación del SHFE tiene una vida útil de 25 años. Para ello, se deben tener en cuenta los cambios en los materiales que no tengan esa vida útil. En este caso, se estima que las baterías se cambiarán cada 8 años y que el inversor se cambiará cada 10 años. Esto implica, que el año 20 se va a cambiar el inversor, pero no se va a suponer el coste de 10 años, sino solo el de 5 años, ya que el estudio se va a hacer hasta los 25 años.

| <i>Datos</i> | |
|--|-------------|
| <i>Producción anual media (kWh)</i> | 6413,62 |
| <i>Descenso producción</i> | 0,50% |
| <i>Ahorro en la factura (€/kWh)</i> | 0,248 |
| <i>Tarifa incentivada (Excedentes)</i> | 0 |
| <i>Costes explotación</i> | 12,50 € |
| <i>Inversión inicial</i> | 12.690,57 € |
| <i>Tasa interes</i> | 1,54% |
| <i>Tasa inflación</i> | 2,10% |
| <i>Costes de capital</i> | -0,0056 |
| <i>Vida útil instalación</i> | 25 |
| <i>Autoconsumo</i> | 90% |

Figura 4.2: Datos Relativos al Estudio Económico del SHFE

A continuación, en la [figura 4.3](#), se puede observar el estudio económico del SHFE.

Estudio de rentabilidad

| Año | Potencia producida (kWh) | Autoconsumo (kWh) | Ingreso potencia producida | Costes explotación | Cambios material | FC no actualizado | Ganancias | FC actualizado | VAN |
|-----|--------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|------------------|-------------------|-----------|----------------|----------|
| 1 | 6413,6 | 5772,3 | 1432 € | 12,50 € | | -11272 € | -11272 € | -11264 € | -11264 € |
| 2 | 6381,6 | 5743,4 | 1424 € | 12,50 € | | 1412 € | -9860 € | 1428 € | -9836 € |
| 3 | 6349,6 | 5714,7 | 1417 € | 12,50 € | | 1405 € | -8455 € | 1429 € | -8407 € |
| 4 | 6317,9 | 5686,1 | 1410 € | 12,50 € | | 1398 € | -7057 € | 1429 € | -6978 € |
| 5 | 6286,3 | 5657,7 | 1403 € | 12,50 € | | 1391 € | -5667 € | 1430 € | -5548 € |
| 6 | 6254,9 | 5629,4 | 1396 € | 12,50 € | | 1384 € | -4283 € | 1431 € | -4117 € |
| 7 | 6223,6 | 5601,2 | 1389 € | 12,50 € | | 1377 € | -2906 € | 1432 € | -2685 € |
| 8 | 6192,5 | 5573,2 | 1382 € | 12,50 € | 4505 € | -3135 € | -6042 € | -3280 € | -5964 € |
| 9 | 6161,5 | 5545,4 | 1375 € | 12,50 € | | 1363 € | -4679 € | 1433 € | -4531 € |
| 10 | 6130,7 | 5517,6 | 1368 € | 12,50 € | 617 € | 739 € | -3940 € | 781 € | -3749 € |
| 11 | 6100,1 | 5490,1 | 1362 € | 12,50 € | | 1349 € | -2591 € | 1435 € | -2314 € |
| 12 | 6069,6 | 5462,6 | 1355 € | 12,50 € | | 1342 € | -1249 € | 1436 € | -879 € |
| 13 | 6039,2 | 5435,3 | 1348 € | 12,50 € | | 1335 € | 86 € | 1437 € | 558 € |
| 14 | 6009,0 | 5408,1 | 1341 € | 12,50 € | | 1329 € | 1415 € | 1437 € | 1995 € |
| 15 | 5979,0 | 5381,1 | 1335 € | 12,50 € | | 1322 € | 2737 € | 1438 € | 3433 € |
| 16 | 5949,1 | 5354,2 | 1328 € | 12,50 € | 4505 € | -3190 € | -453 € | -3490 € | -56 € |
| 17 | 5919,3 | 5327,4 | 1321 € | 12,50 € | | 1309 € | 856 € | 1440 € | 1384 € |
| 18 | 5889,7 | 5300,8 | 1315 € | 12,50 € | | 1302 € | 2158 € | 1441 € | 2824 € |
| 19 | 5860,3 | 5274,3 | 1308 € | 12,50 € | | 1296 € | 3453 € | 1441 € | 4266 € |
| 20 | 5831,0 | 5247,9 | 1301 € | 12,50 € | 309 € | 980 € | 4434 € | 1097 € | 5363 € |
| 21 | 5801,8 | 5221,6 | 1295 € | 12,50 € | | 1282 € | 5716 € | 1443 € | 6805 € |
| 22 | 5772,8 | 5195,5 | 1288 € | 12,50 € | | 1276 € | 6992 € | 1444 € | 8249 € |
| 23 | 5744,0 | 5169,6 | 1282 € | 12,50 € | | 1270 € | 8262 € | 1445 € | 9694 € |
| 24 | 5715,2 | 5143,7 | 1276 € | 12,50 € | 1126 € | 137 € | 8399 € | 157 € | 9850 € |
| 25 | 5686,7 | 5118,0 | 1269 € | 12,50 € | | 1257 € | 9655 € | 1446 € | 11297 € |

Figura 4.3: Estudio de la Rentabilidad Económica de la instalación del SHFE

Cómo se puede observar en la [figura 4.3](#) , el plazo de recuperación actualizado (PRA) es de 12 años. Aunque debido a la inversión de la renovación de baterías en el año 16 el VAN vuelve a salir negativo.

Es obvio que la instalación sale rentable ahorrando hasta un total de 11297 €.

Es por eso que se podría hacer un estudio cambiando las baterías AGM por baterías de litio para ver cuál sería la rentabilidad con este tipo de baterías.

El problema es que introducir estas baterías es muy complicado ya que no son compatibles con el SHFE que se ha presupuestado, así que habría que cambiar bastantes elementos, pero es una opción a considerar. Y sería bastante interesante saber si se puede encontrar el equilibrio entre la vida útil y el precio para esta instalación.

5 Instalación y Legalización en Industria del SHFE

5.1 Instalación del SHFE

Para realizar la instalación del SHFE el organismo encargado de aprobar dicha instalación es el ayuntamiento. Se debe notificar al ayuntamiento de la zona dónde se hará la instalación.

Cada ayuntamiento puede pedir ciertos documentos para realizar la instalación, normalmente se suelen pedir algunos de los siguientes documentos (entre muchos otros):

- Memoria Técnica de Diseño
- Estudio de Seguridad y Salud
- Gestión de Residuos
- Estudio de Cargas
- Declaración Responsable
- Licencia de Obras
- Certificado de eficiencia energética
- Certificado de integración paisajística
- Certificado de no deslumbramiento de los paneles

Se han incluido ejemplos de algunos de los documentos citados en los anexos.

La mayoría de los documentos deben estar realizados y firmados por un ingeniero eléctrico colegiado.

5.2 Legalización en Industria

Para legalizar una instalación se debe cumplir con la normativa citada en el [Capítulo 2](#) y es obligatorio que esté registrada por la comunidad autónoma donde se encuentre la instalación del SHFE aislado.

En este caso, la legalización no se va realizar debido a que al ser una instalación aislada y no hacer inyección de energía a la red eléctrica no se necesita legalizar el SHFE.

Otros de los motivos es que se ha estimado que no se va a pedir una subvención para realizar la instalación. En caso de pedir esa subvención, para poder obtenerla es totalmente necesario hacer una tramitación en industria del SHFE.

Las legalizaciones en la Comunidad Valenciana se pueden realizar telemáticamente en la web de GVA ([Página web GVA 2022](#)) a partir de un certificado de identidad.

Se deben rellenar varios formularios con los datos de la instalación, cómo por ejemplo:

- Datos Titular (Nombre, DNI, Contacto, Dirección)
- Datos Técnicos de la Instalación (Potencia Instalada, Potencia Contratada, Potencia Pico del Generador, Tipo de Instalación, etc)
- Datos Emplazamiento de la Instalación (Dirección, Referencia Catastral, CUPS)
- Datos Ingeniero Responsable (Nombre, DNI, Contacto, Dirección)
- Datos Instalador (Nombre o Razón Social, DNI o CIF, Contacto, Dirección)

Y una vez realizado el formulario con todos los datos, se deben aportar algunos de estos documentos:

- Memoria Técnica de Diseño (Proporcionada en la propia web de GVA)
- Certificados de algunos de los elementos (Inversor, Baterías, Paneles, etc)
- Croquis Trazado del emplazamiento dónde se realizará la instalación (Especificando lugar de los generadores y del cuadro eléctrico de la vivienda)
- Esquema Unifilar de la instalación

Todo este trámite se realiza para obtener un documento llamado boletín eléctrico o CIE. El CIE es el Certificado de Instalación Eléctrica y se utiliza para certificar que la instalación eléctrica se encuentra en buenas condiciones y que cumple con los requisitos técnicos exigidos.

De tal forma que, cuando industria emite el CIE, ya se puede dar por legalizada la instalación.

6 Conclusiones

El objetivo del trabajo se ha cumplido, puesto que la instalación del SHFE se ha dimensionado en su totalidad a través de cálculos justificativos de cada uno de los elementos que forman el sistema.

Se ha podido observar la robustez, la estabilidad y la versatilidad de este sistema, características totalmente imprescindibles para un sistema híbrido aislado que debe ser autosuficiente e independiente de la red eléctrica. Gracias a las simulaciones se ha podido hacer un análisis sobre el sistema y se han sostenido en ello los cálculos justificativos para el dimensionamiento del sistema.

Mediante la realización del estudio económico en la [sección 4.2](#) se ha podido confirmar que la instalación del SHFE será rentable ahorrando hasta un total de 11297 €.

Este trabajo muestra el estudio de un sistema aislado de la red que se apoya en el autoconsumo a través del desarrollo de las energías renovables que cada vez tienen más peso en la sociedad actual. Este detalle es muy importante ya que cómo se ha visto en la [sección 1.3](#), el problema con relación al precio de la electricidad es cada vez tan grande que se necesita dimensionar estos sistemas para combatir los precios abusivos de las empresas generadoras, distribuidoras y comercializadoras de una forma económica y limpia para el planeta Tierra.

Se debe tener en cuenta que estos sistemas están en desarrollo, tanto para los acumuladores de energía, los generadores de energía o los convertidores, entre otros, se estima que se pueda mejorar su eficiencia para hacer mucho más rentables estos sistemas. Incluso ya hay algunos desarrollos reales, como se ha descrito en la [sección 7.2](#).

7 Recomendaciones

7.1 Recomendaciones Caso Particular

Como todo en la vida siempre falta algo para completar un buen trabajo. Aunque sea un pequeño detalle siempre hay algo que se pueda mejorar.

En esta sección se va a comentar las cosas que se podrían haber añadido en el proyecto para mejorarlo pero que no se han podido añadir por falta de tiempo o recursos, sea por impedimentos físico-económicos.

Ya se ha comentado que se podría haber realizado un estudio comparativo sobre la inserción de las baterías de litio como acumulador energético en el SHFE, cambiando no solo las baterías sino todos los elementos que afecten a este cambio, como un inversor compatible, sistema BMS, etc.

Sería conveniente insertar imágenes sobre los lugares de la instalación de los elementos en la vivienda a través de imágenes reales, para tener en cuenta todos los detalles a la hora de instalar cada elemento.

Hacer un estudio sobre el consumo horario real que tendría la vivienda en determinadas épocas del año, teniendo en cuenta el uso de la potencia instantánea que se consume en cada carga de consumo de la vivienda.

Realización de planos detallados y acotados para la instalación del SHFE en la vivienda. Efectuar una comparativa estimando datos económicos menos conservadores y más reales.

Es difícil realizar una crítica constructiva sobre un trabajo realizado con solo un punto de vista, pero estas serían algunas de las recomendaciones entre otras que se podrían tener en cuenta.

7.2 Tecnologías en Desarrollo

7.2.1 *Paneles Aerovoltaicos*

Recientemente se ha desarrollado un tipo de panel que es capaz de aprovechar la energía solar de dos formas distintas: térmicamente y fotovoltaicamente. Básicamente se trata de juntar los paneles capaces transformar la energía solar en energía térmica y los paneles capaces de transformar energía solar en electricidad.

La composición del módulo aerovoltaico consta en dos partes. La parte delantera del panel aprovecha los rayos del sol para generar electricidad a través del efecto fotovoltaico y la parte trasera del panel capta el calor de la atmósfera, donde se filtra a través del módulo de ventilación y gestión de la energía antes de utilizarse para calentar la vivienda y purificar el aire de su interior.

La diferencia con los paneles solares fotovoltaicos tradicionales es que éstos pierden alrededor del 60 % de la energía del sol disponible. En una unidad estándar, este calor se perdía, hasta que se desarrolló un panel aerovoltaico que recupera la energía solar que de otro modo se desperdiciaría y la utiliza para regular la temperatura en el interior de un edificio.

Este sistema contribuye en gran medida a generar menos contaminación que los sistemas convencionales que ya se conoce.

La información ha sido extraída de la web ([Aerovoltaicos 2022](#))

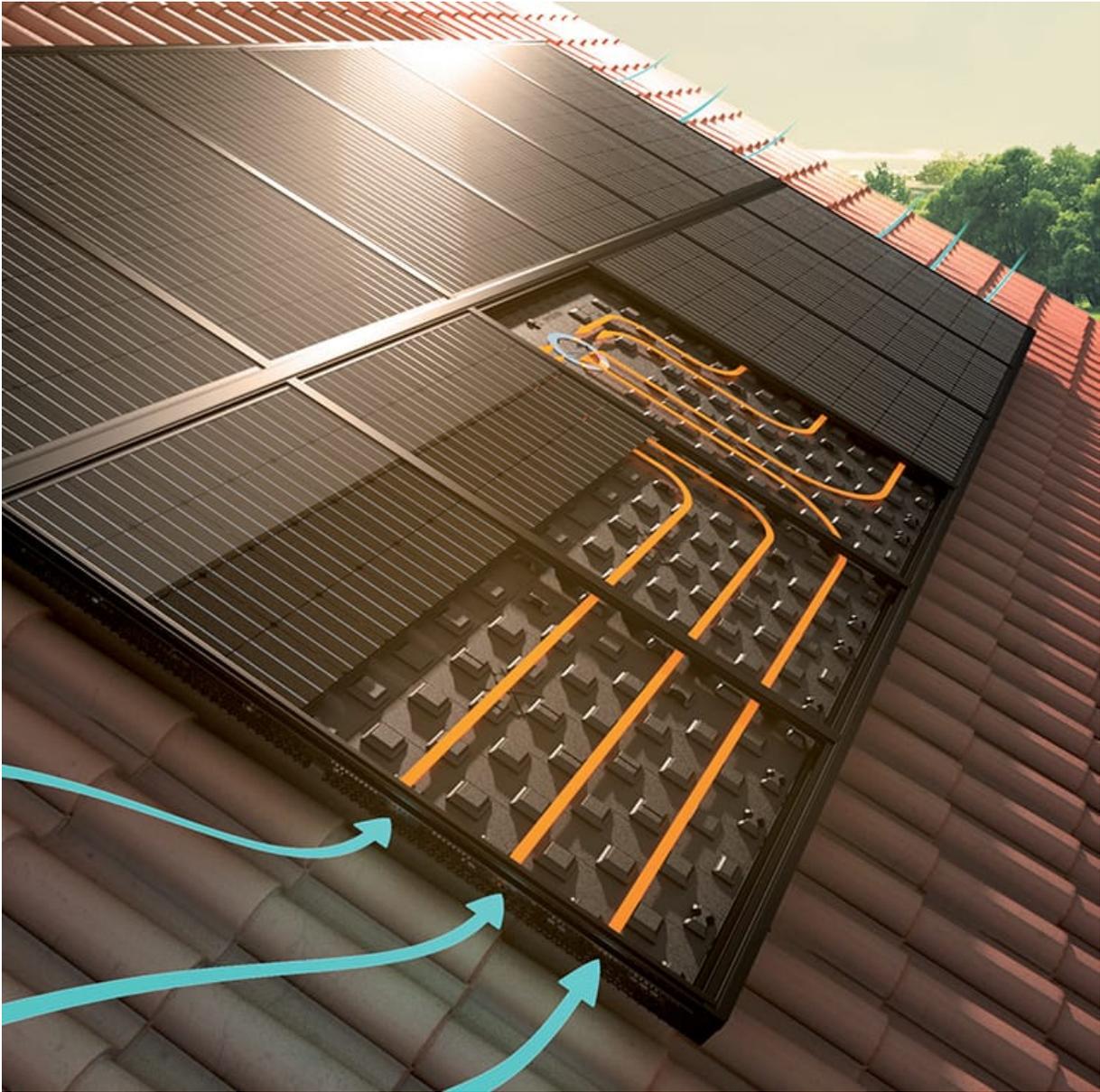


Figura 7.1: Panel aerovoltaico instalado en tejado

7.2.2 Baterías de Hormigón

Una idea que está sonando cada vez más a la hora de almacenar de energía es la de las baterías de hormigón. No, no significa que las baterías estén hechas de hormigón como las de litio o sodio, en este caso no existe una reacción química que produzca energía.

Este tipo de baterías aprovecha un principio básico de la física y es almacenar energía en forma de energía potencial gravitatoria. Por lo tanto, lo que se hace es subir bloques de hormigón de gran peso a una gran altura. Esto es debido a que la energía potencial es la energía que un objeto posee debido a su posición en un campo de fuerzas. En este ejemplo, el objeto es el bloque de hormigón y el campo de fuerzas es el que se crea debido a la interacción entre la masa de la Tierra y el bloque de hormigón.

Para transformar esa energía lo que se hace es soltar los bloques de hormigón y aprovechar la energía cinética para mover el rotor o los rotores de un motor eléctrico para así convertir esa energía cinética en electricidad.

Lo comentado anteriormente se puede comprobar con las siguientes ecuaciones, tanto la [Ecuación 7.1](#) y la [Ecuación 7.2](#).

$$\text{Energía Potencial} = m \cdot g \cdot h \quad (7.1)$$

$$\text{Energía Cinética} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (7.2)$$

Este tipo de baterías se ha puesto a prueba en la red eléctrica de Suiza gracias a la empresa suizo-estadounidense Energy Vault, utilizando una grúa de 70 metros de altura con 6 brazos mecánicos que suben y bajan los bloques de hormigón cuando existe una falta o un exceso de energía en la red eléctrica, respectivamente.

La ventaja más grande que tienen este tipo de baterías es que almacenan la energía de forma permanente, es decir, que en un estado en el que no fluye la energía, la energía no se pierde o se descarga de forma espontánea.

Toda esta información se ha sacado de la web (Lewis [2022](#))



Figura 7.2: Imagen de la grúa utilizada para las baterías de hormigón

Bibliografía

- Aerogenerador 1000w 48v con regulador hibrido* (2022). URL: <https://www.martinsolar.es/product-page/aerogenerador-1000w-48v-con-regulador-hibrido> (vid. pág. 30).
- Aerovoltaicos, Paneles Solares (2022). *Página web Panel Aerovoltaico*. URL: <https://ecoinventos.com/paneles-solares-aerovoltaicos/> (vid. pág. 64).
- Autosolar* (2022). URL: <https://autosolar.es> (vid. pág. 52).
- Beaufort, Francis (2021). “Escala de Beaufort”. En: *meteogalicia.es*, pág. 1 (vid. pág. 15).
- Bornay* (2022). URL: <https://www.bornay.com/es> (vid. págs. 17, 30).
- “Consumo Energético Mundial de Electricidad” (2020). En: *enerdata.net*, pág. 1 (vid. pág. 3).
- Fracture, Quantum (2021). *El Sistema que Hace que el Precio de la Luz esté Altísimo*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=rRWWirKLHAU> (vid. pág. 4).
- García, David (2022). “Subida del precio de la luz”. En: <https://www.endesa.com>, pág. 1 (vid. pág. 4).
- Lewis, Nell (2022). *La gravedad podría resolver el principal problema de la energía renovable*. URL: <https://cnnespanol.cnn.com/2022/03/14/gravedad-energia-renovable-energy-vault-trax/amp/> (vid. pág. 66).
- Martin Solar* (2022). URL: <https://www.martinsolar.es/product-page/aerogenerador-1000w-48v-con-regulador-hibrido> (vid. pág. 52).
- Página web GVA* (2022). URL: https://www.gva.es/es/inicio/procedimientos?id_proc=2889&version=amp (vid. pág. 61).
- PVGIS* (2022). URL: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (vid. págs. 17, 43).
- Schneider Electric España* (2022). URL: <https://www.se.com/es/es/> (vid. pág. 52).

T. Markvart Luis Castañer Muñoz, Augustin McEvoy (2019). *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications* (vid. pág. 9).

Vicente, Antonio Madrid (2019). *Energía solar fotovoltaica y térmica. Manual técnico*. AMV ediciones (vid. pág. 9).