



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE DIFERENTES
SISTEMAS RENOVABLES HÍBRIDOS PARA
SATISFACER LA DEMANDA ELÉCTRICA EN
ISLAS DE PEQUEÑO TAMAÑO:
APLICACIÓN A LA ISLA “LA
GRACIOSA” (“CANARIAS”)**

AUTORA: PATRICIA PENADÉS HUESCA

TUTORA: ELISA PEÑALVO LÓPEZ

COTUTOR: FRANCISCO JAVIER CÁRCEL CARRASCO

Curso Académico: 2019-20

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, me gustaría agradecer a mi tutora Elisa Peñalvo por todo su tiempo invertido y por la oportunidad que me ha brindado al realizar este trabajo.

También, aprovecho la ocasión para agradecer a Begoña por su dedicación en este trabajo.

A mis padres, y en especial a mi hermana, por el apoyo incondicional y la confianza que siempre me han dado.

Por último, no puedo dejar de citar a mis amigos y compañeros que me han permitido entrar en sus vidas y que me han acompañado durante la carrera. Y a mis amigas de siempre, por ser y estar.

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo el análisis y dimensionamiento de diferentes configuraciones de sistemas híbridos renovables para cubrir las necesidades eléctricas en una isla de pequeño tamaño, con aplicación en el caso real de La Graciosa (Canarias). Todo ello, cumpliendo con los objetivos fijados por la Comisión Europea en materia de implantación de energías renovables.

A lo largo del trabajo se realiza un estudio en detalle de la demanda eléctrica, de los recursos energéticos disponibles, de las diferentes tecnologías a emplear y de la normativa consultada. A partir de ahí se fijan unos criterios y restricciones concretas con el fin de seleccionar y proponer distintas configuraciones renovables. Además de compararlas técnica, económica y medioambientalmente con un sistema compuesto por solo la red eléctrica. Estas simulaciones se han realizado con la ayuda del software HOMER.

Finalmente se detalla la configuración elegida y las conclusiones obtenidas.

Palabras Clave: Sistema renovable híbrido, demanda eléctrica, HOMER.

RESUM

El present Treball Fi de Grau té com a objectiu l'anàlisi i dimensionament de diferents configuracions de sistemes híbrids renovables per a cobrir les necessitats elèctriques en una illa de xicoteta grandària, amb aplicació en el cas real de La Graciosa (Canàries). Tot això, complint amb els objectius fixats per la Comissió Europea en matèria d'implantació d'energies renovables.

Al llarg del treball es realitza un estudi amb detall de la demanda elèctrica, dels recursos energètics disponibles, de les diferents tecnologies a emprar i de la normativa consultada. A partir d'ací, es fixen uns criteris i restriccions concretes amb la fi de seleccionar i proposar distintes configuracions renovables. A més de comparar-les tècnica, econòmica i mediambientalment amb un sistema compost per només la xarxa elèctrica. Estes simulacions s'han realitzat amb l'ajuda del software HOMER.

Finalment es detalla la configuració elegida i les conclusions obtingudes.

Paraules clau: sistema renovable híbrid, demanda elèctrica, HOMER.

ABSTRACT

The current Final Degree Project has presented an analysis and base dimensioning of different configurations of hybrids systems to cover the electricity demand on a small size island, with application to the real case of La Graciosa (Canarias). The study is done according to the objectives regarding renewable sources of energy defined by the European Commission.

The present works compile a study in of the electrical requirements, the available resources, the different technologies to be used, and the normative applicable. Taking those parameters and restrictions into account to define the criteria to simulate and select different renewable configurations. Moreover, a comparison to the current powering in technical, economic, and environmental impact terms is done. Those simulations are performed with the help of the software HOMER.

In conclusion, the most optimal and feasible solution is proposed.

Keywords: hybrid renewable system, electricity demand, HOMER.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Presupuesto

ÍNDICE DE LA MEMORIA

CAPÍTULO 1.	INTRODUCCIÓN	19
1.1	Objetivo del proyecto.....	19
1.2	Motivación y justificación	19
CAPÍTULO 2.	METODOLOGÍA.....	20
CAPÍTULO 3.	MARCO TEÓRICO.....	21
3.1	Demanda eléctrica	21
3.2	Energías renovables	21
3.3	Sistema híbrido.....	21
3.4	Energía solar fotovoltaica.....	22
3.4.1	Radiación solar	23
3.4.2	Paneles fotovoltaicos	23
3.4.3	Baterías.....	24
3.4.4	Regulador de carga.....	25
3.4.5	Inversor	25
3.5	Energía eólica	25
3.5.1	Naturaleza del viento	26
3.5.2	Aerogenerador	26
3.6	Software informático a emplear: HOMER Energy.....	28
CAPÍTULO 4.	DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	29
4.1	La Graciosa	29
4.1.1	Clima y recursos energéticos.....	31
4.2	Situación energética actual de las Islas Canarias y de La Graciosa	32
4.3	Normativa aplicable para la instalación de energías renovables.....	33

CAPÍTULO 5.	DEMANDA ELÉCTRICA	36
5.1	Sectores de demanda de la isla.....	36
5.1.1	Movilidad: Incorporación de una estación de recarga de bicicletas eléctricas ..	37
5.2	Estimación de la demanda eléctrica.....	38
5.2.1	Sector residencial	38
5.2.2	Sector turístico	39
5.2.3	Sector comercial.....	42
5.2.4	Servicios públicos	44
5.2.5	Estación de recarga de bicicletas eléctricas	48
5.3	Curvas de demanda en La Graciosa	49
CAPÍTULO 6.	INTRODUCCIÓN DE DATOS EN HOMER.....	52
6.1	Definición del sistema renovable	53
6.2	Introducción de la demanda eléctrica.....	54
6.3	Recursos energéticos disponibles en La Graciosa.....	55
6.4	Componentes seleccionados y características de la red.....	57
6.5	Otras consideraciones	62
CAPÍTULO 7.	ANÁLISIS	64
7.1	Criterios de selección y restricciones	64
7.2	Definición de conceptos.....	66
7.3	Configuración 1 – caso base: Solo red.....	67
7.4	Configuración 2: Red y fotovoltaica	68
7.5	Configuración 3: Red, fotovoltaica y eólica.....	72
7.6	configuración 4: Red, fotovoltaica, eólica y baterías	75
7.7	Comparación entre alternativas.....	79
7.8	Análisis de sensibilidad.....	81
7.9	Selección de la configuración más prometedora.....	83
CAPÍTULO 8.	CONCLUSIONES	85
CAPÍTULO 9.	BIBLIOGRAFÍA.....	86

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

CAPÍTULO 1.	PRESUPUESTO	93
1.1	Consideraciones y cuadro de precios básicos	93
1.2	Cuadro de precios descompuestos	94
1.3	Presupuesto	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología del trabajo. Fuente: elaboración propia	20
Figura 2. Instalación solar fotovoltaica. Fuente: (Puigcercos, 2017)	22
Figura 3. Radiación solar incidente. Fuente: (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020)	23
Figura 4. Influencia temperatura y radiación. Fuente: (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019).....	24
Figura 5. Profundidad de descarga de las baterías. Fuente: (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020).....	25
Figura 6. Esquema de las principales partes de una turbina eólica. Fuente: (Energy Spain Alicante, 2020)	27
Figura 7. Tipos de aerogeneradores según eje. Fuente: Randall (2013).....	28
Figura 8. Mapa de las Islas Canarias. Fuente: (CataDelVino, 2019)	29
Figura 9. Vista de La Graciosa desde Lanzarote. Fuente: (Sitios de España, 2018).....	30
Figura 10. Vista aérea de La Graciosa. Fuente: (Central de reservas de parques nacionales, 2012)	30
Figura 11. Rosa de los vientos de La Graciosa Fuente: (Meteoblue, 2020)	32
Figura 12. Cobertura de demanda eléctrica en las Islas Canarias en 2019. Fuente: (Red eléctrica de España, 2020)	32
Figura 13. Mapa de Ordenación del territorio de la zona urbana consolidada. Fuente: IDECanarias	35
Figura 14. Clasificación meses según la temporada. Fuente: elaboración propia	37
Figura 15. Metodología empleada en el uso del programa. Fuente: elaboración propia	52
Figura 16. Esquema general de la instalación. Fuente: elaboración propia	53
Figura 17. Esquema de conexión de los equipos a considerar y los recursos empleados Fuente: HOMER	54
Figura 18. Interfaz de la demanda en el software. Fuente: HOMER.....	55
Figura 19. Identificación de los periodos diarios con mayor demanda. Fuente: HOMER.....	55
Figura 20. Radiación solar en La Graciosa. Fuente: HOMER	56
Figura 21. Data Map del recurso solar en La Graciosa. Fuente: HOMER	56

Figura 22. Velocidad del viento media en La Graciosa. Fuente: HOMER.....	57
Figura 23. Aerogenerador Domus de la marca Makemu. Fuente: (Makemu Green energy, 2018)	59
Figura 24. Factores económicos añadidos en HOMER. Fuente: HOMER.....	62
Figura 25. Restricciones añadidas en HOMER. Fuente: HOMER.....	63
Figura 26. Metodología seguida en HOMER para la selección de las configuraciones. Fuente: elaboración propia	64
Figura 27. Interfaz del programa con las configuraciones óptimas según HOMER. Fuente: HOMER.....	65
Figura 28. Análisis de la demanda y el aporte de la red en la configuración 1. Fuente: HOMER	68
Figura 29. Costes por equipos de la alternativa 2. Fuente: HOMER	70
Figura 30. Costes por equipos de la alternativa 3. Fuente: HOMER	73
Figura 31. Costes por equipos de la alternativa 4. Fuente: HOMER	77
Figura 32. Variación de las configuraciones en un año con disminución en la demanda promedio. Fuente: HOMER.....	82
Figura 33. Variación de las configuraciones en un año con aumento en la demanda promedio. Fuente: HOMER.....	83
Figura 34. Variación de las configuraciones en un año con disminución en la velocidad media del viento. Fuente: HOMER.....	83

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Distribución de Weibull de la velocidad del viento. Fuente (Birhuett Garcia, 2015)	26
Gráfica 2. Temperaturas medias, precipitaciones y velocidad del viento en La Graciosa. Fuente: (Meteoblue, 2020)	31
Gráfica 3. Curva de carga para una vivienda. Fuente: elaboración propia	38
Gráfica 4. Curva de carga para el total de viviendas en La Graciosa. Fuente: elaboración propia	39
Gráfica 5. Curva de carga para el hotel de La Graciosa. Fuente: elaboración propia	40
Gráfica 6. Curva de carga para un apartamento. Fuente: elaboración propia	40
Gráfica 7. Curva de carga para el total de apartamentos en La Graciosa. Fuente: elaboración propia	41
Gráfica 8. Curva de carga para un restaurante. Fuente: elaboración propia	41
Gráfica 9. Curva de carga para el total de restaurantes en La Graciosa. Fuente: elaboración propia	42
Gráfica 10. Curva de carga para un pequeño supermercado. Fuente: elaboración propia	43
Gráfica 11. Curva de carga para el total de pequeños supermercados en La Graciosa. Fuente: elaboración propia	43
Gráfica 12. Curva de carga para una pequeña tienda al por menor. Fuente: elaboración propia	44
Gráfica 13. Curva de carga para el total de comercios al por menor en La Graciosa. Fuente: elaboración propia	44
Gráfica 14. Curva de carga para el colegio de La Graciosa. Fuente: elaboración propia	45
Gráfica 15. Curva de carga para el polideportivo de La Graciosa. Fuente: elaboración propia	45
Gráfica 16. Curva de carga para el centro de salud de La Graciosa. Fuente: elaboración propia	46
Gráfica 17. Curva de carga para el museo de La Graciosa. Fuente: elaboración propia	46
Gráfica 18. Curva de carga para una oficina. Fuente: elaboración propia	47
Gráfica 19. Curva de carga para el total de oficinas en La Graciosa. Fuente: elaboración propia	47
Gráfica 20. Curva de carga para el alumbrado público en La Graciosa. Fuente: elaboración propia	48

Gráfica 21. Curva de carga para la estación de recarga de bicicletas eléctricas Fuente: elaboración propia	49
Gráfica 22. Curva de carga de La Graciosa. Fuente: elaboración propia	49
Gráfica 23. Curva de carga en un día laboral en temporada alta por tipo de usuario. Fuente: elaboración propia	50
Gráfica 24. Porcentaje que representa cada sector en la demanda anual. Fuente: elaboración propia	51
Gráfica 25. Distribución de Weibull de la velocidad del viento. Fuente: HOMER	57
Gráfica 26. Producción eléctrica mensual de la configuración 1. Fuente: HOMER	67
Gráfica 27. Contribución mensual de cada fuente en la configuración 2. Fuente: HOMER	69
Gráfica 28. Análisis de la producción, demanda y exceso eléctrico de la configuración 2. Fuente: HOMER	70
Gráfica 29. Comportamiento eléctrico de la configuración 2 en junio. Fuente: HOMER	71
Gráfica 30. Comportamiento eléctrico de la configuración 2 en noviembre. Fuente: HOMER..	71
Gráfica 31. Contribución mensual de cada fuente en la configuración 3. Fuente: HOMER	72
Gráfica 32. Análisis de la producción, demanda y exceso eléctrico de la configuración 3. Fuente: HOMER	74
Gráfica 33. Comportamiento eléctrico de la configuración 3 en junio. Fuente: HOMER	74
Gráfica 34. Comportamiento eléctrico de la configuración 3 en noviembre. Fuente: HOMER..	75
Gráfica 35. Contribución mensual de cada fuente en la configuración 4. Fuente: HOMER	76
Gráfica 36. Estado de carga de las baterías. Fuente: HOMER.....	77
Gráfica 37. Análisis de la producción, y exceso eléctrico de la configuración 4. Fuente: HOMER	78
Gráfica 38. Comportamiento eléctrico de la configuración 4 en junio. Fuente: HOMER	78
Gráfica 39. Comportamiento eléctrico de la configuración 4 en noviembre. Fuente: HOMER..	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla resumen de la normativa. Fuente: elaboración propia	34
Tabla 2. Viviendas en instalaciones en La Graciosa. Fuente: elaboración propia.....	37
Tabla 3. Tabla de costes de la instalación fotovoltaica introducidos en HOMER. Fuente: elaboración propia	58
Tabla 4. Tabla de costes del aerogenerador introducidos en HOMER. Fuente: elaboración propia	60
Tabla 5. Tabla de costes de la batería introducidos en HOMER. Fuente: elaboración propia...	60
Tabla 6. Tabla de costes del inversor introducidos en HOMER. Fuente: elaboración propia.....	61
Tabla 7. Tabla de precios de la tarifa introducida en HOMER. Fuente: elaboración propia.....	61
Tabla 8. Análisis tecno - económico de la configuración 1. Fuente: elaboración propia.....	67
Tabla 9. Tabla de parámetros técnicos, ambientales y económicos de la Configuración 2. Fuente: elaboración propia	69
Tabla 10. Tabla de parámetros técnicos, ambientales y económicos de la Configuración 3. Fuente: elaboración propia	72
Tabla 11. Tabla de parámetros técnicos, ambientales y económicos de la Configuración 4. Fuente: elaboración propia	76
Tabla 12. Tabla resumen de los componentes de cada configuración. Fuente: elaboración propia	80
Tabla 13. Tabla resumen de los parámetros técnicos, medioambientales y económicos. Fuente: elaboración propia	81

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Declinación terrestre. Fuente: (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020)	23
Ecuación 2. Fórmula de Betz. Fuente: (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019)	27
Ecuación 3. Cálculo de la potencia a instalar estación recarga de bicicletas eléctricas	48
Ecuación 4. Cálculo de la tasa de descuento real. Fuente: HOMER.....	62

MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo principal del presente Trabajo Fin de Grado es el dimensionamiento de un sistema híbrido renovable que garantice y cubra la demanda eléctrica de manera sostenible en la isla La Graciosa, la menor de las ocho Islas Canarias con 737 vecinos censados.

Todo ello garantizando el suministro de energía, y maximizando el porcentaje de energías renovables para que se disminuya la dependencia energética exterior y consumir lo mínimo de la red eléctrica a la que se encuentra conectada la isla.

Además, se fija como objetivo que el porcentaje de penetración de renovables sea mínimo de un 32 % para así cumplir los objetivos de la Comisión Europea.

1.2 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La justificación académica del presente trabajo es la necesidad de la realización de un Trabajo de Fin de Grado (TFG) para obtener el título de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Este trabajo se ha apoyado en gran medida en los conocimientos adquiridos en la asignatura *Introducción a las Energías Renovables*, ofrecida como asignatura optativa en el grado.

Dejando a un lado la justificación procedente del ámbito académico, el trabajo presente se encuentra motivado por aspectos medioambientales y tecnológicos. En la actualidad, se está impulsado un desarrollo sostenible para afrontar la lucha por el cambio climático. De esta manera, las energías renovables juegan un papel fundamental en la reducción de emisiones contaminantes y garantizan un futuro prometedor.

La Comisión Europea ha fijado una serie de objetivos clave en materia de clima y energía para el año 2030 impulsando la penetración de energías renovables y fijando criterios como garantizar una cuota mínima del 32 % de las energías renovables en el consumo final de energía. De esta manera las empresas están apostando por las energías renovables y la modalidad del autoconsumo empieza a tener un gran peso.

La motivación de estudiar la configuración de un sistema híbrido renovable en La Graciosa reside principalmente en la penetración de las renovables en las Isla Canarias. En 2019 la energía generada por fuentes renovables en Canarias suponía un 16,3% a diferencia del sistema peninsular que cuenta con una penetración del 39%.

Otro dato importante, es el sobrecoste que supone el sistema eléctrico canario para el sistema eléctrico español, ya que al ser un sistema reducido y depender en gran parte de combustibles fósiles producir luz es más caro. Con la implantación de sistemas renovables este coste se vería reducido.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

Con motivo de una mejor comprensión del trabajo en la Figura 1 se expone, mediante un organigrama, la metodología que ha sido llevada a cabo para el desarrollo del trabajo.

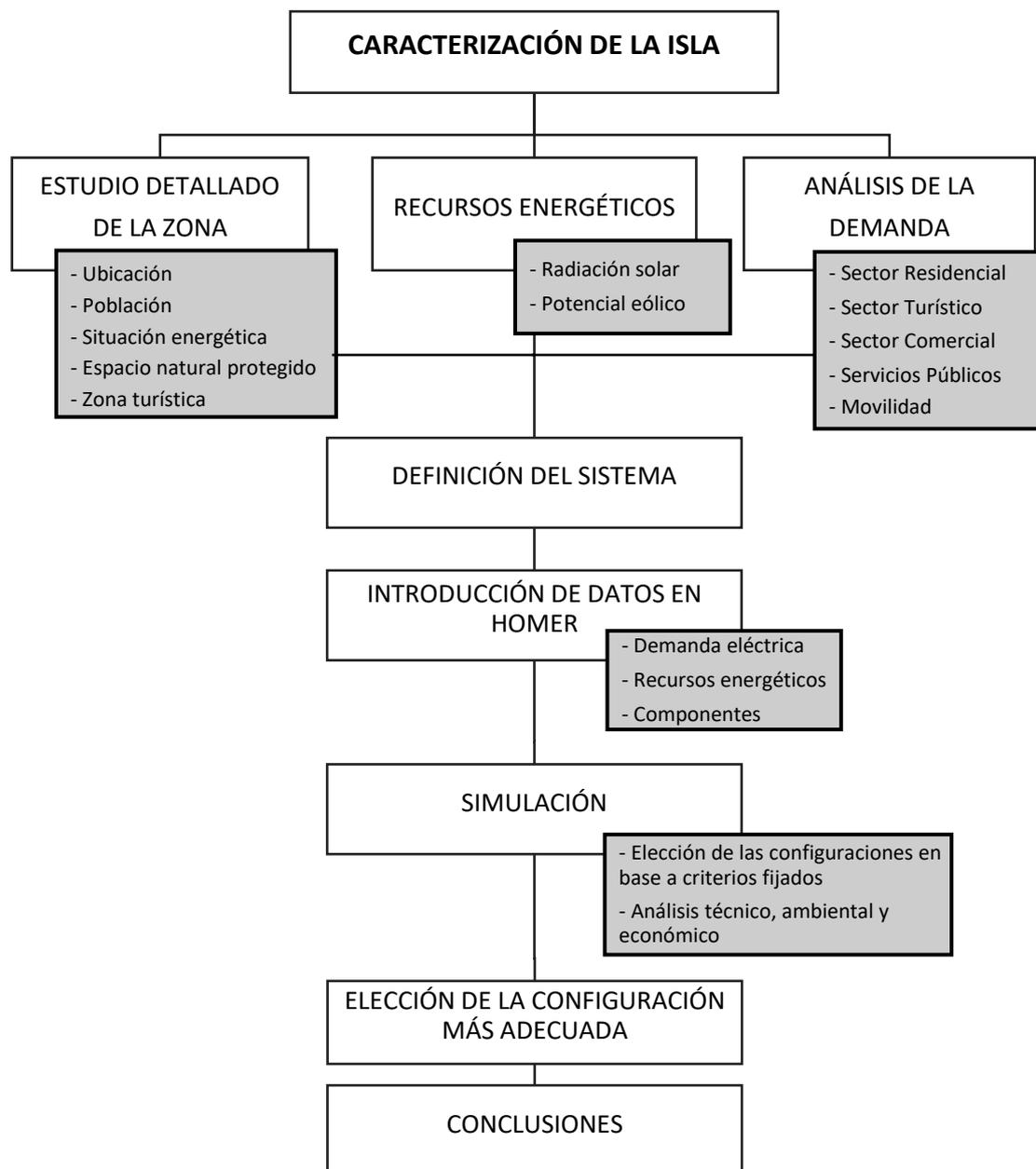


Figura 1. Metodología del trabajo. Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se exponen los fundamentos teóricos y los conceptos más significativos con el fin de facilitar la comprensión sobre el presente TFG.

3.1 DEMANDA ELÉCTRICA

La demanda eléctrica mide la potencia eléctrica relativa a un determinado intervalo de tiempo, es decir, nos indica las necesidades energéticas de la población. Conviene especificar que no es constante, depende de la actividad que realizamos (residencial, industrial o comercial). Análogamente, depende de la época del año, del calendario laboral y del coste de la energía. Las horas de mayor consumo se producen en el mediodía y en las horas de la cena, siendo en la madrugada las horas de menor consumo.

La gestión de la demanda se encarga de optimizar los activos de generación, transporte y distribución, de esta manera se contribuye a la eficiencia y sostenibilidad del sistema eléctrico. Mediante las energías renovables se puede satisfacer la demanda eléctrica de manera sostenible (Martínez García, Trebolle, Navarro, Galán, & Lin, 2013).

3.2 ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas fuentes de energías que se basan en la utilización de recursos naturales y que son capaces de generarse de forma continuada y de no emitir gases contaminantes. Existen diferentes tipos de energías renovables para producir electricidad:

- Energía solar fotovoltaica, produce electricidad a partir de la radiación solar.
- Energía eólica, aprovecha la energía del viento.
- Energía hidráulica, aprovecha las corrientes y saltos de agua.
- Energía geotérmica, utiliza el calor interno de la Tierra.
- Biomasa, emplea la materia orgánica.
- Energía mareomotriz, utiliza la energía de los mares y océanos.
- Energía undimotriz, aprovecha las olas del mar.

Las fuentes de energía que han sido empleadas para realizar el estudio son la solar fotovoltaica y la eólica por ser las que se explotarían con mayor facilidad en la zona de estudio. La energía hidráulica no puede ser aprovechada ya que no existe ningún río o embalse en la zona de estudio. Del mismo modo la biomasa se descarta ya que los recursos de biomasa en Canarias son muy limitados. La energía geotérmica, mareomotriz y undimotriz también se desechan del estudio por ser tecnologías más costosas.

3.3 SISTEMA HÍBRIDO

Los sistemas híbridos combinan la producción de energías renovables con otros sistemas de producción de energía. Los recursos naturales solo son posibles utilizarlos en momentos concretos de tiempo, por ejemplo, el recurso solar solo se encuentra disponible en las horas de

sol, y el recurso eólico cuando hay viento. Estos se pueden combinar con grupos electrógenos, como generadores diésel, aunque presentan un elevado índice de emisiones contaminantes o, si es posible, conectar el sistema a la red eléctrica y así garantizar el suministro eléctrico en todo momento. También, pueden contar con sistemas de almacenamiento como las baterías, para absorber los excedentes de energía y guardarlos en caso de que se requieran. Este tipo de sistemas son la solución para suministrar energía en zonas aisladas y favorecer el acceso a la electricidad en países en vías de desarrollo, ya que los costes para acceder a la red son muy elevados debido a la inversión inicial (Bastida Molina, Hurtado Pérez, Vargas Salgado, & Ribó Pérez, 2020).

3.4 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica obtiene energía eléctrica a través de los paneles fotovoltaicos, los cuales captan la radiación procedente del Sol basándose en el efecto fotoeléctrico. Este efecto consiste en la emisión de electrones que se producen cuando la luz incide sobre ciertas superficies. De este modo, la radiación solar se convierte en corriente eléctrica continua. En la Figura 2 podemos ver los componentes de una instalación fotovoltaica, estos son: el módulo fotovoltaico, la batería, el regulador, el inversor, y otros elementos auxiliares necesarios para mantener las condiciones de seguridad y rendimiento de la instalación, más adelante se expone una explicación de cada uno. Este tipo de sistemas se suele emplear en sistemas aislados o de autoconsumo. Además, contempla baterías, pero estas no siempre son necesarias ya que si disponemos de un generador o tenemos conexión a la red estas pueden ser no necesarias. Este será el sistema a seguir, ya que como se comenta más adelante no se contempla la instalación de campos fotovoltaicos.



Figura 2. Instalación solar fotovoltaica. Fuente: (Puigcercos, 2017)

3.4.1 Radiación solar

La radiación solar es la energía radiante que emite el Sol. En el Sol se producen diversas reacciones nucleares de fusión que liberan abundante energía en todas las direcciones. Parte de esta energía llega a la superficie terrestre. Esta energía no es la misma a largo del año ya que depende de la distancia que hay entre la Tierra y el Sol. Además, el eje de rotación de la Tierra se encuentra inclinado respecto al Sol $23,5^\circ$ y por tanto se originan las estaciones al cambiar la cantidad de energía recibida a lo largo del año (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020); (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019).

La declinación permite calcular el ángulo que forma la línea que une los centros de la Tierra y el Sol con el plano del ecuador terrestre. Mediante la Ecuación 1 podemos obtener la declinación para cualquier día del año. Siendo n el número del día del año, y por ello la mayor declinación se sitúa a finales de junio.

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (n + 284) \right] \quad (1)$$

Ecuación 1. Declinación terrestre. Fuente: (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020)

Los principales fenómenos sobre la radiación solar debido a la atmósfera son la absorción y la dispersión de la radiación solar. Como muestra la Figura 3, la radiación incidente se divide en radiación directa, difusa y reflejada o de albedo. La directa es la que procede directamente del Sol sin desvíos, asimismo esta produce sombras. La difusa tiene su dirección modificada por los procesos de dispersión producidos por los diferentes componentes de la atmósfera. Por último, la radiación reflejada es la radiación directa y difusa que incide sobre la superficie de captación al incidir sobre otras superficies y reflejarse sobre la captación.

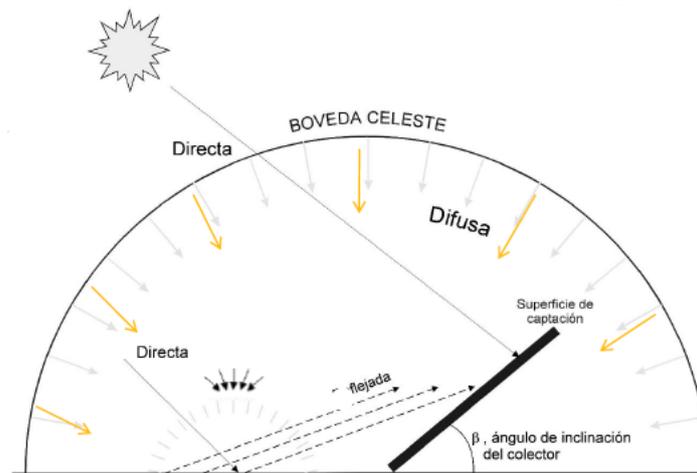


Figura 3. Radiación solar incidente. Fuente: (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020)

3.4.2 Paneles fotovoltaicos

Las células fotovoltaicas están compuestas por dos capas de material semiconductor, denominadas capas P y N. La capa P presenta defecto de electrones y está formada por silicio dopado con boro, y la capa N por silicio dopado con fósforo y tiene un exceso de electrones. Al incidir los fotones del sol sobre la capa N se liberan electrones de los átomos de silicio, estos

atravesan la capa de semiconductor y no pueden volver. La capa N adquiere una diferencia de potencial respecto a P. El campo eléctrico establecido por la creación de la unión P-N permite el flujo de corriente en un solo sentido (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020); (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019).

Las células fotovoltaicas como elementos individuales presentan pocas aplicaciones ya que los niveles de tensión aportados por célula son muy bajos. De esta manera, lo que se hace es asociar en serie varias células, normalmente 36 o 72 células, así se obtienen adecuados valores de tensión para los diferentes usos y aplicaciones.

La célula fotovoltaica se ve caracterizada por su intensidad y voltaje en las condiciones de trabajo. En la Figura 4 podemos ver cómo varían la intensidad y la tensión en los paneles fotovoltaicos. Por un lado, la tensión del panel varía en función de la temperatura, por otro lado, la corriente suministrada es proporcional a la radiación solar. Así, cuanto mayor es la temperatura, la eficiencia disminuye, y a mayor radiación la potencia generada será mayor.

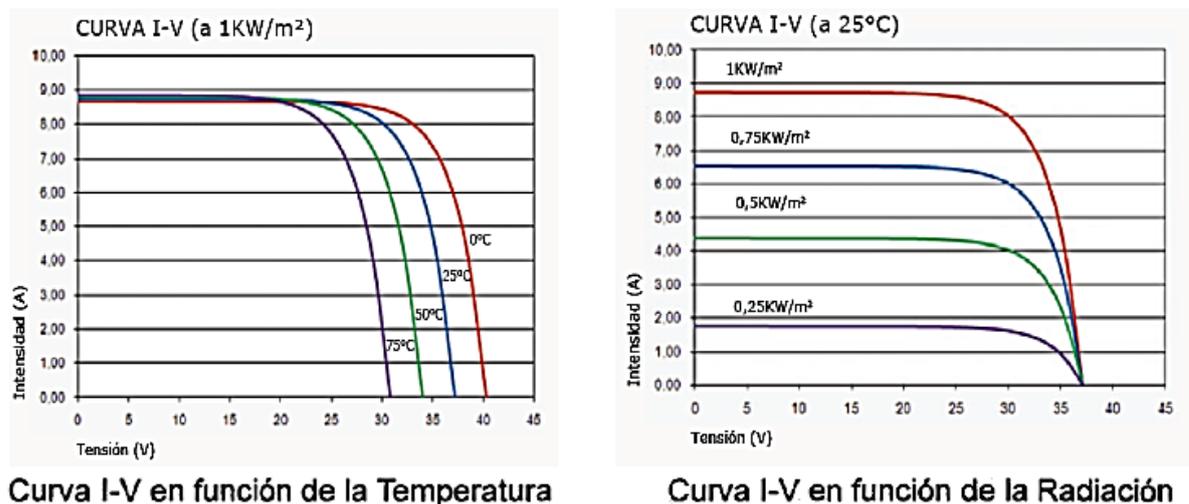


Figura 4. Influencia temperatura y radiación. Fuente: (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019)

Según la tecnología de la célula los módulos se clasifican en monocristalinos, policristalinos y amorfos, siendo el silicio policristalino el más empleado y el que se ha empleado en este sistema a dimensionar. También se clasifican según el número de células asociadas y la potencia eléctrica que pueden generar por módulo.

3.4.3 Baterías

Las baterías se emplean para almacenar la energía producida en exceso y así poder abastecer la demanda cuando los recursos naturales no estén presentes (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020); (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019). Aunque estas no se emplean en todos los casos, por ejemplo, las centrales fotovoltaicas no hacen uso de ellas porque inyectan la energía producida a la red. Estas se suelen emplear en zonas aisladas donde no existe conexión o para instalaciones de autoconsumo.

Actualmente las baterías más empleadas son las de plomo ácido debido a su bajo coste y a su versatilidad al poder cargarse a diferentes intensidades. Otros tipos de baterías son las de níquel-cadmio, níquel-hierro, plata-cadmio y de litio.

A la hora de elegir una batería se deben de tener en cuenta aspectos como la capacidad, la potencia, la profundidad de descarga, la eficiencia, la vida útil y el volumen. Al mismo tiempo, como vemos en la Figura 5, debemos de tener presente que la capacidad de la batería pierde su eficacia conforme aumenta el número de ciclos y cuanto mayor sea la descarga.

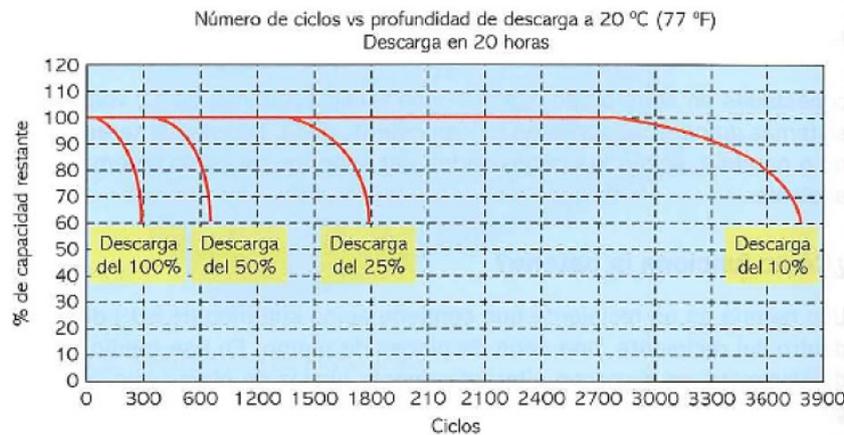


Figura 5. Profundidad de descarga de las baterías. Fuente: (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020)

3.4.4 Regulador de carga

El regulador de carga es un dispositivo electrónico encargado de proteger a las baterías y evitar que estas se deterioren. La manera en la que actúa es la siguiente, cuando las baterías se encuentran totalmente cargadas interrumpe la conexión con los paneles, asimismo, cuando las descargas de las baterías son excesivas corta la conexión con la red de consumo. Además, algunos tipos de reguladores permiten obtener la máxima potencia adaptando el punto de trabajo de las células (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020); (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019).

3.4.5 Inversor

El inversor se encarga de transformar la corriente continua, producida por los generadores fotovoltaicos, en corriente alterna, ya que la mayoría de edificios funcionan con este tipo de corriente. Otra de sus funciones consiste en garantizar que las células fotovoltaicas trabajan en el punto de máxima potencia, fijando la corriente adecuada en cada momento (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020); (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019).

3.5 ENERGÍA EÓLICA

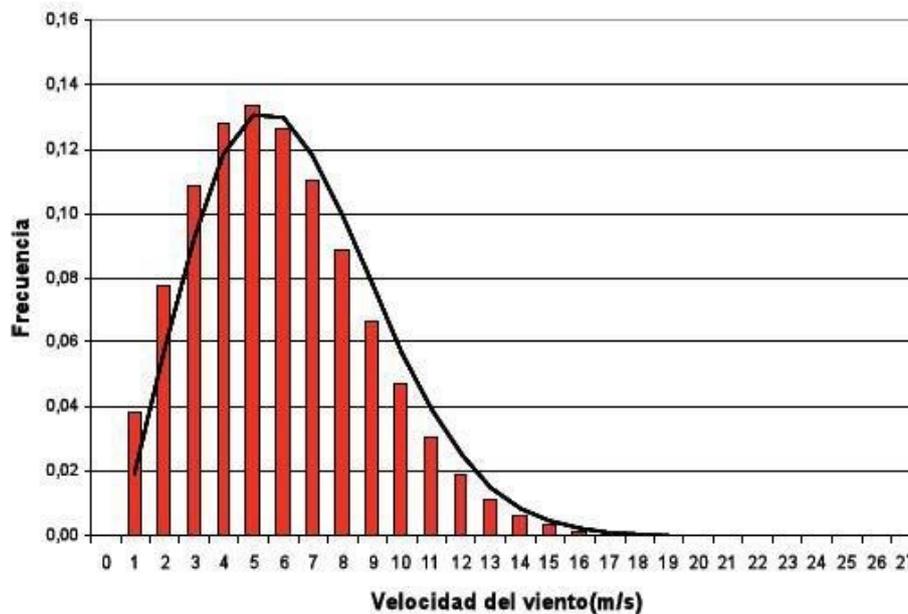
La energía eólica aprovecha la energía cinética del viento para convertirla en energía eléctrica por medio de los aerogeneradores. Los aerogeneradores de grandes dimensiones se agrupan en parques eólicos para así suministrar a la red eléctrica la energía. Por otro lado, en las instalaciones aisladas de autoconsumo se emplean un pequeño número de aerogeneradores de pequeño tamaño (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020); (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019).

3.5.1 Naturaleza del viento

El viento se origina gracias al continuo cambio de presión atmosférica debido a las diferencias de temperatura en el aire. El aire se mueve desde las zonas altas presiones hacia las de baja presión. Aspectos como la dirección, la velocidad, la variación con la altura y la turbulencia son los que caracterizan este recurso natural (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020); (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019).

Para conocer la distribución de velocidades del viento y con qué frecuencia varía la dirección del viento se emplea la rosa de los vientos, por lo tanto, mediante este diagrama podemos conocer cuál será la mejor orientación para los aerogeneradores.

Además, se establecen modelos de frecuencia de la distribución de las velocidades del viento como se muestra en la Gráfica 1, donde la curva de color negro representa la curva de distribución Weibull y el gráfico de barras reproduce la distribución de velocidades. Si conocemos la probabilidad de que se produzcan ciertas velocidades podremos saber si este recurso se puede aprovechar energéticamente en una determinada zona, siendo el máximo la velocidad que asegurara que existe con certeza. Este modelo se puede describir a través de una función matemática caracterizada por los parámetros factor de forma, caracteriza la asimetría de la distribución y es adimensional, y el factor de escala, está relacionado con la velocidad del viento media y se expresa en m/s.



Gráfica 1. Distribución de Weibull de la velocidad del viento. Fuente (Birhuett Garcia, 2015)

3.5.2 Aerogenerador

La potencia que pueden producir los aerogeneradores se calcula mediante la Ecuación 2, donde ρ es la densidad del aire, A es la superficie de captación, v es la velocidad del viento y C_p es el coeficiente de potencia que relaciona la potencia incidente con la extraíble. Cuanto mayor sea la altura y cuantos menos obstáculos haya en la zona, la potencia producida será mayor (Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV), 2020); (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019).

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \quad (2)$$

Ecuación 2. Fórmula de Betz. Fuente: (Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV), 2019)

Los aerogeneradores disponen de una veleta en su parte superior que indica la dirección del viento y de un anemómetro para medir la velocidad, así se consigue la orientación más adecuada en cada momento. El viento hace girar las palas, diseñadas para captar la máxima energía al estar fabricadas con materiales ligeros y resistentes, estas empiezan a funcionar cuando se alcanzan velocidades de 11 km/h hasta llegar a los 90km/h. Las palas se unen al aerogenerador a través del buje, que a su vez está acoplado al eje lento (gira a la misma velocidad de las palas). Para aumentar la velocidad se conecta con el multiplicador, este aumenta en 100 veces la velocidad y la transfiere al eje rápido. Este eje está unido a un generador el cual transforma la energía mecánica del eje de alta velocidad en electricidad en forma de corriente continua por ello pasa por un convertidor para transformarla en corriente alterna y al transformador para poder elevar la tensión y así disminuir las pérdidas a la hora de ser transportada. En la Figura 6 podemos ver un esquema de las diferentes partes (Arias Ávila & Tricio Gómez, 2013).

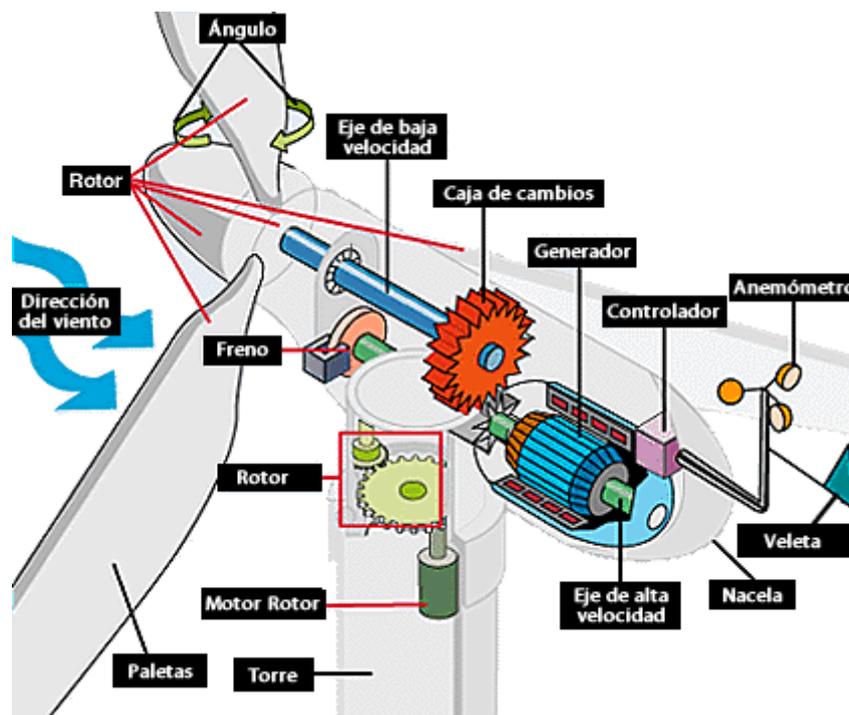


Figura 6. Esquema de las principales partes de una turbina eólica. Fuente: (Energy Spain Alicante, 2020)

En cuanto a la clasificación de los aerogeneradores nos encontramos con una gran variedad de tipos. Estos se agrupan en aerogeneradores de eje vertical, tienen un menor rendimiento, pero son capaces de captar el viento desde cualquier dirección. Y en eje horizontal, son más eficientes y por ello son los más empleados. En la Figura 7 se pueden ver los tipos.

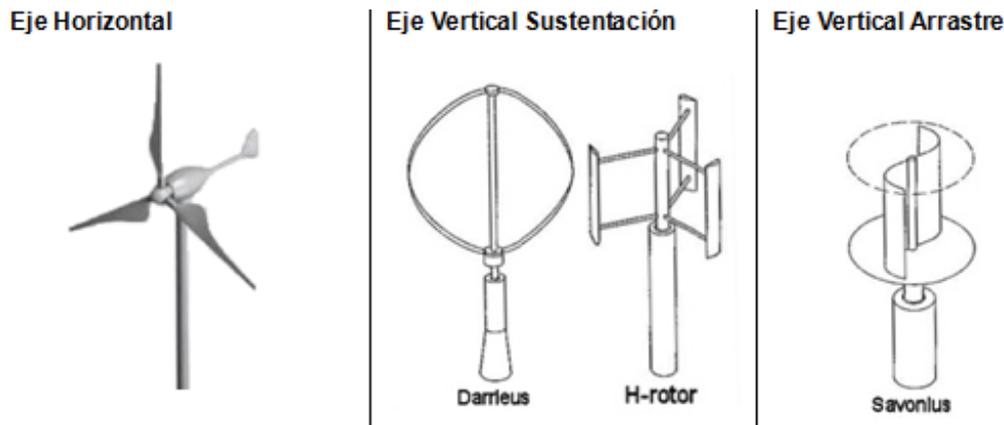


Figura 7. Tipos de aerogeneradores según eje. Fuente: Randall (2013)

3.6 SOFTWARE INFORMÁTICO A EMPLEAR: HOMER ENERGY

Para analizar las diferentes configuraciones a desempeñar en el diseño del sistema híbrido se empleará el software informático HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources), desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovables de Estados Unidos. Esta herramienta desarrolla simulaciones de sistemas de generación distribuida y microrredes. Elabora un análisis de sensibilidad combinando el uso de energías renovables con sistemas generados, teniendo en cuenta diversos factores técnicos, ambientales y económicos y considerando diferentes escenarios y cambios en los parámetros de operaciones. De esta manera se puede ver cómo afectan las diferentes variables y cómo cambia el sistema óptimo (HOMER Energy, 2020).

CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

4.1 LA GRACIOSA

La Graciosa es una pequeña isla volcánica perteneciente a la provincia de Las Palmas (Canarias, España). Está situada al noroeste de las Islas Canarias, concretamente al norte de Lanzarote, de la que está separa por un canal de 1 km de ancho. En la Figura 8 se muestra su localización y en la Figura 9 vista desde Lanzarote. Fue declarada la octava isla de Canarias el 26 de junio de 2018, hasta entonces era considerada como islote. No obstante, política y administrativamente pertenece al municipio de Tegüise (Lanzarote).



Figura 8. Mapa de las Islas Canarias. Fuente: (CataDelVino, 2019)

La isla pertenece al Parque Natural del Archipiélago Chinijo, que incluye, junto con La Graciosa otros dos islotes, La Alegranza y Montaña Clara, y dos Roques, el Roque del Oeste, y El Roque del Este. Por lo que todo el territorio se encuentra protegido, a excepción de los dos núcleos poblados. Cabe destacar la reserva marina que cuenta con más de 70.000 hectáreas donde viven numerosas especies de peces y algas albergando una gran y variada biodiversidad marina, siendo la mayor reserva marina de Europa. Fue creada con el fin de poder garantizar la explotación sostenible de los recursos pesqueros. Debido a la gran cantidad de estas especies las aves marinas abundan en esta zona y por ello constituye una zona especial de Protección para las Aves.



Figura 9. Vista de La Graciosa desde Lanzarote. Fuente: (Sitios de España, 2018)

La Graciosa tiene una superficie de 29,05 km² y cuenta con dos pueblos: Caleta del Sebo (la capital) y Pedro Barba (al noreste de la isla), en la Figura 10 aparece dónde se sitúan estas dos localidades. La graciosa cuenta con 737 vecinos censados (datos de 2019), siendo Caleta el Sebo la más poblada con 733 habitantes (ISTAC, 2020). Muchos de estos vecinos no viven de forma permanente en la isla, si no que tienen su segunda allí y acuden los meses de temporada alta. De esta manera, en la isla viven de forma permanente unas 400 personas.

Los gracioseros se dedican principalmente al turismo y a la pesca, esta se permite a los pescadores profesionales autorizados para preservar la reserva marina. La economía insular también se basa, en menor medida, en la agricultura plantando algunos alimentos. El Puerto de Caleta del Sebo comunica la isla con el Puerto de Órzona (Lanzarote), de allí provienen la mayoría de suministros necesarios. Cuenta con un total de 6 playas de arena blanca y aguas cristalinas. Además, un aspecto que destaca en la isla es que no tiene ni un metro cuadrado de asfalto siendo un gran reclamo turístico (iLaGraciosa, 2020); (Visit La Graciosa, 2019); (Web Oficial de Turismo Lanzarote, 2020).

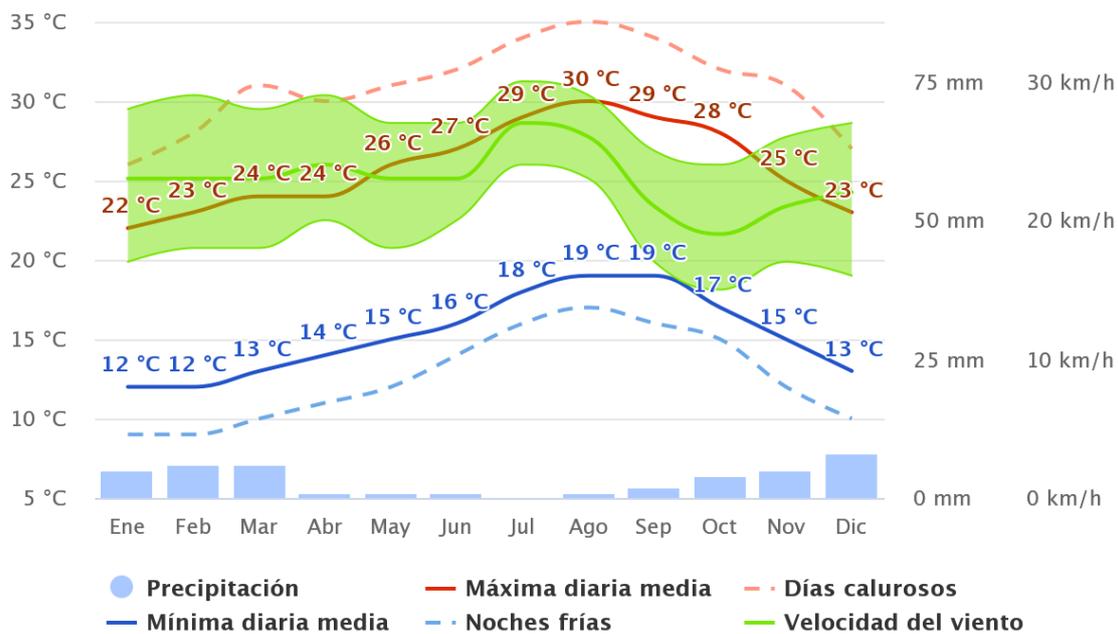


Figura 10. Vista aérea de La Graciosa. Fuente: (Central de reservas de parques nacionales, 2012)

4.1.1 Clima y recursos energéticos

Las Islas Canarias poseen un clima cálido. En La Graciosa, los inviernos son suaves y cálidos, con temperaturas diurnas que no suelen bajar de los 16 °C, excepto en invierno que puede llegar a los 12°C. Y los veranos son calientes y soleados, siendo la temperatura media de todo el año de 22°C.

Las precipitaciones son escasas, principalmente ocurren en invierno. El viento sopla durante todo el año, esto hace que el uso de aerogeneradores sea una opción viable. La Graciosa cuenta de media con 338 días soleados y tan solo 27 día nublados, por lo que la energía solar fotovoltaica tampoco tendría problemas (Visit La Graciosa, 2019). La energía hidráulica no puede ser aprovechada ya que no existe ningún río o embalse. Del mismo modo la biomasa se descarta ya que estos son muy limitados en Canarias. La energía geotérmica, mareomotriz y undimotriz también se desechan del estudio por ser tecnologías más costosas. En definitiva, las fuentes de energía que resultaría más convenientes para aprovechar en La Graciosa son la solar fotovoltaica y la eólica. En la Gráfica 2 aparecen para los diferentes meses del año las temperaturas medias, las precipitaciones, y las velocidades medias del viento, las cuales deben de introducirse en HOMER como datos para analizar el uso de aerogeneradores. Más adelante en el apartado 6.3 se muestran con más detalle los recursos solar y eólico de la isla.



Gráfica 2. Temperaturas medias, precipitaciones y velocidad del viento en La Graciosa. Fuente: (Meteoblue, 2020)

Por otro lado, en la Figura 11 aparece la Rosa de los vientos de La Graciosa, la cual muestra la frecuencia y dirección del viento. La mayor parte del tiempo el viento sopla en la dirección Norte.

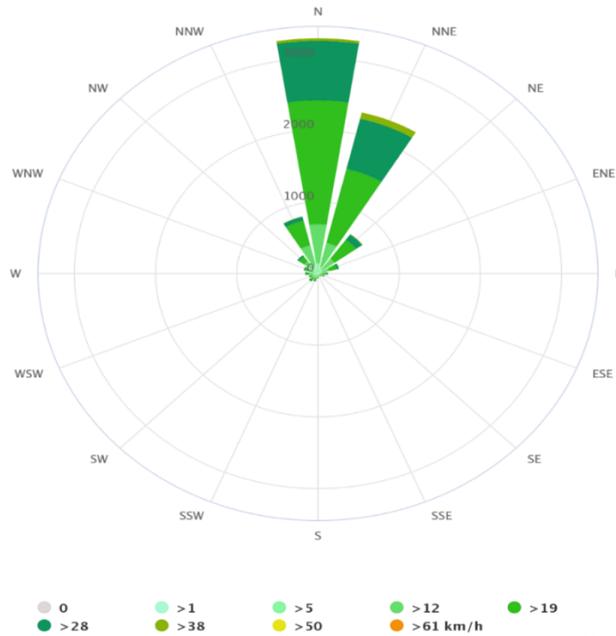


Figura 11. Rosa de los vientos de La Graciosa Fuente: (Meteoblue, 2020)

4.2 SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL DE LAS ISLAS CANARIAS Y DE LA GRACIOSA

En la actualidad, las islas Canarias que se encuentran eléctricamente conectada mediante un cable submarino son Fuerteventura y Lanzarote. Las energías renovables tienen poca relevancia en las Islas Canarias, en la Figura 12 se puede ver que en 2019 la energía renovable en Canarias suponía un 16,3% de la energía consumida. Conviene especificar que este valor se encuentra por debajo del 39% de cuota de renovables sobre la producción total en el sistema peninsular a pesar de que el recurso eólico y la radiación solar en las Islas Canarias se encuentran por encima de la media de la península ibérica.

Cobertura de la demanda eléctrica. Islas Canarias. Año 2019

%

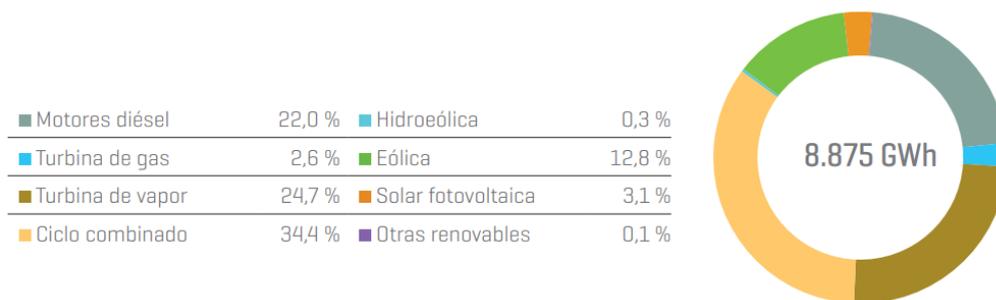


Figura 12. Cobertura de demanda eléctrica en las Islas Canarias en 2019. Fuente: (Red eléctrica de España, 2020)

Actualmente, el sistema eléctrico canario supone un sobrecoste para el sistema eléctrico español ya que al ser un sistema reducido y depender en gran parte de combustibles fósiles producir luz es más caro. Hoy en día se está llevando a cabo la construcción o se encuentran programados nuevos cables submarinos para así garantizar la interconexión entre islas y se está facilitando la integración de energías renovables, lo que haría reducir el precio de la producción eléctrica. Además, se está mejorando la estabilidad de los sistemas y la mejora en la calidad de las infraestructuras existentes (Red eléctrica de España, 2020).

En cuanto a situación de suministro eléctrico de La Graciosa, esta se encuentra conectada a Lanzarote mediante un cable submarino con una capacidad de 1030 kW desde 1985. En 2015 se inició el proyecto G.R.A.C.I.O.S.A., llevado a cabo por Endesa y el Instituto Tecnológico de Canarias, para el desarrollo de una microrred centrada en la instalación de paneles fotovoltaicos con baterías y ultracondensadores para así generar, distribuir y gestionar su propia energía. Al igual que las baterías, los ultracondensadores son dispositivos de almacenamiento de energía, pero estos presentan mayores ventajas por su rapidez en la carga, ocupar un menor espacio y tener una vida útil mayor. Además, de solucionar diversos retos como evitar que se produzcan caídas de tensión, un problema frecuente en sistemas aislados, y garantizar el suministro eléctrico en todo momento. De momento, este proyecto piloto que está todavía en desarrollo, sirve para experimentar nuevas soluciones que se podrán aplicar en el futuro a otras zonas aisladas y así emprender un futuro energético más sostenible (Endesa, 2017); (La Voz de Galicia, 2020).

4.3 NORMATIVA APLICABLE PARA LA INSTALACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

La isla, en su totalidad, es un espacio natural protegido, zona de especial protección para las aves (ZEPA) y pertenece a la Red Natura 2000. Así lo regula el Ministerio para la transición ecológica y la Unión Europea (Ministerio para la transición ecológica, 2019).

Es importante tener en cuenta estas consideraciones ya que limita la instalación de energías renovables, principalmente la implantación de aerogeneradores que pueden suponer un peligro para las aves. El estudio de la norma relacionado con este aspecto es un paso previo para analizar la viabilidad del proyecto y así poder analizar las posibles opciones que contempla la ley y las limitaciones. Para ello, se han analizado las normas y leyes correspondientes a Canarias, Teguiise (ya que la isla depende administrativamente de este) y del Parque Natural al que pertenece. En la siguiente tabla aparecen los puntos clave:

Tabla 1. Tabla resumen de la normativa. Fuente: elaboración propia

Ley 4/2017 del Suelo y de los Espacios Naturales Protegidos de Canarias (BOE, 2017).	
Anexo. Evaluación ambiental de proyectos	A. Proyectos sometidos a evaluación ambiental ordinaria. - <i>"Proyectos que afecten a la Red Natura 2000 si así lo estima el órgano ambiental. - Instalaciones eólicas con 50 o más aerogeneradores, o que se encuentren a menos de 2 kilómetros de otro parque eólico."</i> B. Proyectos sometidos a evaluación ambiental simplificada - <i>"Resto de instalaciones eólicas cuando excedan de 100 kW de potencia total. - Instalaciones fotovoltaicas no instaladas sobre cubiertas o tejados de edificios o en suelos urbanos y que ocupen una superficie mayor de 10 hectáreas."</i>
CAPÍTULO II. Artículo 72. Instalaciones de energías renovables.	<i>"Se podrá autorizar, la <u>instalación de plantas de generación de energía fotovoltaica, eólica o cualquier otra proveniente de fuentes endógenas renovables, siempre que no exista prohibición expresa en el plan insular de ordenación o en el planeamiento de los espacios naturales protegidos que resulten aplicables. En todo caso, estas instalaciones son admisibles cuando se localicen en la cubierta de otras construcciones y edificaciones, incluidos invernaderos.</u>"</i>
Plan General de Ordenación del municipio de Teguise . Ordenación estructural (Ayuntamiento de Teguise, 2014).	
Sección 2ª. Artículo 64.3 <u>Suelo rústico</u> de protección ambiental.	<i>"Queda expresamente <u>prohibido</u> [...] las instalaciones de energías <u>fotovoltaicas y eólica</u>, salvo cuando éstas estén vinculadas a instalaciones y edificaciones existentes, siempre que éstos no dispongan de conexión a la red general de distribución, y no estén expresamente prohibidos por el planeamiento insular."</i>
Artículo 70. Régimen genérico del <u>suelo rústico de protección paisajística</u> .	<i>"Quedan expresamente <u>prohibidos</u>, con carácter general [...] las instalaciones de energía fotovoltaica y eólica, salvo cuando éstas estén vinculadas a instalaciones y edificaciones existentes o autorizables."</i>
Plan Rector de Uso y Gestión. Parque Natural del Archipiélago Chinijo . Memoria Informativa (Gobierno de Canarias, 2006).	
Artículo 3.1.2.9.	<i>"Queda sometida <u>al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A.) cualquier obra o instalación que se localice por encima de la cota 100 m. sobre el nivel del mar.</u>"</i>
Plan Rector de Uso y Gestión. Parque Natural del Archipiélago Chinijo . Documento Normativo (Gobierno de Canarias, 2006).	
Artículo 44. Uso y <u>actividades prohibidas</u>	<i>"El establecimiento de <u>parques eólicos y fotovoltaicos.</u>"</i>
Artículo 132. Programa de <u>Investigación</u>	<i>"Estudios sobre la <u>posibilidad y oportunidad de desarrollo de las energías renovables en el Parque.</u>"</i>

En conclusión, no se pueden instalar parque eólicos ni aerogeneradores en suelo rústico de protección natural (SRNP). La solución posible es instalarlos en Suelo Urbano Consolidado (SUCU) que corresponde con el pueblo y está limitado por las viviendas, como se puede ver en la Figura 13. Si estos se instalan, debe de ser en las cubiertas y tejado de los edificios, al igual que las placas fotovoltaicas. Estas tecnologías van a estar destinados al autoconsumo y la instalación se encontraría distribuida y no en una planta centralizada, además de que se instalarían en una cota por dejado de los 100 metros sobre el nivel del mar por instalarse encima de las casas. Por ello, si el conjunto de las instalaciones de aerogeneradores es superior a los 100 kW de potencia total se requeriría la evaluación ambiental simplificada. Aunque, no queda descartada del todo la evaluación ambiental ordinaria ya que los organismos ambientales pueden requerirlo por pertenecer a la Red Natura 2000. En tal caso, este se requerirá en la fase de diseño, posterior a la fase de dimensionamiento, la contemplada en este trabajo. Además, el Plan de Parque Natural fomenta el estudio de la implantación de energías renovables.



Figura 13. Mapa de Ordenación del territorio de la zona urbana consolidada. Fuente: IDECanarias

CAPÍTULO 5. DEMANDA ELÉCTRICA

Para la realización del dimensionamiento del sistema híbrido uno de los datos que debemos conocer es la curva de carga de la zona, que corresponde a cuánta electricidad se consume para cada hora del día durante todos los días del año. El software HOMER Energy permite definir la curva de demanda eléctrica anual a partir de varios días tipo, distinguiendo entre si el perfil de demanda es de un día laborable (lunes a viernes) o festivo (según HOMER sábado y domingo) para cada mes del año. Por lo tanto, admite hasta un total de 24 perfiles diferentes de demanda eléctrica. Además, tiene la posibilidad de incluir un porcentaje de variabilidad entre horas y días para así ajustar la estimación de manera correcta.

En este caso no se conocen los datos reales, por lo que se ha llevado a cabo la estimación de la curva de demanda tanto del sector residencial como de los distintos comercios y edificios públicos y del sector de la restauración para así suministrar electricidad a toda la población. Por ello, se exponen las viviendas e instalaciones de la isla y a partir de ahí se estiman por separado cada una a partir de informes y estudios realizados, aunque lo ideal sería obtenerlos mediante encuestas in situ.

5.1 SECTORES DE DEMANDA DE LA ISLA

La isla cuenta con una gran variedad de establecimientos y edificios para facilitar la vida de sus habitantes y de los turistas que vienen a visitar la isla. En la Tabla 2 se mencionan las más significativas y de las cuales se han analizado sus curvas de carga eléctrica. Se han organizado en cuatro tipos de sectores: sector residencial, sector turístico, sector comercial y servicios públicos. Para reunir esta información se han consultado diversas fuentes, entre ellas se encuentran las páginas web: (Visit La Graciosa, 2019); (Callejero de La Graciosa, 2019) (Google Maps La Graciosa, 2020); (Booking.com, 2020); (Datos de Lanzarote, 2013).

Por otro lado, La Graciosa es una zona turística y por ello se han considerado dos escenarios, uno para los meses de temporada alta (marzo, abril, junio, julio, agosto y septiembre) y otro para los de temporada baja (resto de meses). No obstante, debido a las buenas condiciones climáticas recibe numerosos turistas al día durante todo el año. Se ha considerado que se alojan en viviendas turísticas un 66% en temporada baja, ya que este es el porcentaje de ocupación medio en Lanzarote en esta temporada (Centro de datos de Lanzarote, 2015). Por este motivo, se ha considerado que tanto los edificios del sector comercial, como los servicios públicos se encuentren abiertos tanto en temporada alta como en temporada baja ya que tanto los residentes como los turistas hacen uso de estos. El resto de estimaciones se encuentran explicadas de forma detallada en el apartado 5.2. Estimación de la demanda eléctrica.

Tabla 2. Viviendas en instalaciones en La Graciosa. Fuente: elaboración propia

TIPO DE USUARIO	NÚMERO TOTAL	TEMPORADA ALTA	TEMPORADA BAJA
Sector Residencial			
Viviendas	342	342	128
Sector turístico			
Hotel	1	1	1
Apartamentos	39	39	26
Restaurantes	12	12	6, 12 (festivos)
Sector comercial			
Supermercados	2	2	2
Pequeños comercios al por menor ¹	17	17	17
Servicios públicos			
Colegio	1	0 ²	1
Polideportivo	1	1	1
Centro de Salud	1	1	1
Museo	1	1	1
Oficinas de pequeño tamaño ³	3	3	3
Alumbrado público	-	-	-

Leyenda:

Temporada Alta

Temporada Baja



Figura 14. Clasificación meses según la temporada. Fuente: elaboración propia

5.1.1 Movilidad: Incorporación de una estación de recarga de bicicletas eléctricas

La Graciosa cuenta con numerosas rutas turística en los 29,05 km² de su superficie. Muchos turistas pasan el día realizando estas rutas y recorriendo sus playas, la mayoría opta por realizar las rutas en bicicletas o andando, aunque también es posible contratar excursiones en vehículos 4x4. Algunos caminos son más difíciles de recorrer en bicicleta ya que tienen piedras,

¹ Se han incluido una farmacia, una tienda de regalos, una panadería, una frutería, una pescadería, una tienda de muebles, 4 servicios de taxi, 4 tiendas de alquiler de bicicleta, un centro de buceo, una sucursal bancaria y una oficina de correos.

² El colegio en los meses de marzo, abril y septiembre sí se encuentra abierto.

³ Se han incluido una oficina de turismo, una oficina municipal y una comisaría de policía.

además, la isla no tiene ninguna carretera asfaltada. La incorporación de una estación de recarga de bicicletas eléctricas tendría numerosos beneficios puesto que es una manera de fomentar la movilidad ecológica y eficiente, y permitiría reducir el uso de vehículos 4x4. Asimismo, ayudaría a hacer las excursiones por la isla de una manera más fácil sobre todo a personas mayores o personas que no puedan realizar esfuerzos físicos, e incluso para familias que viajen con niños y no aguanten lo suficiente como para recorrer toda la isla. Hay que destacar que este vehículo de dos ruedas permite respetar el entorno protegido y así fomentar un turismo sostenible.

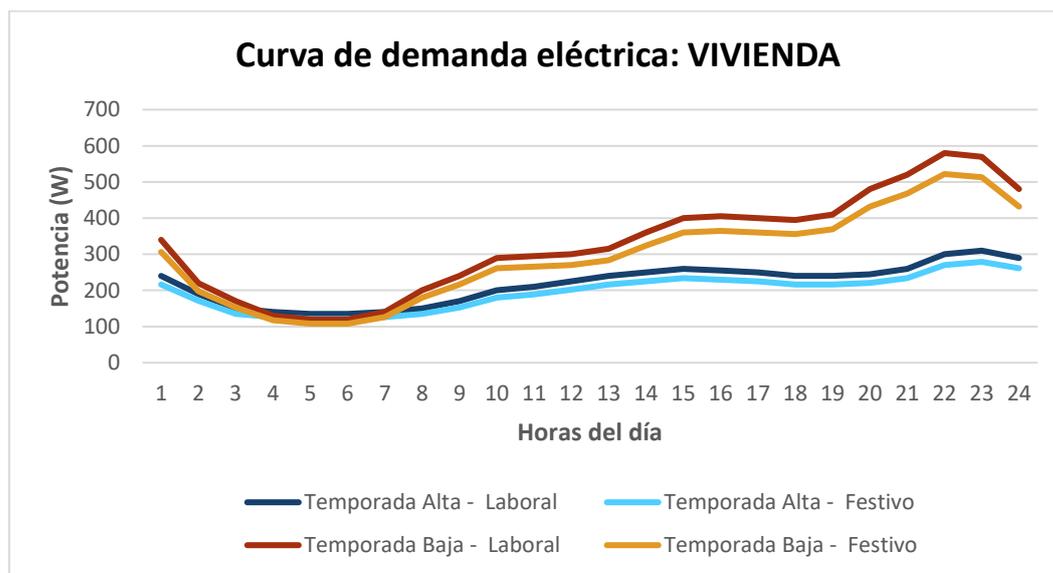
Por otro lado, muchos de los gracioseros disponen de vehículo propio, con la instalación de esta estación se facilitaría la incorporación de este medio de transporte, el cual está aumentando considerablemente su demanda en los últimos años, de modo que disminuya el número de coches que funcionen con combustibles fósiles.

5.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

Como se ha comentado anteriormente, se deben de obtener para cada una de las viviendas y edificios cuatro curvas de cargas. Dos corresponden a los días laborables en temporada alta y baja, y las otras dos a los días festivos (fines de semana) en temporada alta y baja.

5.2.1 Sector residencial

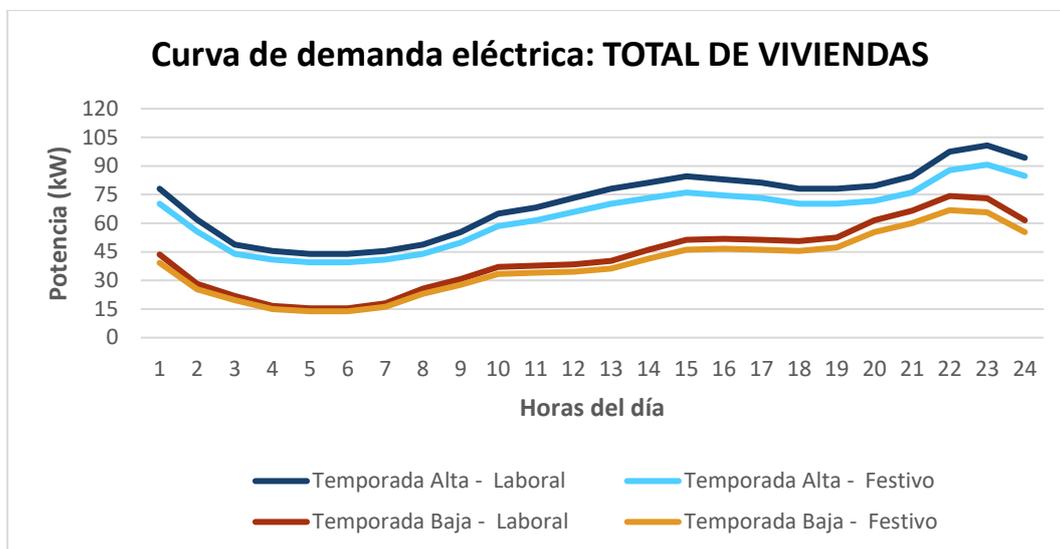
Para la determinar la curva de carga de una vivienda se ha consultado el *Proyecto INDEL (1998)* elaborado por Red eléctrica de España, de aquí se han obtenido las curvas de verano e invierno en los días laborables. Y para obtener la curva de carga de los fines de semana se ha multiplicado la curva de los días laborables por el factor 0,9 tanto para invierno como para verano, tal como indica el informe. Como se puede ver en la Gráfica 3, en los meses de temporada baja, como en su mayoría son meses de invierno el consumo es mayor ya que al haber menos horas de sol se gasta más electricidad, y se pasa más tiempo en casa y en determinados momentos se consume calefacción.



Gráfica 3. Curva de carga para una vivienda. Fuente: elaboración propia⁴

⁴ En todas las gráficas: - Laboral: lunes a viernes. - Festivo: sábado y domingo.

Para calcular la demanda total del sector residencial se han multiplicado los valores de la Gráfica 3 por el número total de viviendas en cada época respectiva. Un total de 128 casas se encuentran habitadas por residentes permanentes, mientras que en verano esta cifra aumenta hasta las 342 ya que muchos tienen allí su segunda residencia, distribuidas entre Caleta del Sebo, con 325 casas, y Pedro Barba, con 17 viviendas (Datos de Lanzarote, 2013).



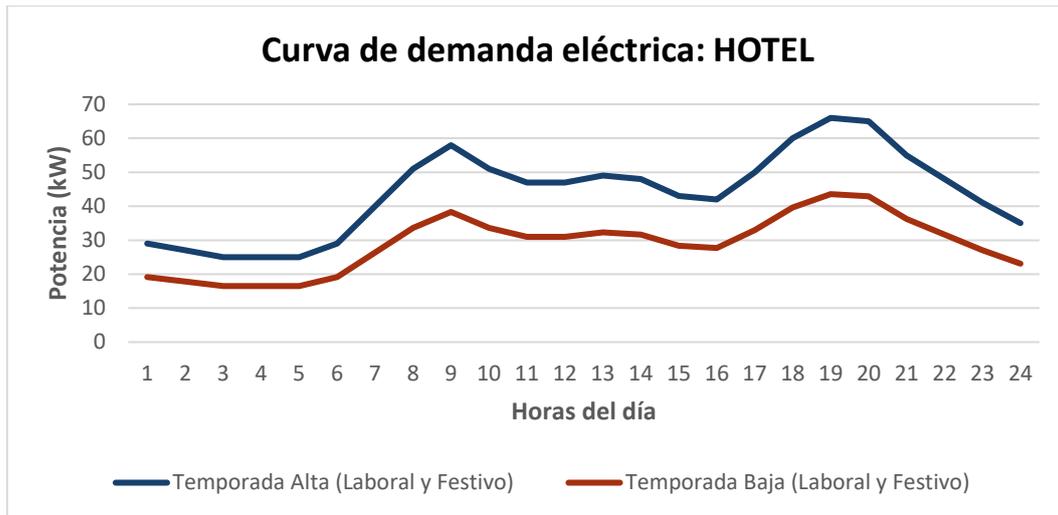
Gráfica 4. Curva de carga para el total de viviendas en La Graciosa. Fuente: elaboración propia

5.2.2 Sector turístico

El porcentaje de ocupación medio en Lanzarote en temporada baja es de un 66% (Centro de datos de Lanzarote, 2015), por lo tanto, este dato se ha empleado para poder estimar el número de restaurantes y apartamentos abiertos en los meses de temporada baja y así precisar la curva de demanda total. Para los meses en temporada alta se ha establecido la ocupación del 100%.

- **Hotel**

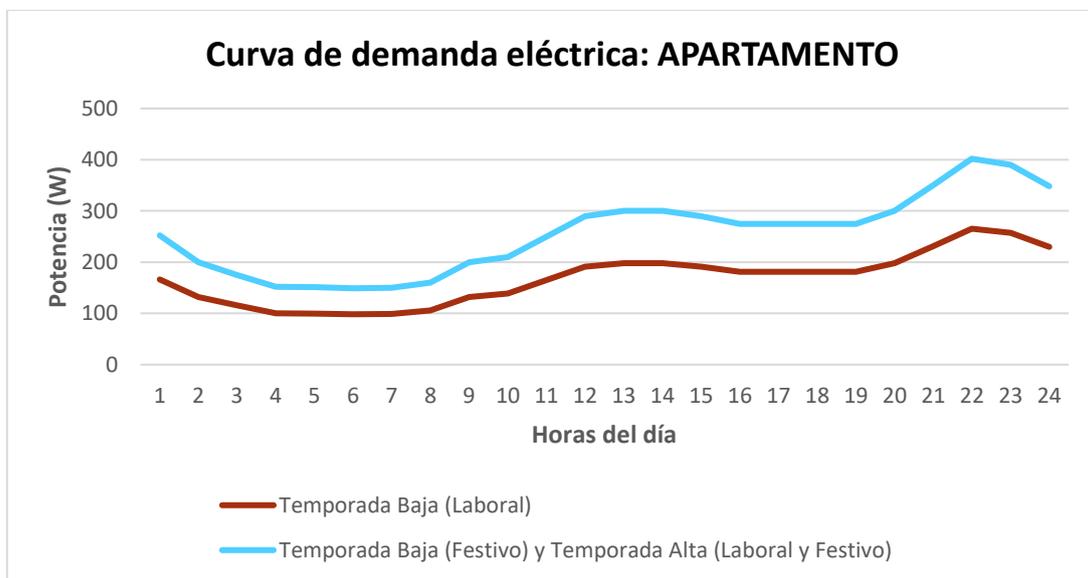
Para calcular la curva del hotel se ha utilizado como referencia el *Proyecto INDEL (1998)*. De aquí se ha adquirido la curva de carga media para un día laborable en temporada alta. Para conseguir el resto, en este informe se indica que la demanda apenas varía entre un día laborable y festivo, pero en los meses de temporada esta sí que es mayor. Así pues, para obtener la curva de carga de la temporada baja se ha multiplicado la curva de demanda en temporada alta por el factor de ocupación 0,66.



Gráfica 5. Curva de carga para el hotel de La Graciosa. Fuente: elaboración propia

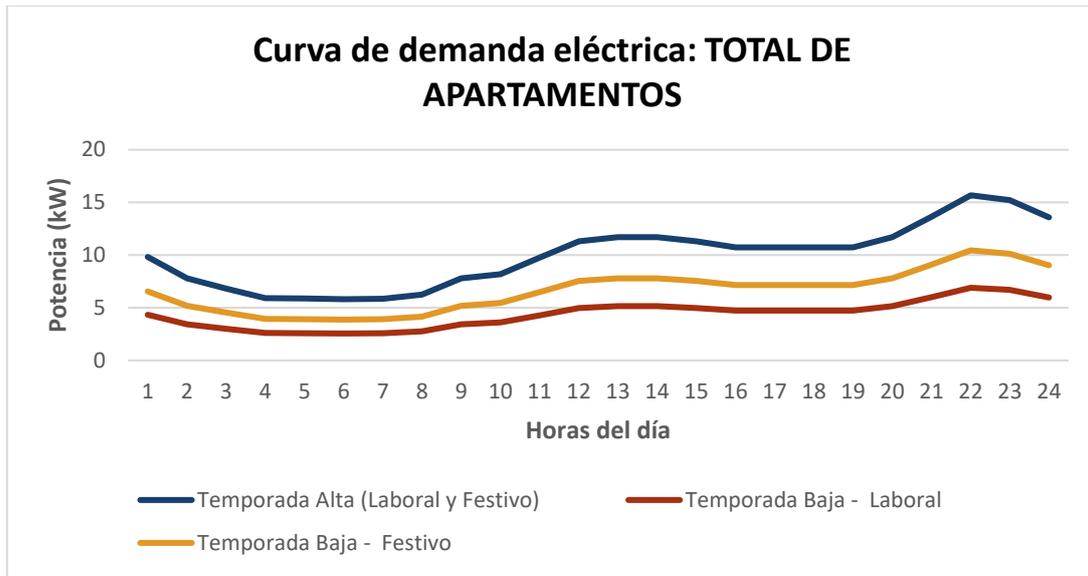
- **Apartamentos**

Por otro lado, la curva para los apartamentos está basada en el *Proyecto INDEL (1998)*, donde aparece la curva de carga de un día laborable en temporada alta para estas viviendas turísticas. Para adquirir el resto, este informe indica que las diferencias son no significativas entre los días de temporada alta, por este motivo se ha estimado que la curva en un día laborable y festivo en temporada alta es la misma. En cuanto al periodo de temporada baja, esta es menor los días laborables de modo que se ha multiplicado la gráfica de temporada alta por el factor de ocupación mencionado anteriormente (0,66). Para los días festivos en temporada baja esta es igual que en temporada alta ya que muchos turistas se alojan en días festivos.



Gráfica 6. Curva de carga para un apartamento. Fuente: elaboración propia

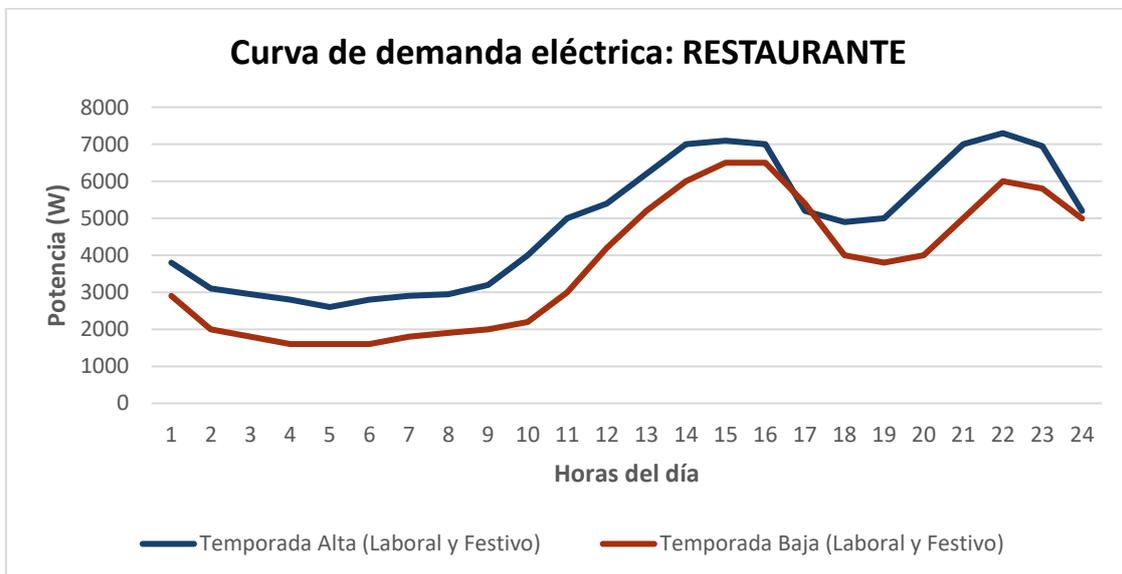
En total hay 39 apartamentos, con este valor se ha calculado la curva de carga acumulada para todos los apartamentos (Gráfica 7). En temporada este valor disminuye ya que solo reciben ocupación 26 apartamentos (66% de 39).



Gráfica 7. Curva de carga para el total de apartamentos en La Graciosa. Fuente: elaboración propia

- **Restaurantes**

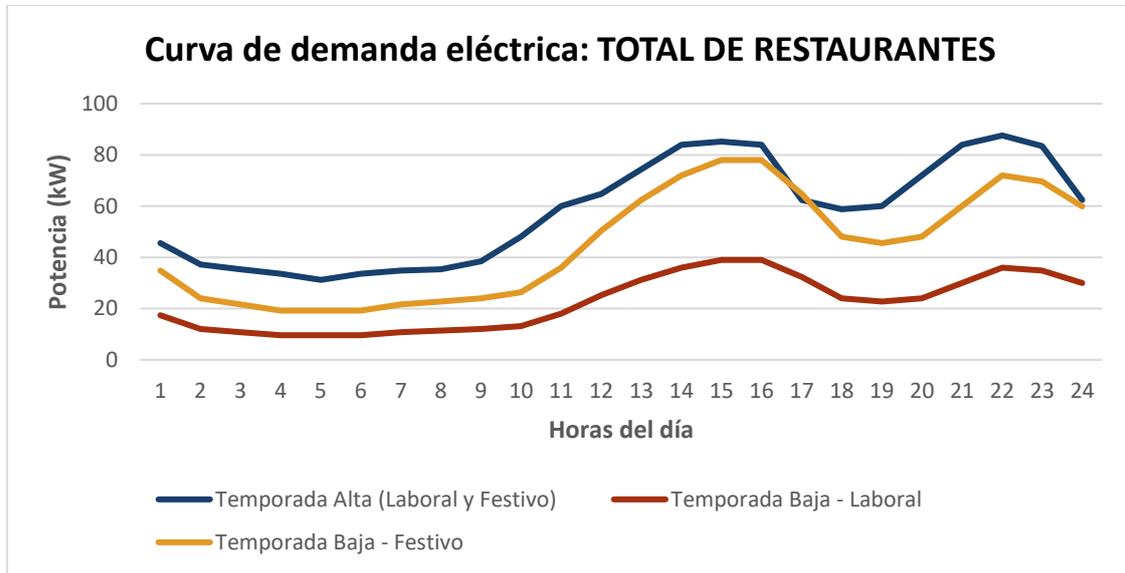
Análogamente, las curvas para los restaurantes se han determinado utilizando como referencia el *Proyecto INDEL (1998)*. Este documento proporciona las curvas de carga, de un día laboral, tanto para los meses de temporada alta y como para los de temporada baja. Para los días festivos se ha considerado que estos se encuentran abiertos por ser una zona turística, así pues, su curva sería idéntica a la de los días laborables. Por ello, en la Gráfica 8 no hay distinción entre laborable y festivo.



Gráfica 8. Curva de carga para un restaurante. Fuente: elaboración propia

Para calcular la demanda total del conjunto del sector de la restauración se han multiplicado los valores de la Gráfica 8 por el número total de restaurantes abiertos en cada respectiva época. Se ha estimado que en verano se encuentran todos los restaurantes abiertos, es decir, un total de 12 restaurantes, tanto en días laborables como festivos, esto es porque numerosos turistas visitan la isla durante toda la semana. Pero en temporada baja la mayoría de

turistas y vecinos solo visitan estos locales los fines de semana. En consecuencia, todos los restaurantes (12 en total) se encuentran abiertos en temporada baja los días festivos, pero en los días laborables de temporada baja abren 6 restaurantes. Los propietarios de estos 6 restaurantes entre semana se entienden que se dedican a otros oficios característicos de la isla como pueden ser la pesca o la agricultura.



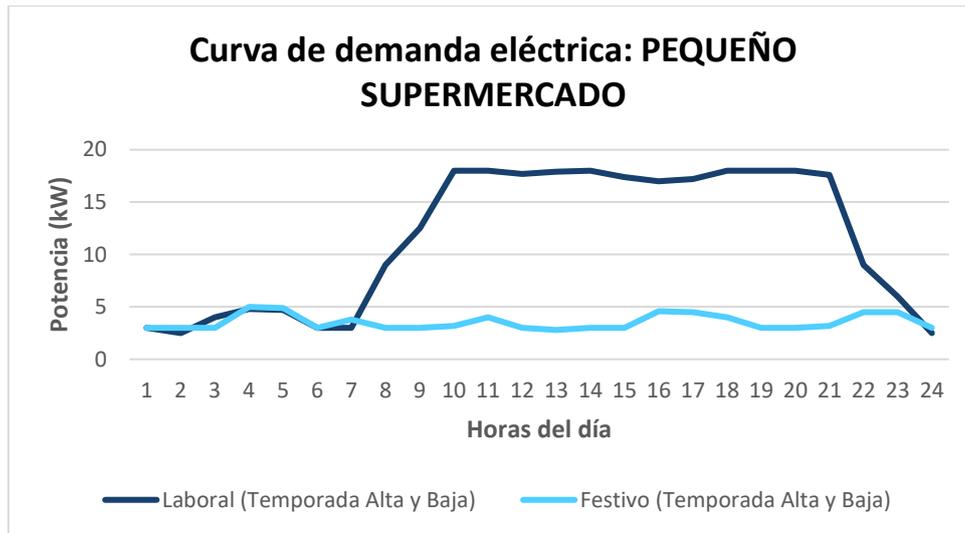
Gráfica 9. Curva de carga para el total de restaurantes en La Graciosa. Fuente: elaboración propia

5.2.3 Sector comercial

Para el sector comercial se ha determinado que se encuentran todos los comercios abiertos tanto en temporada alta como en temporada baja, ya que a estos asisten tanto los habitantes de la isla como los turistas.

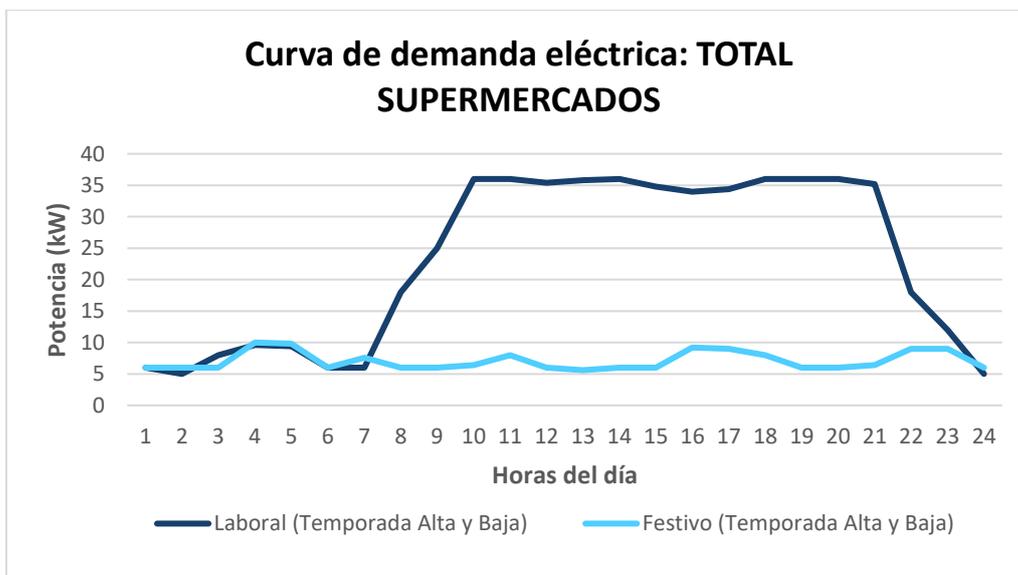
- **Supermercados**

Para la curva del supermercado se ha precisado de la *Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Locales Comerciales de la Comunidad Valenciana (2005)*. De aquí se ha adquirido la curva de carga media para los días laborables y festivos, esta se mantiene igual a lo largo del año, es decir, no distingue entre temporada alta o baja.



Gráfica 10. Curva de carga para un pequeño supermercado. Fuente: elaboración propia

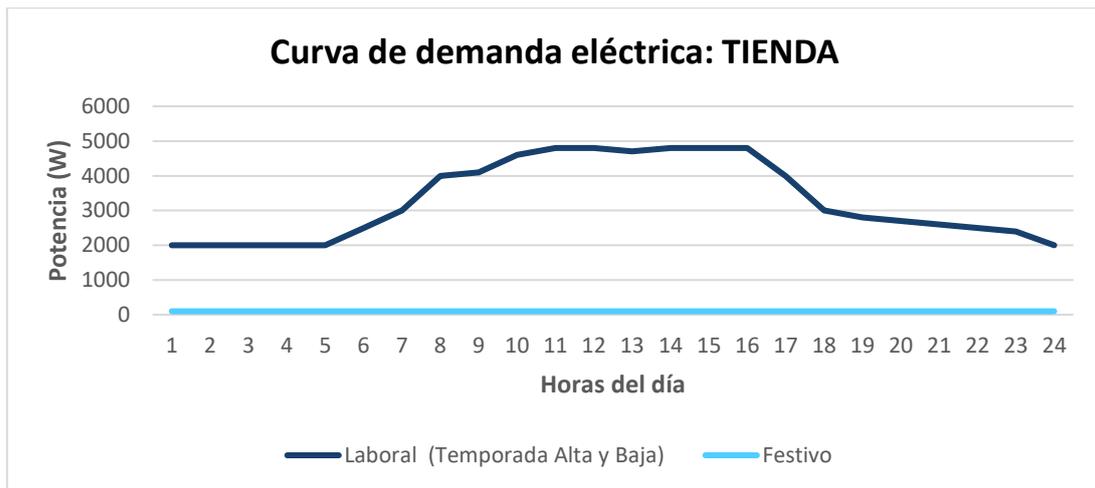
Así pues, para obtener la curva de carga de los 2 supermercados se ha multiplicado la Gráfica 10 por 2.



Gráfica 11. Curva de carga para el total de pequeños supermercados en La Graciosa. Fuente: elaboración propia

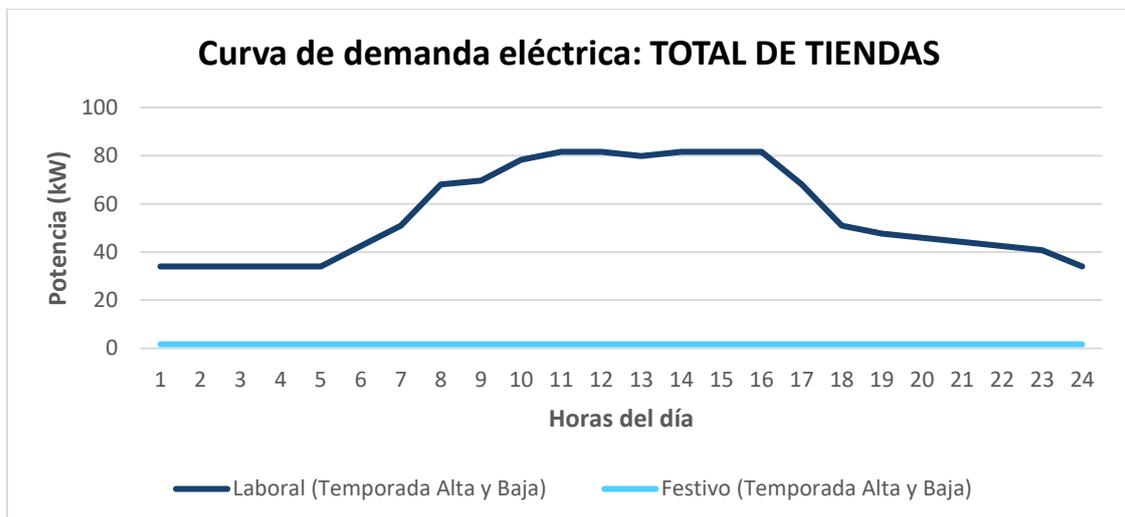
- **Pequeños comercios al por menor**

Se ha adquirido la curva de las tiendas para los días laborables (Western Power Distribution, 2011), y por lo tanto la demanda en los días festivos se ha calculado considerando que se encuentran los establecimientos cerrados y por lo tanto el consumo del standby es de un 5% del total.



Gráfica 12. Curva de carga para una pequeña tienda al por menor. Fuente: elaboración propia

Del mismo modo, para obtener la curva de carga de los 17 comercios se ha multiplicado la Gráfica 12 por las 17 tiendas.

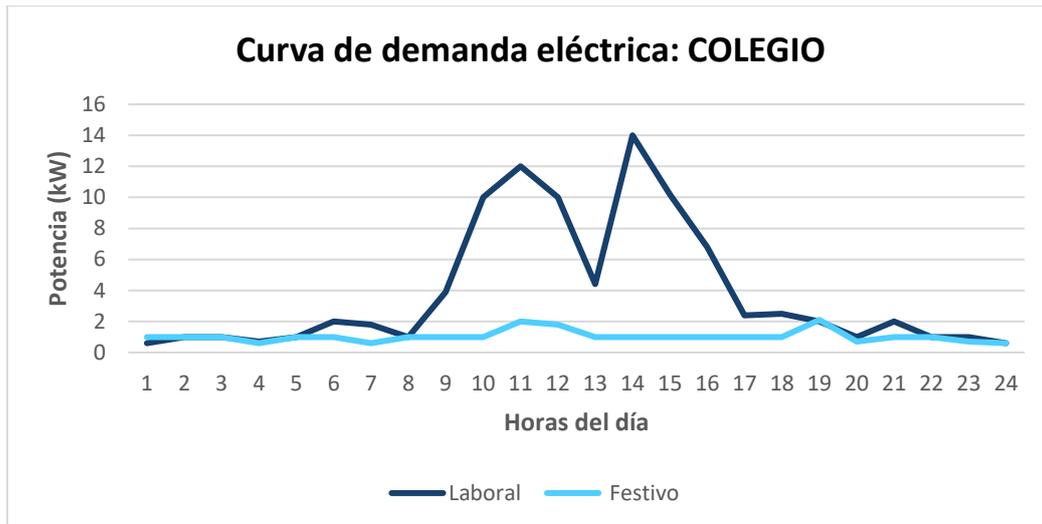


Gráfica 13. Curva de carga para el total de comercios al por menor en La Graciosa. Fuente: elaboración propia

5.2.4 Servicios públicos

- **Colegio**

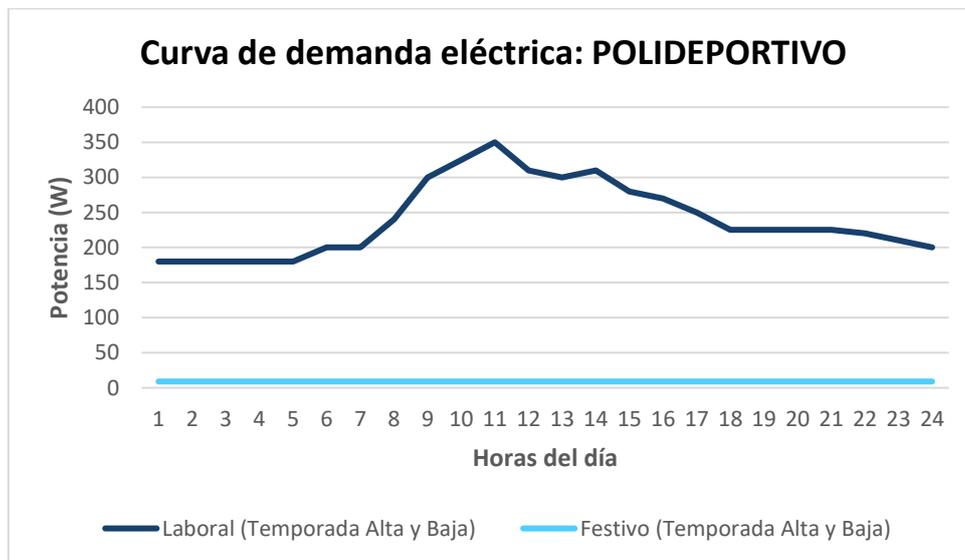
Para el colegio se ha obtenido la curva para los días en los que este se encuentra abierto, es decir los días laborables, y también para los días festivos en los que encuentra cerrado (Regenera, 2016). El colegio tiene demanda de tipo laboral todos los meses, excepto julio y agosto debido a las vacaciones escolares.



Gráfica 14. Curva de carga para el colegio de La Graciosa. Fuente: elaboración propia

- **Polideportivo**

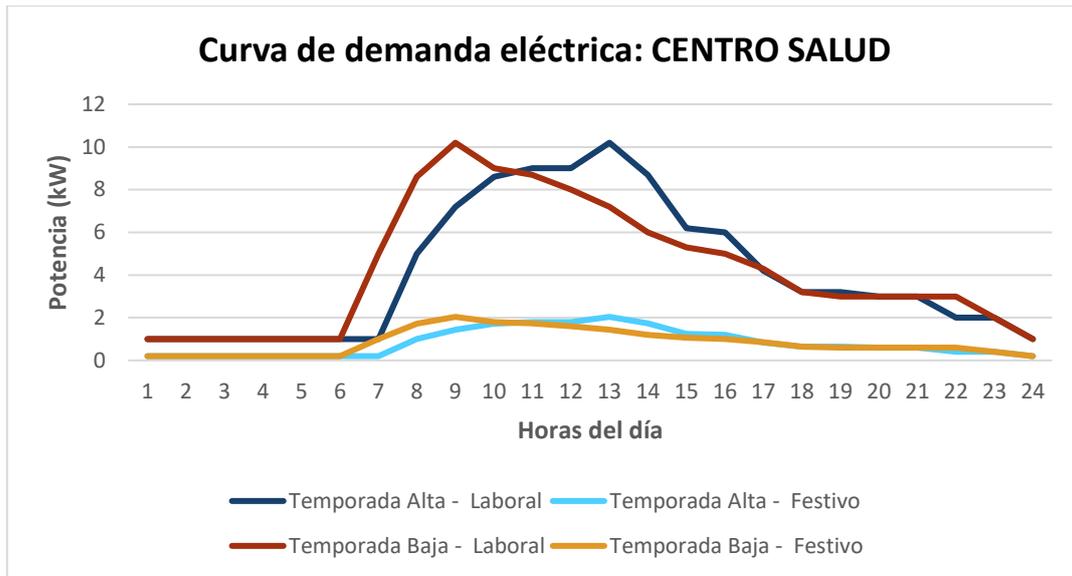
Para la curva del polideportivo se ha conseguido la curva de carga media para los días laborables (Western Power Distribution, 2011). Se ha establecido que esta no varía entre los meses de temporada baja y alta. Para los días festivos se ha calculado considerando que el polideportivo se encuentra cerrado y, por lo tanto, el consumo del stanby es de un 5% del total.



Gráfica 15. Curva de carga para el polideportivo de La Graciosa. Fuente: elaboración propia

- **Centro de Salud**

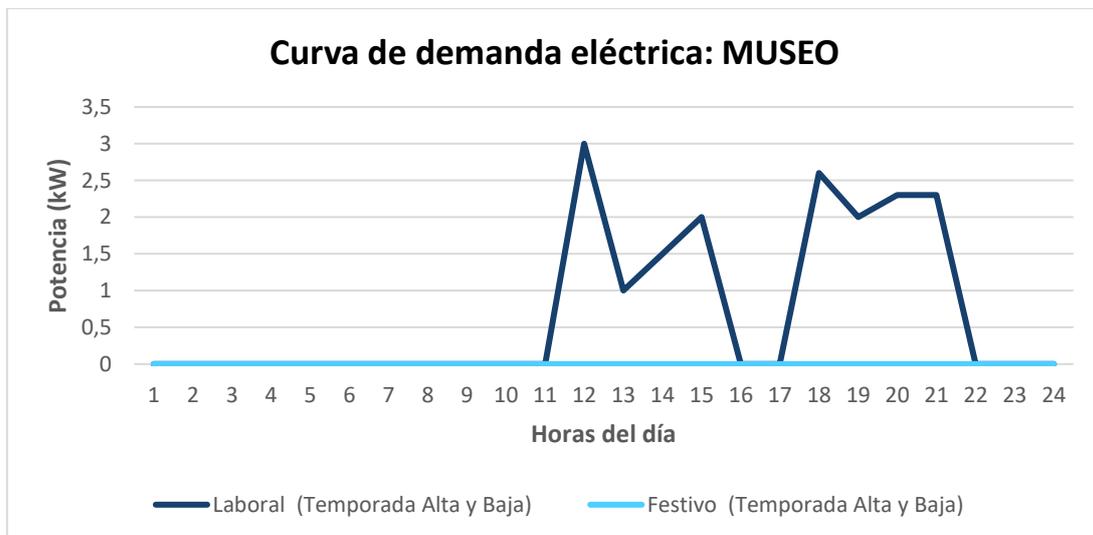
Con respecto a la curva del centro de salud se ha extraído la curva de carga media para los días laborables en temporada alta y baja (Agencia extremeña de la energía, 2014). Para los días festivos se ha calculado considerando que solo se encuentra abierta la sala de urgencias por lo tanto el consumo se ha establecido en un 20% del total.



Gráfica 16. Curva de carga para el centro de salud de La Graciosa. Fuente: elaboración propia

- **Museo**

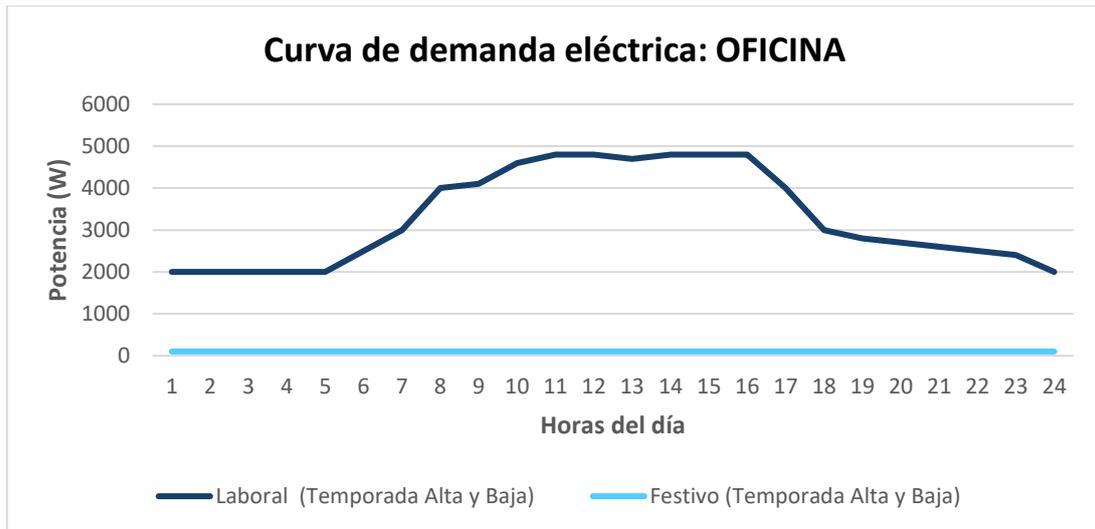
Para el museo se ha obtenido la curva para los días festivos y laborables (Regenera, 2016), esta no distingue entre día de temporada alta o baja. El museo presenta un consumo nulo en las noches y días festivos ya que se encuentra cerrado.



Gráfica 17. Curva de carga para el museo de La Graciosa. Fuente: elaboración propia

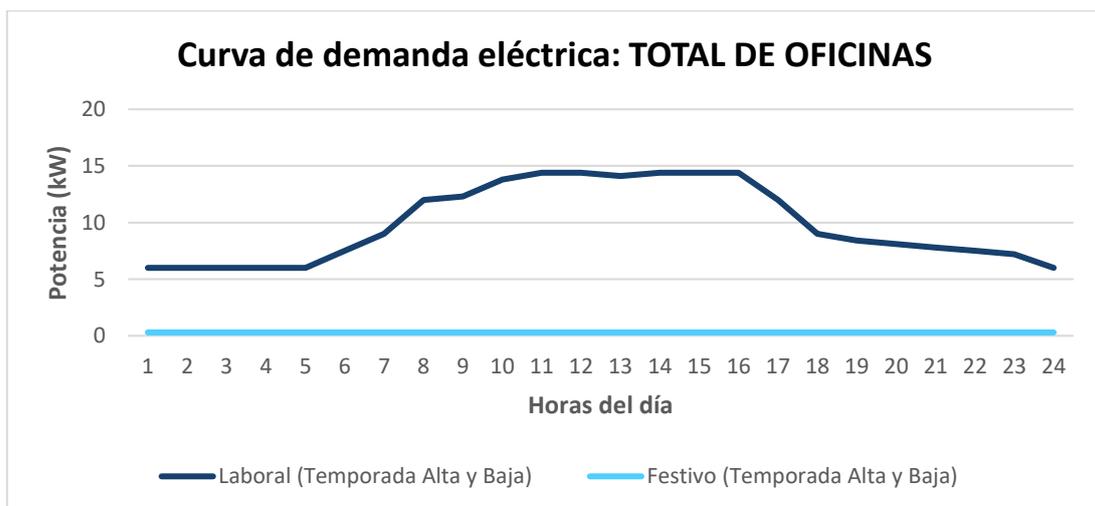
- **Oficinas de pequeño tamaño**

Se ha adquirido la curva para una oficina en un día laborable (Western Power Distribution, 2011), y por lo tanto la demanda en los días festivos se ha calculado considerando que las oficinas se encuentran cerradas y por lo tanto el consumo del stanby es de un 5% del total.



Gráfica 18. Curva de carga para una oficina. Fuente: elaboración propia

Del mismo modo, para obtener la curva de carga de las 3 oficinas se ha multiplicado la Gráfica 18 por 3. Se entiende que las oficinas disponen de aire acondicionado y varios ordenadores.



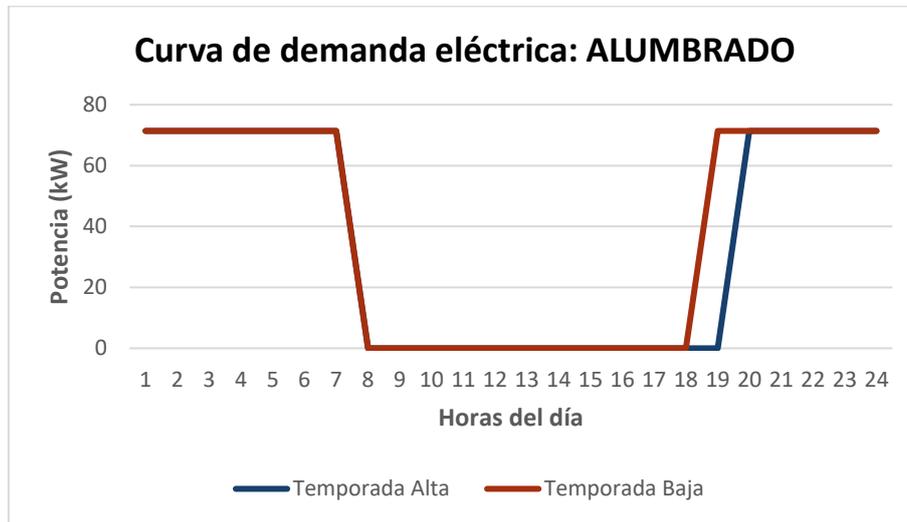
Gráfica 19. Curva de carga para el total de oficinas en La Graciosa. Fuente: elaboración propia

- **Alumbrado público**

Para el cálculo de la potencia consumida por el alumbrado público primero se han contado el número de calles y se han medido sus longitudes. A través de la *Sede electrónica del catastro*, Caleta del Sebo, con coordenadas UTM 645534,04; 3234475,17 cuenta con 6 calles de 1500 metros de longitud y 21 calles de 350 metros. Y Pedro Barca, con coordenadas UTM 647648,84; 3237949;87, tiene 3 calles de 300 metros y 6 de 100 metros. En estas calles se han incluido las calles de la zona urbana, el puerto y algunas zonas de playa. Si multiplicamos el número total de calles por sus respectivas longitudes obtenemos un total de 17.850 metros. Se ha supuesto que la distancia entre farolas es de 30 metros. Por lo tanto, si dividimos 17.850 metros entre 30 metros obtenemos que el número total de farolas es de 595. Para calcular la

potencia consumida por las farolas se multiplican las 595 farolas por el consumo de una, en este caso se ha estimado que cada una consume 120 W.

De esta manera, se obtiene que la potencia total consumida por el alumbrado es de 71,4 kW, el cual estará encendido de 19:00h a 07:00h en los meses de temporada baja, que en su mayoría son meses de invierno, y de 20:00h a 07:00h en temporada alta, donde la mayoría de meses son de verano.



Gráfica 20. Curva de carga para el alumbrado público en La Graciosa. Fuente: elaboración propia

5.2.5 Estación de recarga de bicicletas eléctricas

Se ha supuesto que en la isla van a circular un total de 100 bicicletas eléctricas, de las cuales, se considera que se cargarán simultáneamente tres cuartos, es decir, 75 bicicletas, que corresponderían a las utilizadas por los turistas (bicicletas alquiladas en la isla) y las 25 bicicletas restantes corresponden a los habitantes. Para la realización de los cálculos se ha tomado el modelo Cityboard E-Tui, la cual se alimenta a 36 V y 10,4 A durante su carga, la carga se completa en 4 horas. Se ha tomado este modelo porque corresponde a una bicicleta de montaña ideal para los caminos sin asfaltar y su autonomía es 60 km, suficiente para toda la isla (Gizlogic, 2019). Mediante la Ecuación 3 se ha calculado la potencia que consumiría esta estación.

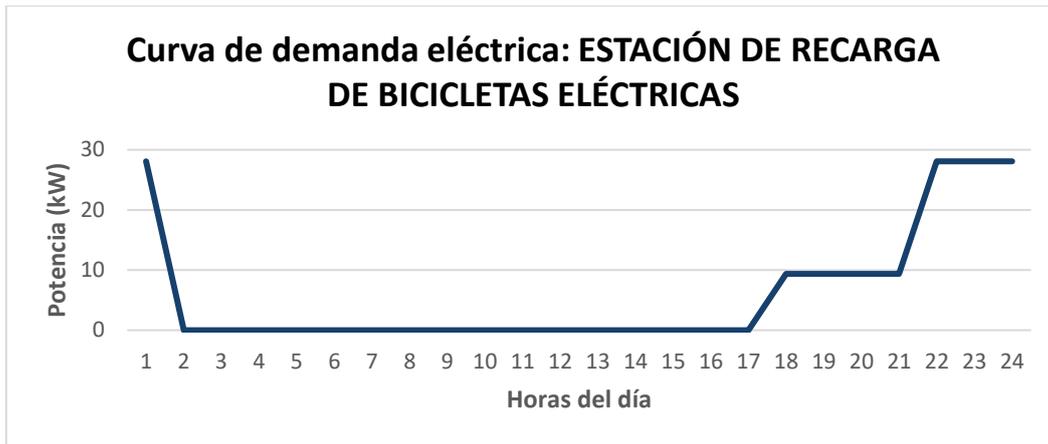
$$P_{consumida} = N_{bicicletas} \times K_{simultaneidad} \times U_{carga} \times I_{carga} \quad (3)$$

$$P_{consumida \text{ por } 75 \text{ bicicletas}} = 100 \times 0,75 \times 36V \times 10,4A = 28,080 \text{ kW}$$

$$P_{consumida \text{ por } 25 \text{ bicicletas}} = 100 \times 0,25 \times 36V \times 10,4A = 9,360 \text{ kW}$$

Ecuación 3. Cálculo de la potencia a instalar estación recarga de bicicletas eléctricas

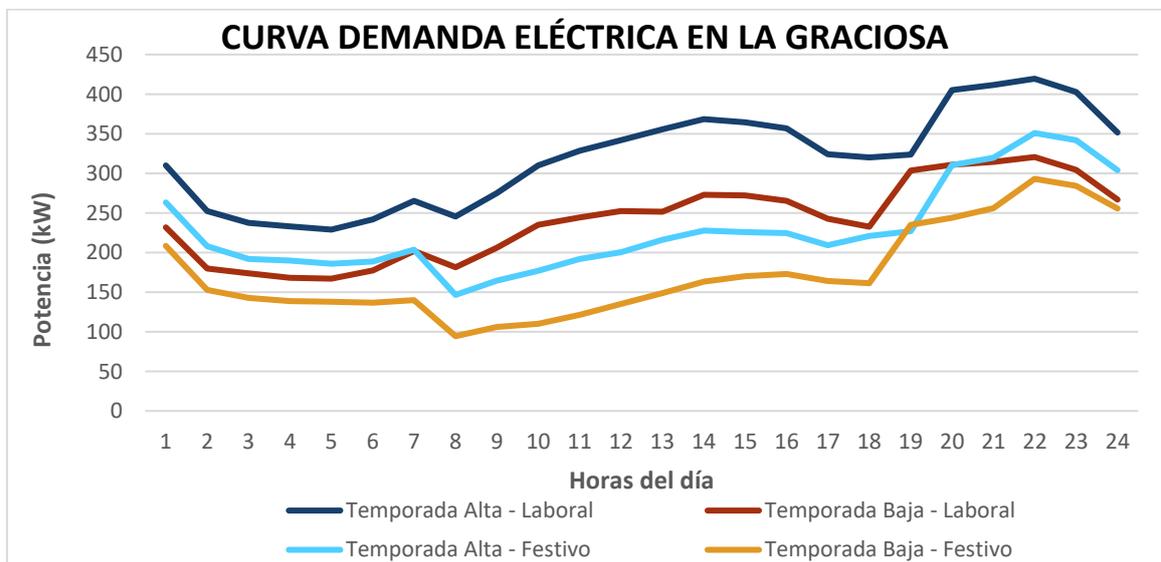
El periodo de recarga se ha establecido de las 22:00h a 2:00h para las bicicletas de los turistas. De esta manera los turistas depositan las bicis en la estación antes de su salida de la isla, entorno a las 19h, y dado que la estación dispone de un temporizador se programa su recarga para las 22h para que de esta manera la recarga no coincida con las horas pico de la noche y así tenerlas listas para la mañana siguiente. Para los usuarios locales se ha establecido el horario de recarga de 18:00h a 23:00h, así los habitantes cargan sus bicis a la salida del trabajo.



Gráfica 21. Curva de carga para la estación de recarga de bicicletas eléctricas Fuente: elaboración propia

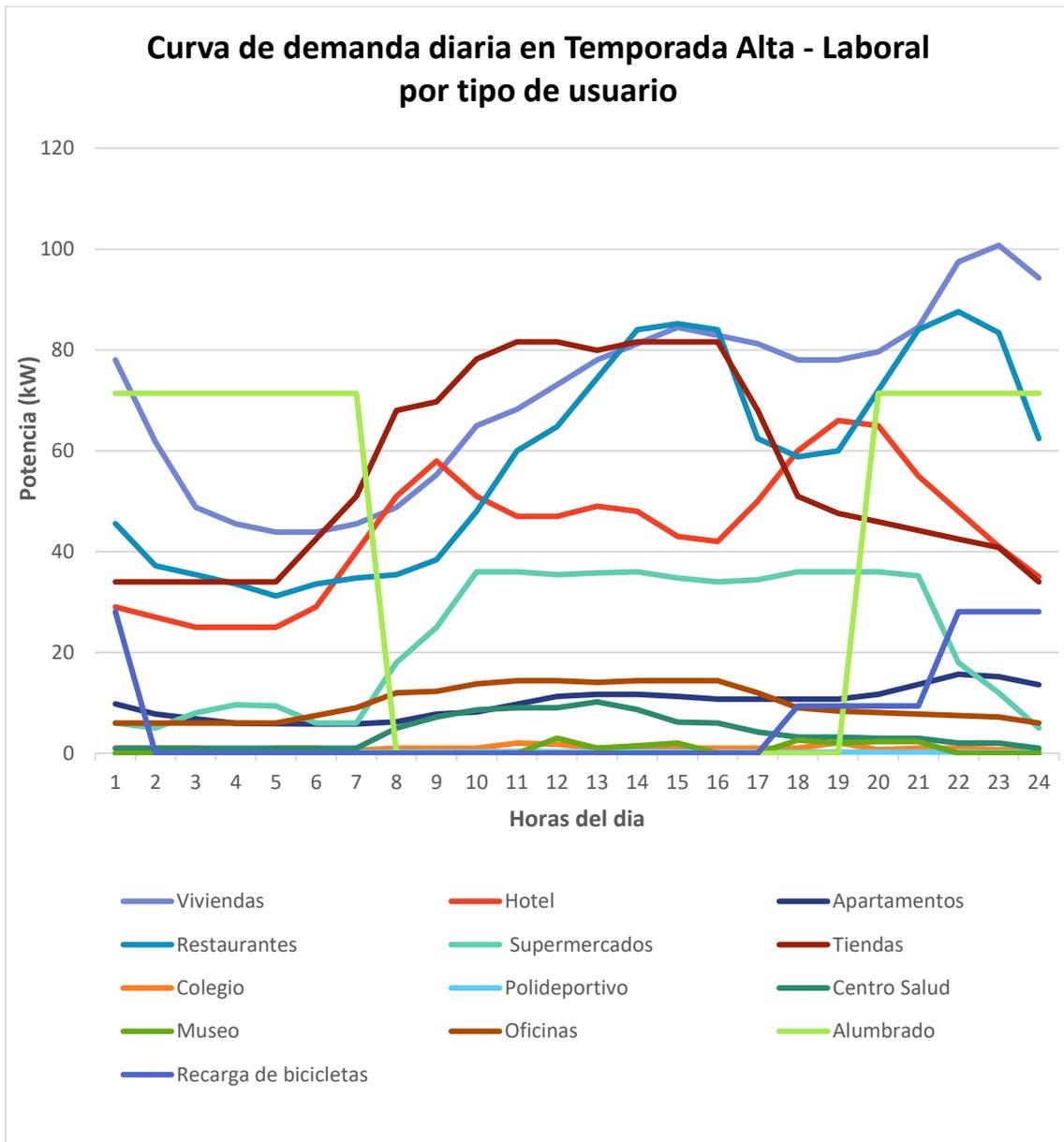
5.3 CURVAS DE DEMANDA EN LA GRACIOSA

Una vez realizados todos los cálculos se suman los consumos y se obtiene la curva de demanda eléctrica para el total de la isla, que serán los datos a introducir en HOMER. En la Gráfica 22 se puede ver que el mayor consumo se registra en los días de temporada alta laborables, esto es así por la demanda turística. Por otra parte, la época de menor consumo es en invierno debido a que visitan menos turistas la isla y en jornada festiva ya que los establecimientos y comercios se encuentran cerrados. Cabe destacar, que la curva para los días de temporada baja en un día laboral está por encima de la curva para los días de temporada alta en festivo. Esto es así porque en los días festivos muchos de los establecimientos se encuentran cerrados, como los supermercados, las tiendas, las oficinas, el colegio, el polideportivo y el museo.



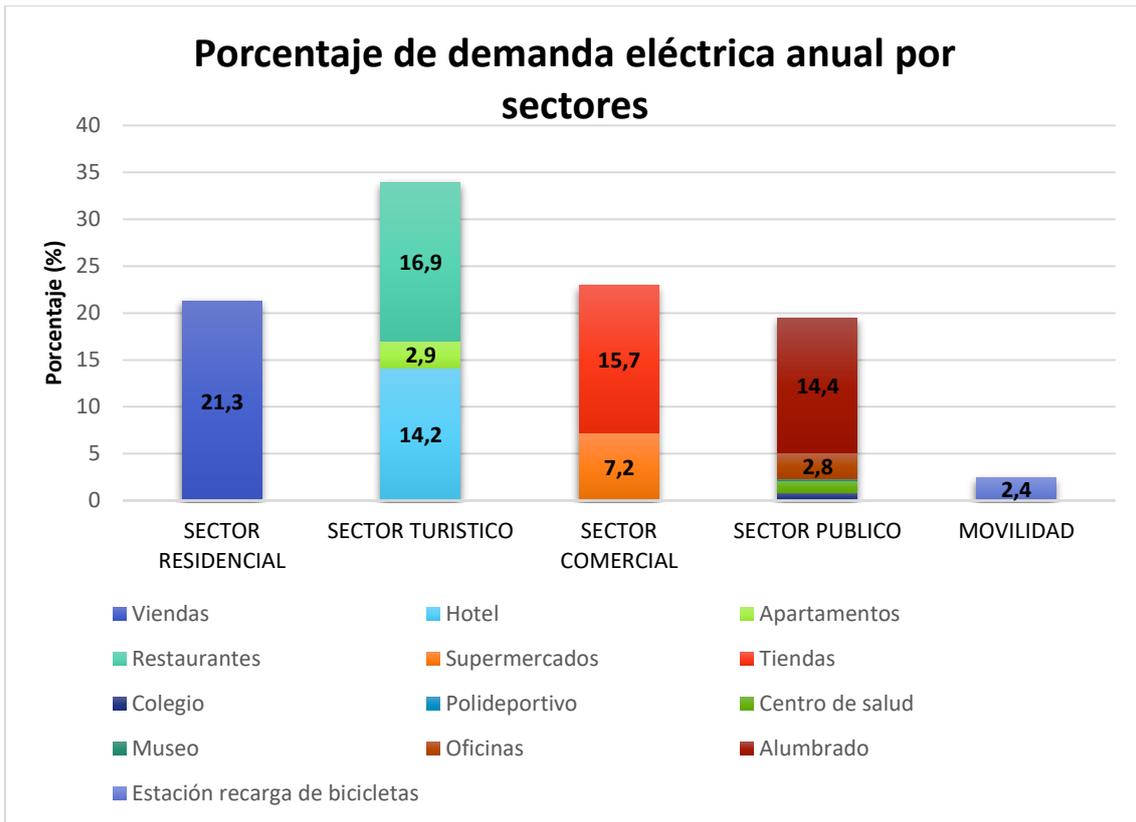
Gráfica 22. Curva de carga de La Graciosa. Fuente: elaboración propia

A la hora de conocer a qué son debidas las horas de mayor consumo la Gráfica 23 resulta de gran ayuda. Como se puede ver las horas del mediodía son uno de los picos de la curva ya que es la hora de la comida. En la noche también hay otro pico de consumo entre las 20:00h y las 23:00h ya que la gente se encuentra cenando y se encienden las luces del alumbrado público. Se ha analizado la curva de un día laboral en temporada alta por ser la que más consume.



Gráfica 23. Curva de carga en un día laboral en temporada alta por tipo de usuario. Fuente: elaboración propia

Por último, en el siguiente gráfico de barras podemos ver cómo el sector turístico es el que más requiere de energía eléctrica a lo largo todo el año. También, podemos conocer el porcentaje que representa cada tipo de establecimiento o viviendas, aunque para los casos del colegio, el polideportivo, el centro de salud y el museo no se ha indicado su porcentaje ya que este era poco significativo. Las viviendas representan el mayor consumo, seguidas de los restaurantes y las tiendas. El 100% de la demanda anual corresponde con un total de 2.260.584,60 kW/año.



Gráfica 24. Porcentaje que representa cada sector en la demanda anual. Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO 6. INTRODUCCIÓN DE DATOS EN HOMER

Una vez realizado el análisis de la isla, de sus recursos energéticos disponibles y de la estimación de la demanda, el siguiente paso ha sido definir el sistema a partir de las diferentes alternativas que se ofrecen en el mercado y realizar un análisis económico y técnico. En este apartado se definirán los datos necesarios a introducir en el software HOMER. Primero, se muestra un esquema con la metodología que ha sido utilizada:

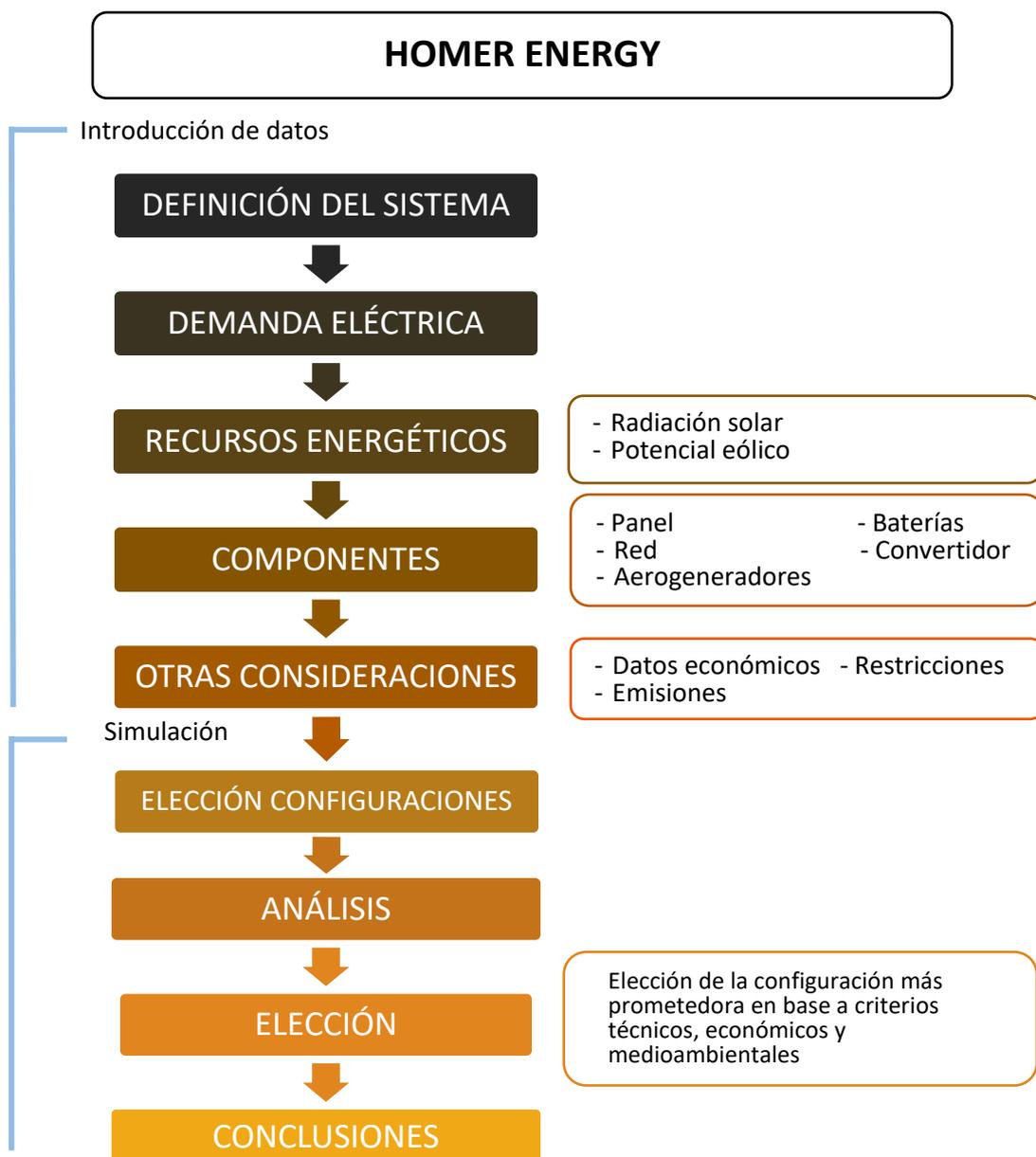


Figura 15. Metodología empleada en el uso del programa. Fuente: elaboración propia

6.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA RENOVABLE

Como se ha comentado anteriormente, al realizar el estudio de la isla, se ha concluido que las principales fuentes de energía renovables que se van a emplear en este sistema son la energía solar y eólica.

Los paneles fotovoltaicos y los aerogeneradores generarían energía en corriente continua, el inversor convertiría esta corriente en alterna y llegaría al consumidor. Además, como la isla cuenta con acceso a la red eléctrica, esta construcción existente se va a aprovechar para satisfacer la demanda no cubierta por las renovables. De este modo este sistema planteado contribuye a consumir lo mínimo posible de la red y a maximizar el porcentaje de renovables, pero sin sobrepasar los costes de electricidad actuales. Este sistema también plantea la instalación de baterías para almacenar energía y así conseguir un mayor porcentaje de renovables, aunque sus costes de inversión sean mayores. Se ha desechado la opción de emplear el generador, por la existencia de la red. Además, llevar diésel a la isla tiene un coste de transporte mayor, y si en un futuro aumenta el porcentaje de energías renovables en Lanzarote, la energía que llegue a La Graciosa a través de la red puede ser más renovable que la del generador. Aunque conviene especificar que, en caso de emergencia por corte en la red eléctrica, La Graciosa ya cuenta con un generador diésel para estos casos. Por tanto, este no se ha añadido en HOMER ya que actúa solo en momentos puntuales y no pertenece a esta nueva instalación.

Otro dato a tener en cuenta es que, aunque nuestro sistema se encuentre conectado a la red los excedentes generados no se van a verter a la red, de modo que se debe instalar un mecanismo de antivertido para que los excedentes no puedan verterse. Este sistema permite una implantación sencilla ya que no se necesitan permisos de conexión. En la Figura 16 aparece un esquema de esta instalación.

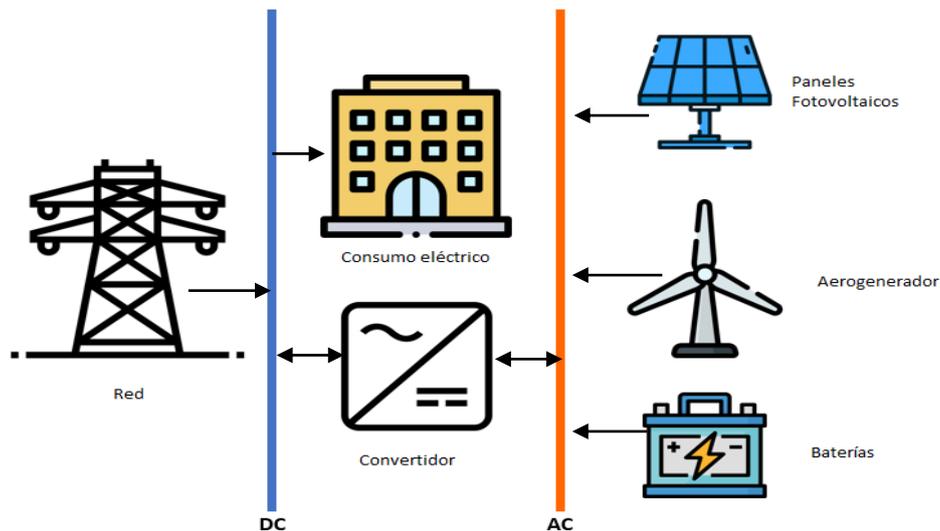


Figura 16. Esquema general de la instalación. Fuente: elaboración propia

Con arreglo a la normativa explicada en el apartado 4.3, se ha concluido que la instalación de los paneles solares y los aerogeneradores se realizará en las cubiertas y tejados de las viviendas y otros edificios públicos y privados. Este sistema con las renovables distribuidas permitiría que se beneficiaran todos los usuarios residenciales y comerciantes, aunque no dispongan de una instalación renovable en su tejado. Así, queda descartada la opción de instalar

un parque eólico y/o una instalación solar, ya que no serían viables medioambientalmente. Al instalarse en entorno urbano hay que tener en cuenta factores como que la superficie disponible para la instalación estará limitada al espacio aprovechable en las cubiertas.

En la actualidad, el autoconsumo está en auge y la normativa que lo regula está actualizándose constantemente y favoreciendo este tipo de instalaciones. Tal es el caso, que el último decreto publicado es *el Real Decreto 244/2019* por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. En este se incluye la regulación del autoconsumo colectivo, en el que el consumo de la energía se realiza de manera compartida entre varios usuarios. A pesar de la iniciativa de este decreto todavía faltan por impulsar nuevas leyes, ya que con la normativa actual queda todo muy limitado y las instalaciones de autoconsumo deben de cumplir ciertos requisitos. Estos requisitos establecen que los autoconsumidores deben de estar conectados al mismo centro de transformación, en este caso de estudio, este requisito no se cumpliría, ya que en los pueblos suelen haber más de un centro de transformación, aunque es posible que todos ellos estén conectados en anillo para garantizar el suministro. Otro requisito es que los autoconsumidores deben estar en la misma referencial catastral, y esto no se cumple. Por último, la distancia máxima entre los autoconsumidores y el lugar de producción de energía se establece en 500 metros, si bien es cierto que el pueblo tiene un radio de más de 500 metros, esta condición se puede cumplir si la instalación se realiza como un conjunto de varias instalaciones de manera que el radio de 500 metros se cubra en todo el pueblo. Dentro de unos años quedará todo más definido y las restricciones serán menos limitantes, ya que en Europa se quiere impulsar la penetración de instalaciones renovables. Una vez definido el sistema HOMER lo representa como se puede ver en la Figura 17.

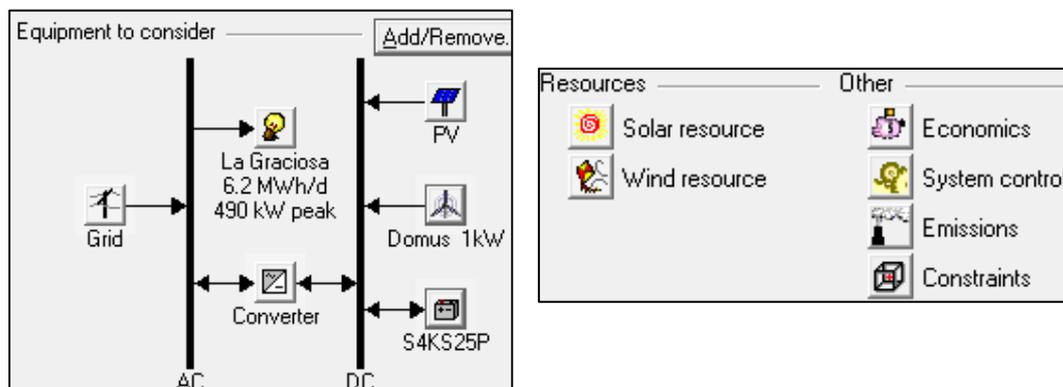


Figura 17. Esquema de conexión de los equipos a considerar y los recursos empleados Fuente: HOMER

6.2 INTRODUCCIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

Los primeros datos introducidos han sido los de la demanda, calculada en el capítulo 5. Por ello, se han introducido los datos de las curvas de carga de cada uno de los meses de temporada alta y baja, e indicando si pertenecen a un día laboral y festivo. Ya que como se puede ver en Figura 18 se puede seleccionar el mes y tipo de día. En esta figura se aprecia cómo varía la demanda a lo largo del año, siendo los meses de marzo, abril, junio, julio, agosto y septiembre los meses de mayor consumo debido al ser temporada alta.

HOMER permite variar los datos de la demanda de manera aleatoria para que así la estimación sea más realista, de modo que se ha establecido un valor de variación en un 6% de un día a otro y en un 3% de una hora a otra. El consumo al año de la isla es de 2.258.254 kWh/año. Las curvas y gráficos obtenidos son los siguientes:

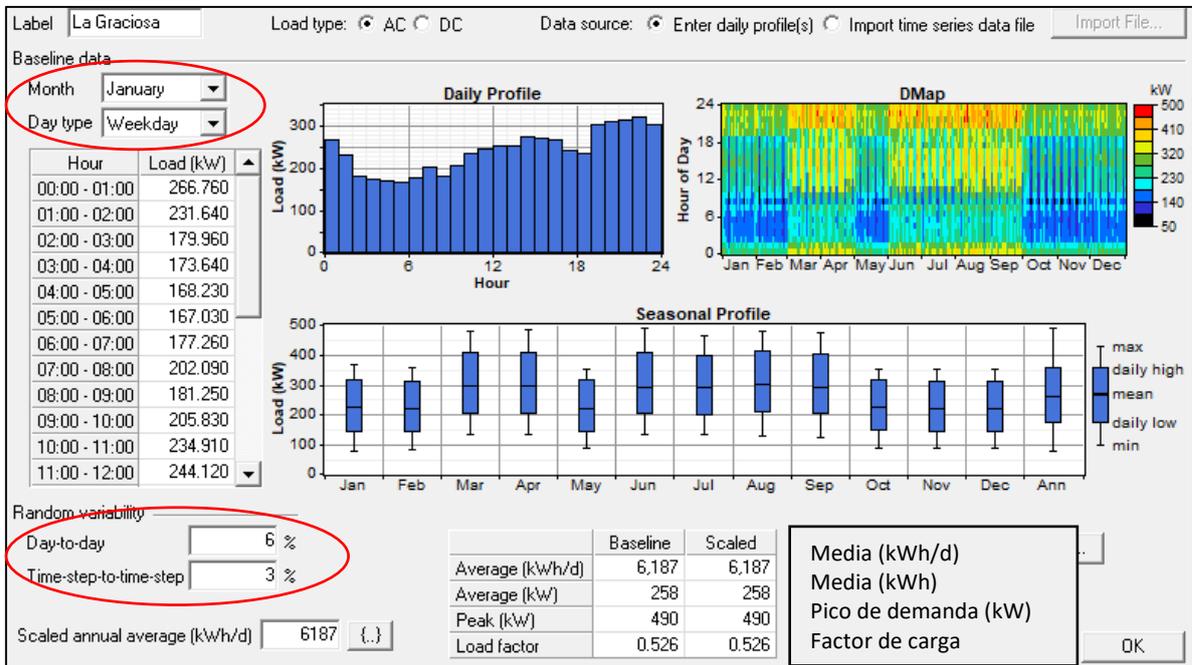


Figura 18. Interfaz de la demanda en el software. Fuente: HOMER

El factor de carga se calcula como la demanda media entre la demanda pico. Uno de los datos importantes a tener en cuenta es el pico de potencia con un valor de 490 kW, el cual debe garantizarse en cualquier caso. Este corresponde al punto de máximo consumo, según la Figura 19 esta demanda pico se sitúa en los meses de temporada alta durante las últimas horas del día, y aparecen en días puntuales.

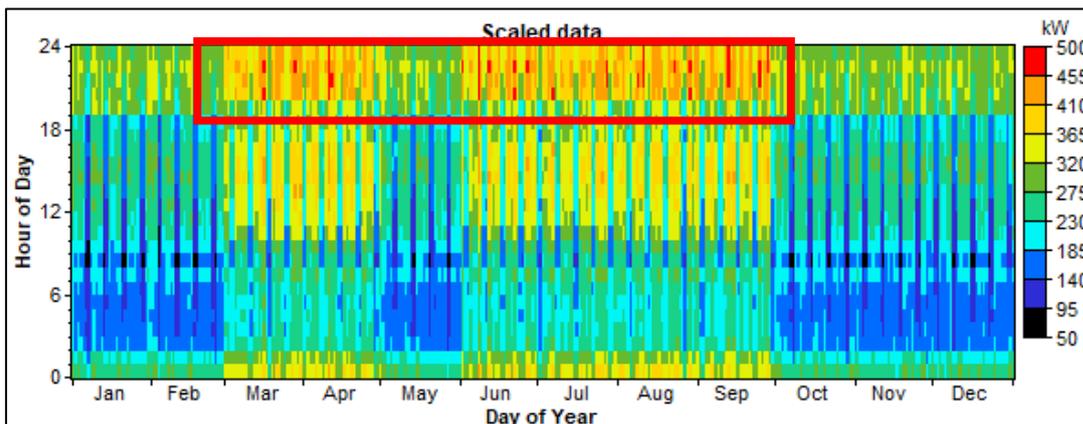


Figura 19. Identificación de los periodos diarios con mayor demanda. Fuente: HOMER

6.3 RECURSOS ENERGÉTICOS DISPONIBLES EN LA GRACIOSA

A continuación, se muestran los datos a introducir en HOMER de los recursos energéticos disponibles en La Graciosa.

- **RADIACIÓN SOLAR**

El programa permite obtener los datos de radiación solar introduciendo las coordenadas del lugar y la zona horaria. Después, se descargan los datos de radiación diaria (kWh/m²/d) de internet y se genera la gráfica que aparece en la Figura 20, donde se puede ver que la radiación promedia es de 5,491 (kWh/m²/d). El índice de claridad (clearness index) es calculado de forma automática por HOMER, de manera que la radiación global se divide entre la radiación extra atmosférica, esta varía dependiendo del lugar.

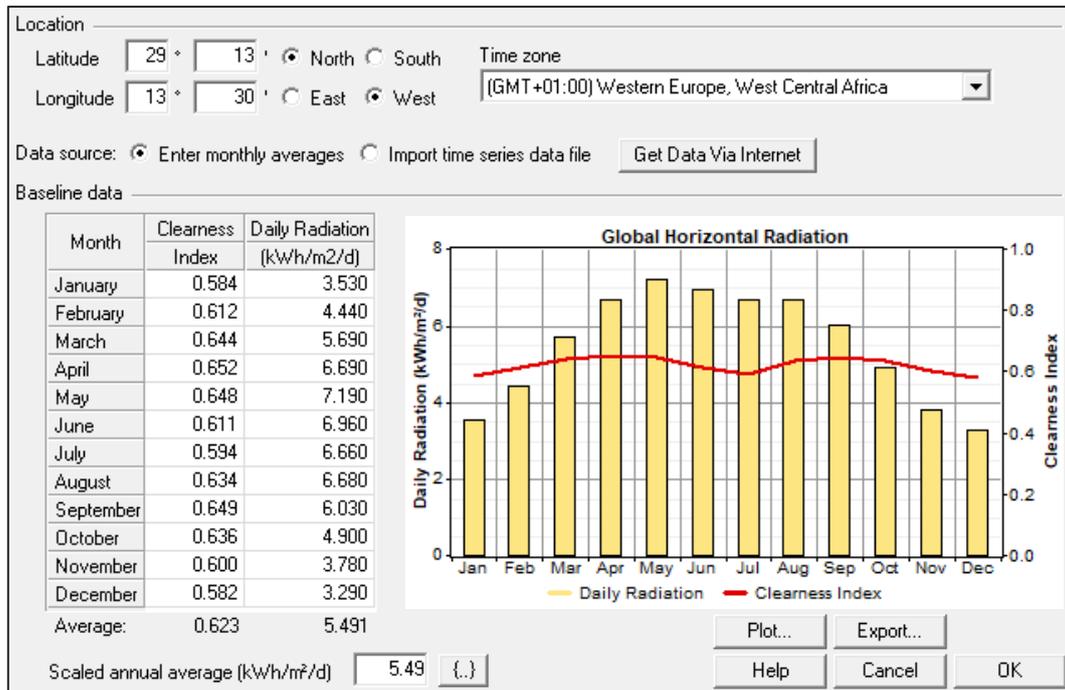


Figura 20. Radiación solar en La Graciosa. Fuente: HOMER

En la Figura 21 se aprecia que solo se produce electricidad en las horas centrales del día, ya que como es lógico coinciden con las horas del sol.

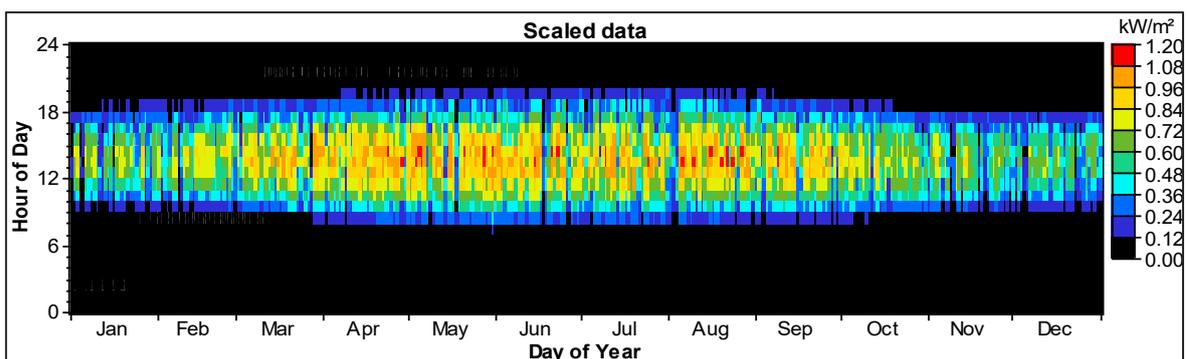


Figura 21. Data Map del recurso solar en La Graciosa. Fuente: HOMER

- **POTENCIAL EÓLICO**

Otro de los recursos energéticos presentes en La Graciosa es el viento. De manera análoga al recurso anterior, se han trasladado los datos de la velocidad media mensual, obtenidos de *Meteotube*, al software tal como muestra la Figura 22. La Graciosa cuenta con una velocidad media anual de 6,388 m/s. Además, se puede ver que los meses con más viento son

julio y agosto con velocidades por encima de los 7 m/s. Los meses con menos viento son septiembre, octubre y noviembre con velocidades por debajo de los 6 m/s. La altitud se ha establecido en 20 m sobre el nivel del mar ya que el pueblo está cercano a la costa y los aerogeneradores no se encontrarían situados muy altos, sino que estarían encima de las casas. Las mediciones de la velocidad del viento se han realizado a 58 m sobre el nivel del mar.

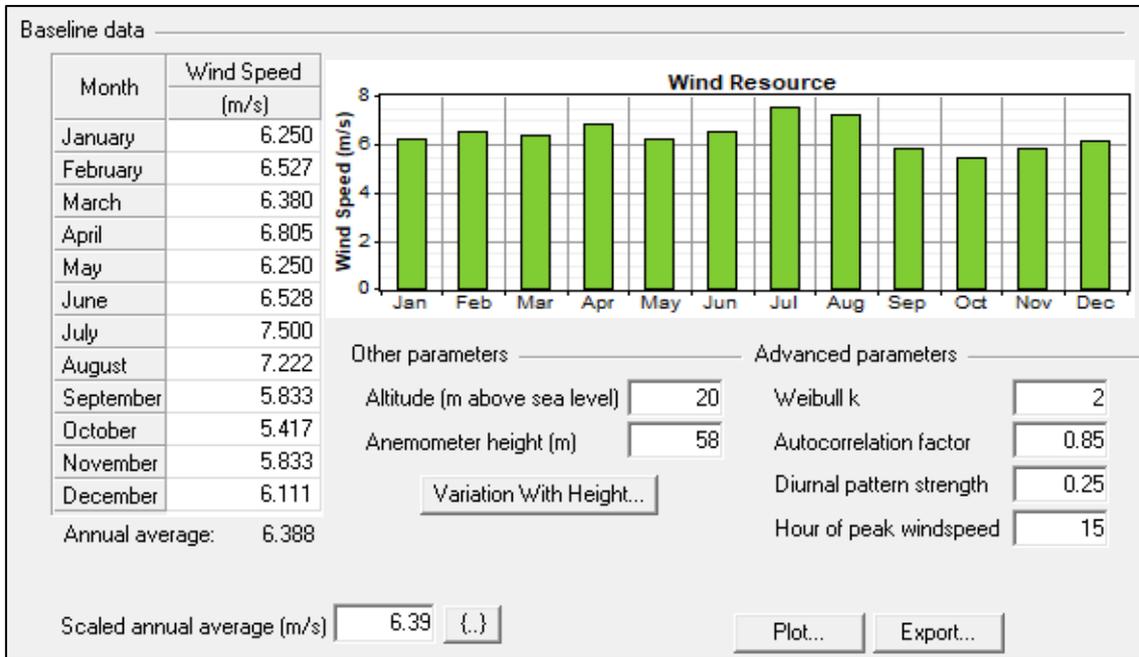
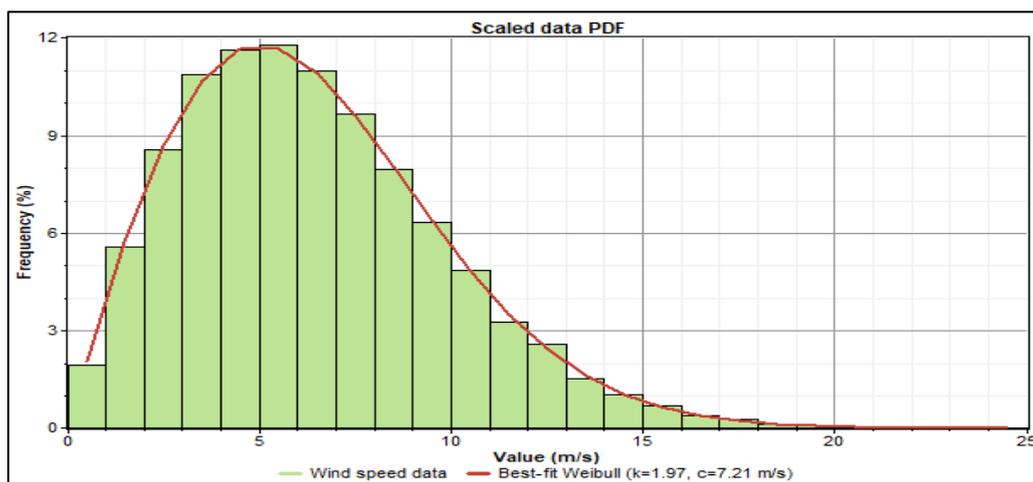


Figura 22. Velocidad del viento media en La Graciosa. Fuente: HOMER

En la Gráfica 25 aparece la distribución de Weibull, esta gráfica permite conocer qué porcentaje del viento es de utilidad a partir de una cierta velocidad mínima para hacer funcionar el aerogenerador.



Gráfica 25. Distribución de Weibull de la velocidad del viento. Fuente: HOMER

6.4 COMPONENTES SELECCIONADOS Y CARACTERÍSTICAS DE LA RED

En este apartado se exponen los diferentes equipos que van a formar parte de la instalación con el objetivo de satisfacer la demanda eléctrica de la isla.

- **PANEL FOTOVOLTAICO**

Para los paneles fotovoltaicos se ha elegido el modelo A-335P GS de la marca Atersa (filial de Elecnor), una empresa española con más de 35 años de experiencia en el sector fotovoltaico.

El panel seleccionado es uno de los más vendidos por la marca por presentar una solución adecuada en términos de potencia, precio, eficiencia y durabilidad. Este panel proporciona una potencia de 335 W, está formado por 72 células de silicio policristalino, es apto para instalaciones de 24 V y su eficiencia es del 17,26%. Los modelos policristalinos presentan en general una menor eficiencia que los monocristalinos, pero como se van a emplear en un clima cálido con altos niveles de radiación durante todo el año se ha optado por seleccionar un modelo policristalino ya que el precio de estos resulta más rentable.

HOMER requiere incluir los costes de la instalación fotovoltaica. El precio de cada panel es de 144 € (Atersa, 2020). Cuando se realiza la inversión a este precio le debemos sumar los costes asociados a la instalación (cableado, estructura, mano de obra y otros). Para la estimación de estos y de los costes de operación y mantenimiento a lo largo del año se ha consultado el *Plan de Energías Renovables 2011-2020* para instalaciones en tejado. Los módulos fotovoltaicos representan el 53,03% del coste total de inversión. Por otro lado, los costes de operación y mantenimiento se sitúan en torno a los 36.100 €/MWp para el año 2020. El coste de remplazo representa solo el coste de los paneles. Cabe destacar que cuanto mayor sea la potencia instalada el coste de remplazo se ve reducido, ya que Atersa dispone en su catálogo de la posibilidad de comprar este modelo en un palet de 25 unidades (8.375 W) donde el precio por unidad disminuye hasta los 110,12 €/unidad, aunque al coste de inversión no se le aplica el descuento.

Tabla 3. Tabla de costes de la instalación fotovoltaica introducidos en HOMER. Fuente: elaboración propia

POTENCIA (kW)	COSTE DE INVERSIÓN (€)	COSTE DE REMPLAZO (€)	COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (€/año)
0,335	272	144	12
8,735	6.789	2.753	315

Como se ha comentado en el apartado referido a la normativa, los paneles fotovoltaicos se instalarían en las cubiertas de las viviendas. Para ello, se ha tenido en cuenta el número máximo de paneles que se podrían instalar ya que el espacio es limitado. Las viviendas típicas de la isla tienen cubierta plana o terraza, lo que supone una ventaja ya que la instalación y el mantenimiento sería más fácil. En la mayoría de casas la superficie disponible de las azoteas o tejados es de unos 70 m², aunque se ha considerado que el espacio aprovechable para las placas sería de un 40% y el total de casas de la isla se ha estimado en 342 casas. Las casas y otros comercios siguen la misma disposición en cuanto al modo de construcción de modo que la mayoría de los edificios están a la misma altura, así las pérdidas por sombra de otros edificios colindantes son menores. Aunque, existen casas con una terraza de menor tamaño, también tenemos que considerar los tejados de los demás edificios, como pueden ser el polideportivo o las tiendas, entre otros, por ello se ha tomado el total de las 342 casas para así aproximar de mejor manera el espacio útil de instalaciones. Como las dimensiones del panel elegido son de

200 × 100 × 6 cm, se podrían instalar un total de unos 4788 paneles (14 paneles por casa), que correspondería con un total de 1603,98 kW. Esto se ha tenido en cuenta en HOMER, de manera que las potencias consideradas a instalar van desde 0 hasta 1100 kW, ya que hay que tener en cuenta que en las terrazas puede haber aerogeneradores, además, se sobredimensionaría la instalación y como se puede ver en el apartado de análisis los valores quedan muy lejanos a los 1100 kW. HOMER añade el coste de estas de manera automática.

Además, debemos de incluir algunas propiedades en HOMER. La duración del panel tiene una vida útil de 25 años. El factor de disminución de potencia tiene en cuenta las pérdidas por suciedad, temperatura u otros agentes externos, este se ha establecido en un 90% por ser un valor típico para estos casos. No dispone de seguidor solar. Y por último se ha establecido la inclinación óptima del panel en 28°C y el ángulo de Azimut en 0°C (inclinación del panel hacia el Sur), datos obtenidos de *PVGIS* (European Commission, 2019).

- **AEROGENERADOR**

A la hora de elegir el aerogenerador se ha tenido en cuenta la normativa a aplicar para la zona de estudio, por lo que se ha tenido que elegir un aerogenerador de pequeña potencia que pudiese ser instalado en los tejados y cubiertas de las casas y de otros edificios.

Finalmente, se ha optado por elegir el modelo elegido es Domus 1kW de la marca Makemu Green Energy. Este aerogenerador es de tipo Darrieus H (turbina eólica de eje vertical) y puede proporcionar como máximo 1 kW de potencia. Su peso es de 12 kg y sus dimensiones de 80 x 80 x 130 cm por lo que al ser pequeño y ligero las estructuras de las casas podrían soportar el peso y ocuparía poco espacio en el tejado. Además, otro aspecto a considerar es el ruido ya que al encontrarse en zona urbana podría generar molestias a los vecinos, pero este modelo se caracteriza por ser bastante silencioso ya que funciona a 60 rpm.



Figura 23. Aerogenerador Domus de la marca Makemu. Fuente: (Makemu Green energy, 2018)

Para la instalación de los aerogeneradores es necesario conocer los costes de inversión, de replazo, y de operación y mantenimiento, al igual que en el punto anterior. el precio de un aerogenerador es de 524 € (Makemu Green energy, 2018), en los costes de inversión también se han considerado los costes de la instalación y del soporte siendo estos menores que el coste del aerogenerador por su sencilla instalación. Los costes de operación y mantenimiento se han estimado de manera que su mantenimiento resulta más caro que los paneles fotovoltaicos. En la Tabla 4 se muestran todos estos costes.

Otros datos a incluir en HOMER son la vida útil del dispositivo la cual es de 20 años y la curva de potencia proporcionada por el fabricante, esta permite saber cuánta potencia genera el aerogenerador a una determinada velocidad del viento. La cantidad de aerogeneradores que se ha considerado en HOMER varía desde 0 aerogeneradores hasta 300. Se ha limitado la instalación máxima de aerogeneradores en 300 ya que como sucedía con los paneles, estos solo pueden instalarse en las terrazas de las casas y además hay que tener en cuenta que se debe dejar espacio libre alrededor de estos. El resto de costes se calculan de manera lineal a partir de los costes de un aerogenerador.

Tabla 4. Tabla de costes del aerogenerador introducidos en HOMER. Fuente: elaboración propia

UNIDADES	COSTE DE INVERSIÓN (€)	COSTE DE REPLAZO (€)	COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (€/año)
1	900	750	60

- **BATERÍAS**

Para las baterías se ha optado por el modelo Surrette 4KS25P de la marca Rolls. Las características de esta batería como la curva de capacidad, la capacidad nominal o la profundidad de descarga se encuentran ya incluidas en HOMER, ya que el programa incluye un listado de diversas baterías de varios fabricantes. Los costes de la batería se especifican en la Tabla 5. En este caso el coste de inversión y de replazo son idénticos porque los costes de la instalación se han considerado en la instalación fotovoltaica, estos se han obtenido del catálogo de productos de la web *Solaris*. El coste de operación y mantenimiento ha sido estimado en 30 €/año

Se ha considerado un amplio abanico de posibilidades con respecto al número de baterías a incorporar en el sistema (valores entre 0 y 300 baterías) para que el software realice diversas iteraciones con distintas posibilidades en el proceso de optimización.

Tabla 5. Tabla de costes de la batería introducidos en HOMER. Fuente: elaboración propia

UNIDADES	COSTE DE INVERSIÓN (€)	COSTE DE REPLAZO (€)	COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (€/año)
1	1.444	1.444	50

- **CONVERTIDOR**

Para transformar la corriente continua producida por las energías renovables en alterna es necesario el uso de inversores. El modelo escogido para ello es el R5-7K-S2 del fabricante SAJ. Se ha optado por este modelo a causa de su alto rendimiento con un precio competitivo. Además, se ha elegido un inversor de conexión a red ya que nuestro sistema estará conectado a la red y a las baterías. Igualmente, se ha comprobado que el regulador admita tanto una tensión de circuito abierto mayor que la tensión de circuito abierto del panel como una corriente máxima mayor a la corriente de cortocircuito del panel.

El coste de la inversión y del replazamiento es de 1215€ (Atersa, 2020), en cuanto al coste de operación y mantenimiento se ha establecido un precio de €/año. En la Tabla 6 aparecen estos precios. Los tamaños que han sido considerados para la simulación van desde los 0 kW hasta los 700 kW.

Además, debemos de incluir algunas propiedades del inversor en HOMER. La vida útil del inversor es de 25 años y su eficiencia es del 98,2%. Cuando actúa como convertidor su capacidad relativa de inversión es del 96% con una eficiencia del 85%.

Tabla 6. Tabla de costes del inversor introducidos en HOMER. Fuente: elaboración propia

POTENCIA (kW)	COSTE DE INVERSIÓN (€)	COSTE DE REPLAZO (€)	COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (€/año)
7	1.215	1.215	30

- **RED ELÉCTRICA**

Actualmente La Graciosa se encuentra conectada a red eléctrica mediante un cable submarino que la conecta con Lanzarote, donde se produce la electricidad. Para definir esta red hay que introducir en HOMER la tarifa de red que posee la isla. Hay que destacar que a pesar de que producir electricidad en Canarias es mucho más caro que en la península los habitantes de las islas no son los que asumen este sobrecoste en sus facturas eléctricas, sino que estos se reparten entre todos los ciudadanos españoles. La red eléctrica se encargará de satisfacer la demanda eléctrica cuando las energías renovables no produzcan energía.

La empresa distribuidora en las Islas Canarias es Endesa. Por lo que para conocer el precio de la energía y de potenciarse han consultado las diferentes tarifas que ofrece Endesa. Finalmente se ha optado por seleccionar la tarifa *One Luz* (tarifa 2.0A), la cual establece un precio único para todas las horas del día. Se ha descartado la tarifa que proporciona dos precios, uno para las horas valle y otro para las horas punta, porque al realizar la simulación resultaba más caro. En la Tabla 7 se muestran los precios de la tarifa en la que se ha tenido en cuenta el impuesto de electricidad (5,11269632%). Pero el IGIC (Impuesto General Indirecto Canario) no se ha añadido ya que como indica Endesa este es de un 0% para las viviendas con potencia menor o igual a 10kW (en este caso de estudio la mayoría de edificios tienen menos de 10 kW), y para el resto de un 3%. Además, en este caso no se ha tenido en cuenta la posibilidad de vender energía a la red (retorno).

Tabla 7. Tabla de precios de la tarifa introducida en HOMER. Fuente: elaboración propia

TARIFA	PRECIO COMPRA DE ENERGÍA (€/kWh)	RETORNO (€/kWh)	TÉRMINO DE POTENCIA (€/kWh/mes)
One Luz	0,126	0	3,605

HOMER permite considerar las emisiones que genera la red eléctrica ya que el 80% de la producción de electricidad en Lanzarote se genera mediante motores diésel, el resto corresponde a energía eólica y fotovoltaica (Red eléctrica de España, 2020). *Red eléctrica de España* permite acceder a través de su página web a cualquier sistema eléctrico de España y consultar su demanda eléctrica en tiempo real y el porcentaje de renovables que están operando. Al acceder al sistema de Lanzarote se puede ver que las emisiones de CO₂ generadas son de un 0,556 ton CO₂ eq/MWh (556 g/kWh). En cuanto a las opciones avanzadas que considera HOMER se ha establecido el gasto fijo anual (considera el alquiler de los equipos de medida) 9,72 €/año.

6.5 OTRAS CONSIDERACIONES

Una vez determinados todos los elementos, recursos y cargas de nuestro añadimos al programa los datos económicos y sociales antes de realizar la simulación.

- **DATOS ECONÓMICOS**

HOMER tiene la posibilidad de introducir algunas variables económicas y la vida útil de la instalación, estos datos se pueden ver en la Figura 24.

Tasa de interés anual (%)	Annual real interest rate (%)	<input type="text" value="7.05"/>	{.}
Vida útil esperada (años)	Project lifetime (years)	<input type="text" value="25"/>	{.}
Capital fijo (€)	System fixed capital cost (\$)	<input type="text" value="3000"/>	{.}
Costes fijos de op. y mant. (€/año)	System fixed O&M cost (\$/yr)	<input type="text" value="1000"/>	{.}
Penalización por falta de capacidad (€/kWh)	Capacity shortage penalty (\$/kWh)	<input type="text" value="0"/>	{.}

Figura 24. Factores económicos añadidos en HOMER. Fuente: HOMER

El capital fijo considera costes independientes del tamaño del sistema relacionados con operaciones logísticas y administrativas o la construcción civil. Por otro lado, la tasa de interés anual es el tipo de interés que indica el rendimiento efectivo del proyecto, es decir, el porcentaje de rentabilidad de la inversión. Esta se calcula mediante la Ecuación 4:

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (4)$$

Ecuación 4. Cálculo de la tasa de descuento real. Fuente: HOMER

Donde:

i : tasa de descuento real

i' : tasa de descuento nominal

f : tasa de inflación esperada

Para la tasa de descuento nominal (i') se ha tomado el valor que fija el *Plan de Energías Renovables 2011-2020* para la ejecución de proyectos de energías renovables, el cual resulta ser de un 7,8%. Para la tasa de inflación esperada (f) se ha tomado el valor de la inflación media en 2019, que fue de un 0,70%. Por lo tanto, después de realizar los cálculos se ha obtenido que la tasa de descuento real es de un 7,05%.

- **EMISIONES**

Al igual que ocurre en las industrias las emisiones por agentes contaminantes son penalizadas por el gobierno. Se ha considera una penalización de 26,38 €/ton para las emisiones de CO₂ (Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias, 2019).

- **RESTRICCIONES**

Las restricciones indican las condiciones que debe cumplir el sistema. HOMER descarta aquellos sistemas que no las cumplen, de manera que no aparecerán en el resultado de optimización. Como la zona de estudio es un lugar turístico de España se ha considerado como

restricción el abastecimiento del 100% de la demanda y como mínimo se ha considerado un 32% de penetración de energías renovables para cumplir con los objetivos fijados por la Unión Europea.

Máxima capacidad anual de escasez (%)	Maximum annual capacity shortage (%)	<input type="text" value="0"/>	{ }
Mínima fracción de renovables (%)	Minimum renewable fraction (%)	<input type="text" value="32"/>	{ }

Figura 25. Restricciones añadidas en HOMER. Fuente: HOMER

Con todos esto ya se tienen suficientes datos de entrada para simular el sistema y realizar el análisis de las diferentes configuraciones.

CAPÍTULO 7. ANÁLISIS

7.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN Y RESTRICCIONES

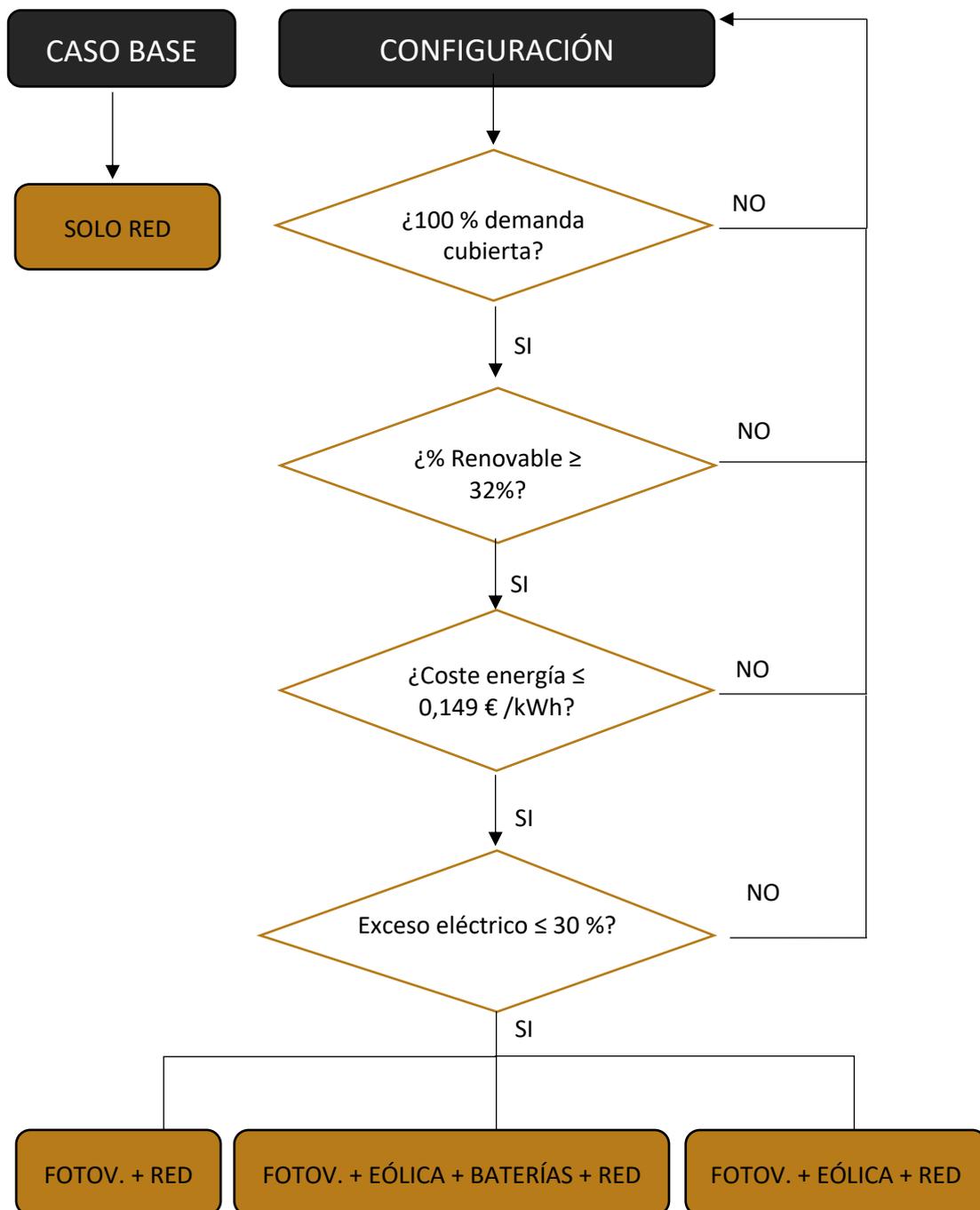
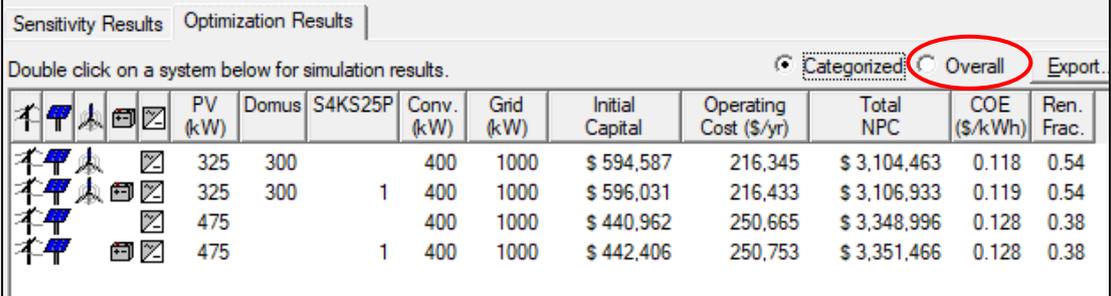


Figura 26. Metodología seguida en HOMER para la selección de las configuraciones. Fuente: elaboración propia

Una vez introducidos los datos necesarios, HOMER realiza la simulación y ofrece como resultados las configuraciones óptimas de la Figura 27, pero el criterio de selección de HOMER no coincide con el que se ha considerado en este caso. El software toma como solución óptima la más barata. Por lo tanto, en este caso de estudio, se han analizado las configuraciones resultantes en la pestaña donde aparecen todas las simulaciones (*overall*).



		PV (kW)	Domus	S4KS25P	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
		325	300		400	1000	\$ 594,587	216,345	\$ 3,104,463	0.118	0.54
		325	300	1	400	1000	\$ 596,031	216,433	\$ 3,106,933	0.119	0.54
		475			400	1000	\$ 440,962	250,665	\$ 3,348,996	0.128	0.38
		475		1	400	1000	\$ 442,406	250,753	\$ 3,351,466	0.128	0.38

Figura 27. Interfaz del programa con las configuraciones óptimas según HOMER. Fuente: HOMER

La configuración de emplear la eólica sola con la red se ha descartado, ya que es una tecnología que va a utilizar aerogeneradores de poca potencia y para que resulte eficiente necesita velocidades del viento adecuadas. Al observar las configuraciones con baterías se puede ver que HOMER toma el mínimo número y al observarlas se encuentra que estas no se cargan ni se descargan en ningún momento, esto es porque HOMER toma todo de la red por ser más barato. Para poder analizar el caso del uso de baterías se ha configurado la red de manera que de esta sea como máximo de 350 kW, en los otros casos se considera que esta es infinita (1.000 kW). Una vez hecho este análisis se concluye que las baterías solo resultan rentables cuando se instalan combinando la fotovoltaica con eólica, pero no con una sola fuente renovable.

Una vez se ha accedido a la pestaña *overall* (total) aparecen numerosas soluciones. Por lo cual, para poder descartar soluciones y obtener las más adecuadas en base a criterios propios se ha seguido el árbol de decisión de la Figura 26. Por ello se deben de cumplir todas estas restricciones de manera simultánea:

- Cubrir el 100 % de la demanda, de forma que se garantice la electricidad en todo momento para satisfacer las necesidades de los turistas y habitantes.
- Maximizar el porcentaje de renovables, pero sin sobrepasar el coste de la electricidad (COE) de la configuración base en la que solo aparece la red y tiene un COE de 0.149 €/kWh. Además, ese porcentaje de renovables debe ser como mínimo de un 32 % para así cumplir con los diferentes acuerdos fijados por la Unión Europea para el año 2030 (Comisión Europea, 2020).
- Exceso eléctrico máximo del 30 %. El exceso no se aprovecharía, ya que no se vierten a la red los excedentes, es por ello que no interesa sobredimensionar la instalación. Además, si en un futuro aumenta la demanda turística, todavía quedaría espacio disponible en los tejados de los edificios para así ampliar la generación eléctrica. En cualquier caso, se intentará tomar configuraciones con el menor exceso posible y sobredimensionar lo mínimo, ya que la demanda cambia considerablemente dependiendo de la temporada turística

Para cada configuración se han analizado los parámetros técnicos, económicos y medioambientales. Si hay exceso de electricidad, se ha estudiado en qué momentos ocurre. También, resulta interesante examinar cómo se comporta el sistema en las horas pico (490 kW), las diferencias entre los meses de temporada alta y baja, y cuánto cubre cada tecnología en cada sistema.

7.2 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

A la hora de comparar las diferentes configuraciones se deben de tener en cuenta los siguientes aspectos técnicos y económicos:

PARÁMETROS TÉCNICOS Y MEDIOAMBIENTALES

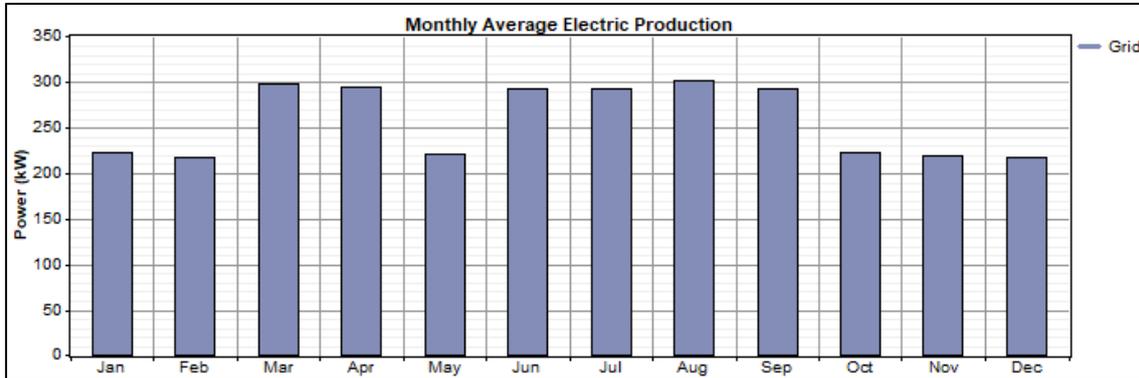
- **Fracción de renovables (%):** porcentaje anual de aportación por las energías renovables sobre el total de la producción. Cuanto más elevado sea nuestro sistema dependerá en menor medida de los combustibles fósiles.
- **Exceso eléctrico (%):** energía eléctrica producida pero que no será consumida. Esto ocurre cuando la producción de electricidad es superior a la energía demandada y las baterías no tienen la capacidad de almacenar esa energía sobrante. Este porcentaje debe representar lo mínimo posible ya que si no estaríamos desaprovechando energía.
- **Emisiones CO₂ (kg/año):** gases contaminantes emitidos a la atmósfera.
- **Demanda no cubierta (%):** representa el porcentaje anual de demanda que no será cubierta por el sistema. Este parámetro debe minimizarse lo máximo posible para así evitar cortes de electricidad. Este parámetro tiene un valor del 0% en todas las configuraciones ya que al ser un sitio turístico se requiere que se cubra toda la demanda.

PARÁMETROS ECONÓMICOS

- **Inversión inicial (€):** cantidad de dinero desembolsada al inicio para poder poner en funcionamiento el sistema.
- **Coste actual neto (CAN) o NPC (en inglés), (€):** se emplea para conocer el valor económico actual del sistema. Se obtiene sumando los costes de la inversión inicial y los de operación y mantenimiento y restando a estos los ingresos. La configuración con menor CAN será la más rentable puesto que sus costes serán menores.
- **Coste de la energía o COE (en inglés), (€/kWh):** representa el coste promedio por kWh de energía eléctrica producida por el sistema. El COE es proporcional al NPC.
- **Costes de operación (€/año):** El coste de operación y mantenimiento de un componente es el costo asociado con la operación y el mantenimiento de ese componente. Atendiendo a la red este se refiere al coste de comprar energía de la red. A la hora de calcular estos costes del sistema HOMER añade las multas referidas a las emisiones.
- **Retorno de la inversión:** indica el tiempo, en años, que se tardaría en amortizar la instalación seleccionada. Para ello, se han comparado las configuraciones con la instalación de solo red.
- **Valor actual:** se calcula como la diferencia entre el VAN del caso base y del sistema a analizar. Si este es positivo indica que el sistema analizado ahorra dinero durante la vida útil del proyecto en comparación con el sistema del caso base.

7.3 CONFIGURACIÓN 1 – CASO BASE: SOLO RED

Este es el escenario base con el cual compararemos el resto de las configuraciones. Así podemos comparar los datos de las diferentes configuraciones con diferentes parámetros como el coste de la energía o el retorno de la inversión. Como se puede ver en la Gráfica 26, la aportación total corresponde a la red. La conexión eléctrica llega a La Graciosa a través de un cable submarino.



Gráfica 26. Producción eléctrica mensual de la configuración 1. Fuente: HOMER

Los diferentes parámetros técnicos y económicos que nos han servido de base para comparar con el resto de configuraciones se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis tecno - económico de la configuración 1. Fuente: elaboración propia

CONFIGURACIÓN 1: RED		
PARÁMETROS TÉCNICOS - MEDIOAMBIENTALES		
Fracción renovables	Exceso eléctrico	Emisiones CO ₂
0 %	0 %	1.225.558 kg/año
PARÁMETROS ECONÓMICOS		
Inversión	Coste Actual Neto (CAN)	Coste de electricidad (COE)
0 €	3.906.226 €	0,149 €/kWh
Costes de operación	Retorno de la inversión	Valor actual
336.706 €/año	-	-

Como la instalación está solo constituida por la red la fracción de renovables producida es del 0 %. Como esta ya se encuentra construida y no hay que realizar una inversión inicial las propiedades económicas en HOMER se han cambiado. Así, el capital fijo se ha establecido en 0 €. El precio del kWh por energía producida es de 0,149 €/kWh. El precio de la electricidad medio en España para 2019 fue de 0,239 €/kWh, con impuestos incluidos, (Eurostat, 2019). Pero cabe recordad que con motivo de los impuestos canarios (entre 0% y 3%) los canarios pagan menos que los residentes en la península donde se aplica el IVA del 21%, además el precio de la electricidad es cambiante de unos años a otros. Como se ha comentado anteriormente, la tarifa

elegida tiene un precio constante, de este modo todas las horas cuestan igual incluidas las horas pico.

La principal desventaja son las emisiones contaminantes. Estas emisiones de CO₂ se producen porque en Lanzarote, el 80% de la producción eléctrica se genera mediante motores diésel, el resto corresponde a energía eólica y fotovoltaica. Para comparar las emisiones generadas (1.225.558 kg/año) y así tener un orden de magnitud se toma como ejemplo las emisiones que genera un coche que produce 160g de CO₂/km. Un coche de media al año recorre 12.266km (DGT, 2017), por lo que en un año un coche emite 1.963 kg de CO₂/año. Así pues, 640 coches emiten lo mismo que la red al año.

Una de las grandes ventajas es que el exceso eléctrico es nulo, de modo que toda la energía que se obtiene de la red es aprovechada y se cubre toda la demanda. Como se puede ver en la Figura 28, la curva de la demanda es idéntica a la curva de la red, de modo que la red eléctrica es quién a porta el suministro en todo momento.

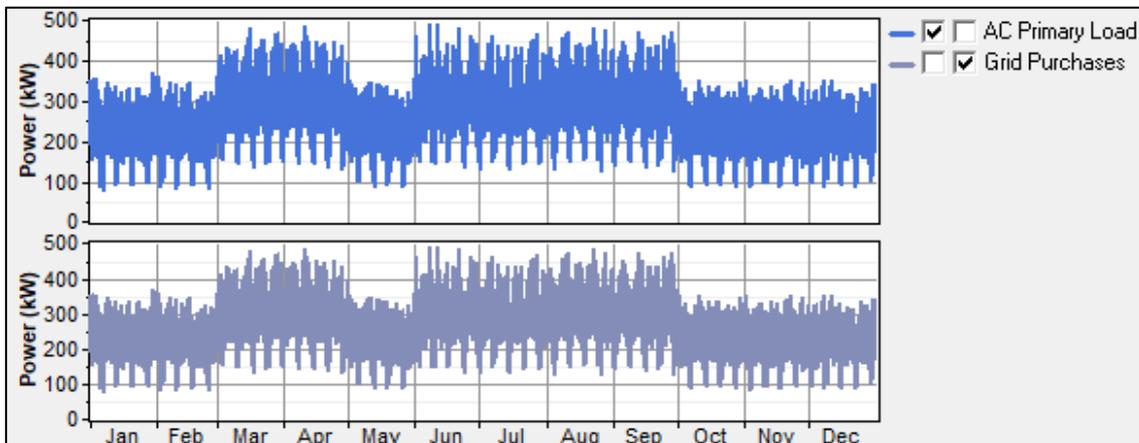
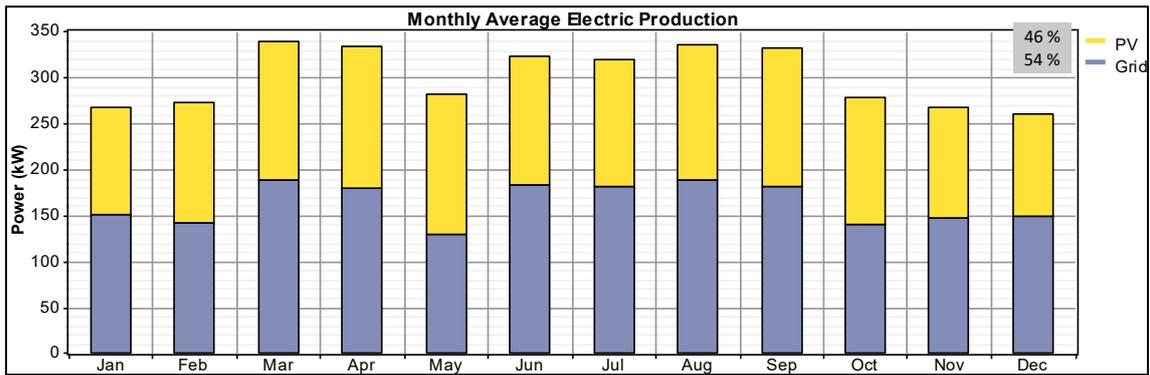


Figura 28. Análisis de la demanda y el aporte de la red en la configuración 1. Fuente: HOMER

7.4 CONFIGURACIÓN 2: RED Y FOTOVOLTAICA

Esta configuración únicamente contempla la energía fotovoltaica para la generación de electricidad mediante energías renovables. Se recuerda que es espacio disponible permite instalar un total de 1.603 kW de fotovoltaica, como máximo. La Gráfica 27 muestra la contribución de cada fuente. De esta manera, el sistema se compondría de los siguientes equipos:

- Red eléctrica.
- Instalación solar fotovoltaica de 610 kW (1.821 paneles, 38% de la capacidad máxima).
- Inversor de 400 kW.



Gráfica 27. Contribución mensual de cada fuente en la configuración 2. Fuente: HOMER

En la siguiente tabla aparecen los resultados del análisis con sus correspondientes parámetros técnicos, ambientales y económicos:

Tabla 9. Tabla de parámetros técnicos, ambientales y económicos de la Configuración 2. Fuente: elaboración propia

CONFIGURACIÓN 2: RED Y FOTOVOLTAICA		
PARÁMETROS TÉCNICOS - MEDIOAMBIENTALES		
Fracción renovables	Exceso eléctrico	Emisiones CO ₂
46 %	13,8 %	796.442 kg/año - ↓ 35 %
PARÁMETROS ECONÓMICOS		
Inversión	Coste Actual Neto (CAN)	Coste de electricidad (COE)
545.699 €	3.379.424 € - ↓ 13 %	0,129 €/kWh - ↓ 13 %
Costes de operación	Retorno de la inversión	Valor actual
244.260 €/año - ↓ 27 %	7,85 años	529.803 €

Tal como muestra la tabla, el porcentaje de exceso eléctrico es del 13,8 % lo cual entra dentro de los criterios fijados. Por otro lado, al introducir una gran fracción de renovables se reducen las emisiones en un 35 % y los costes por kWh en un 13 %. Otro dato importante es el retorno de la inversión, el cual se ha considerado que es un valor razonable, ya que de media el desembolso en instalaciones solares se recupera a los 7 años. En la siguiente figura se puede ver cómo se reparten los costes. De esta manera se ha analizado que a pesar de que se realiza una gran inversión en la fotovoltaica, los costes de compra a la red (O&M) son mucho mayores:

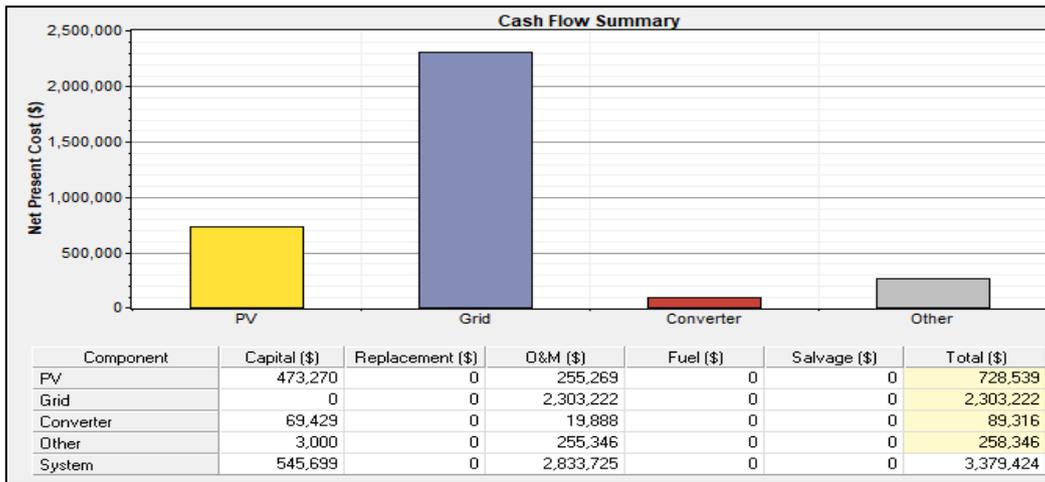
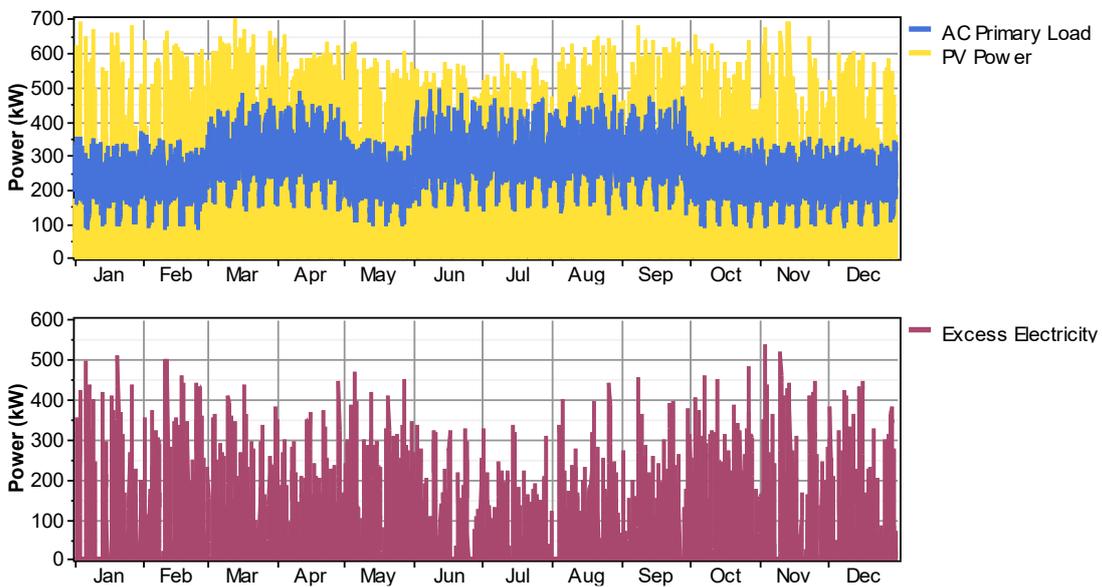


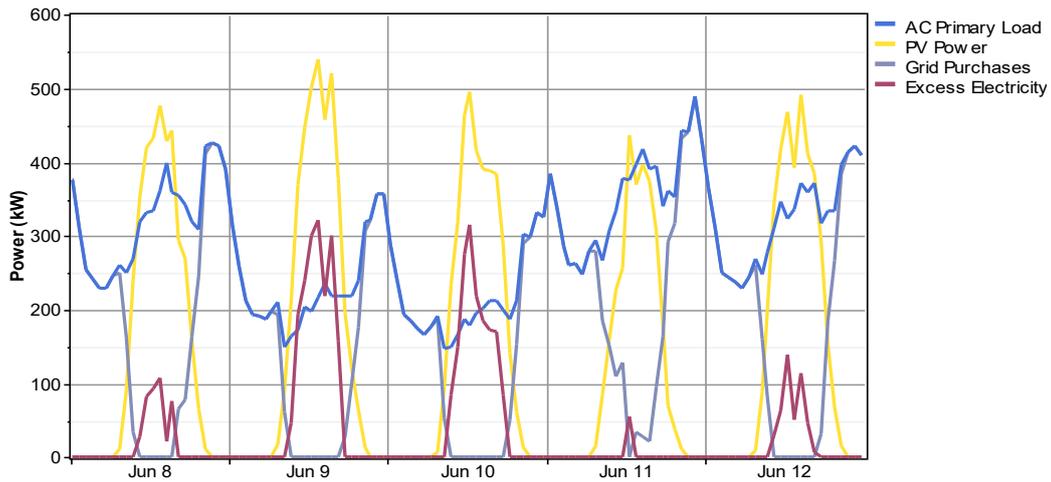
Figura 29. Costes por equipos de la alternativa 2. Fuente: HOMER

Como podemos ver en la Gráfica 28 el exceso eléctrico es menor en los meses de junio y julio debido a que la demanda es mayor por ser temporada alta y por lo tanto la llegada de turistas conlleva este aumento de la demanda. Conviene especificar que, a pesar de que marzo y abril son también meses de temporada alta, en estos el exceso de electricidad no disminuye tanto ya que la producción fotovoltaica es mayor. Por otro lado, en vista de algunos meses de temporada baja, como enero, noviembre o diciembre, estos tienen algunos días con exceso de electricidad nulo. En este caso, se debe a que la radiación solar en estos meses es menos regular y hay más días con menor radiación.



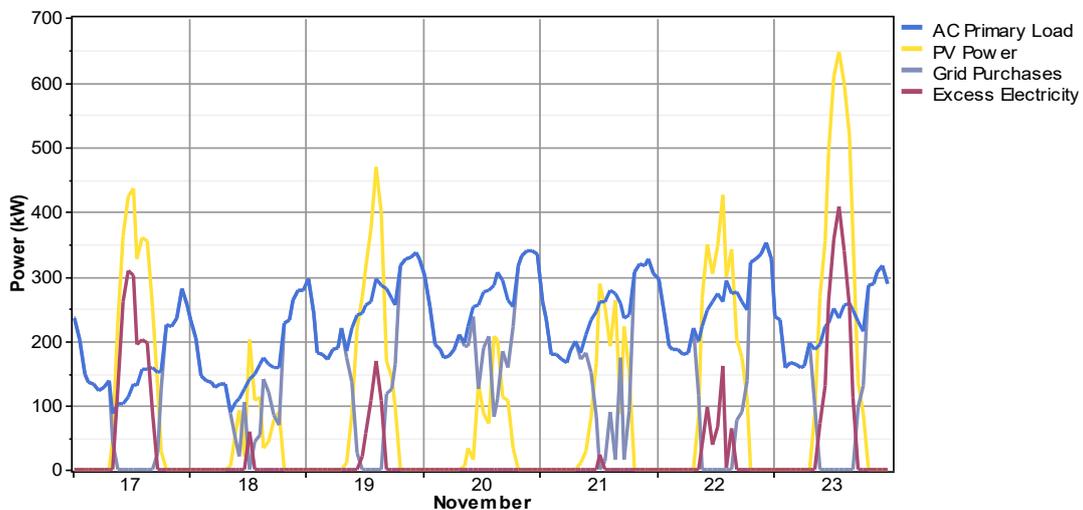
Gráfica 28. Análisis de la producción, demanda y exceso eléctrico de la configuración 2. Fuente: HOMER

A continuación, se muestran gráficas de días concretos para analizar el comportamiento:



Gráfica 29. Comportamiento eléctrico de la configuración 2 en junio. Fuente: HOMER

A la hora de analizar cómo se comporta esta configuración en las horas pico se toman los días del 8 al 12 de junio. En el día 11 aparece una hora pico (490 W), como esta sucede cuando la fotovoltaica no produce se cubrirá con la red, de esta manera siempre quedará cubierta. Los días 9 y 10 son días de fin de semana, ya que los días 8,11 y 12 presentan una mayor demanda, y como se ha comentado anteriormente los días laborables tiene una mayor carga eléctrica. Esto también se ve evidenciado en el exceso eléctrico, siendo mayor los fines de semana por la razón comentada. Otro momento del día con gran consumo sucede en las horas centrales del día, abasteciéndose de energía renovables, de modo que en esos momentos el exceso de electricidad disminuye.



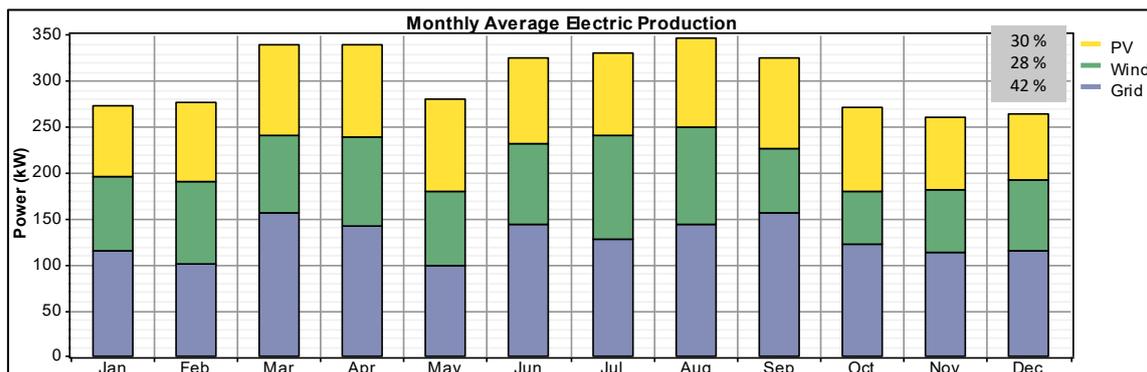
Gráfica 30. Comportamiento eléctrico de la configuración 2 en noviembre. Fuente: HOMER

Por otro lado, si analizamos el mes de noviembre (temporada baja) donde la radiación solar es menos constante y hay más días con menor radiación, se puede observar en la Gráfica 30 que algunos días, como el 20, necesitan alimentarse de la red en las horas de sol ya que la producción de fotovoltaica no es suficiente. Pero otras veces, como el día 23, la producción de fotovoltaica es muy elevada.

7.5 CONFIGURACIÓN 3: RED, FOTOVOLTAICA Y EÓLICA

Esta configuración combina la energía fotovoltaica y la eólica con la red. En la Gráfica 31 se puede ver la contribución de cada fuente de energía para cada mes. Así, el sistema se compondría de los siguientes equipos:

- Red eléctrica.
- Instalación solar fotovoltaica de 400 kW (1.195 paneles, 25% de la capacidad máxima).
- 300 aerogeneradores.
- Inversor de 400 kW.



Gráfica 31. Contribución mensual de cada fuente en la configuración 3. Fuente: HOMER

En la siguiente tabla aparecen los resultados del análisis con sus correspondientes parámetros técnicos, ambientales y económicos:

Tabla 10. Tabla de parámetros técnicos, ambientales y económicos de la Configuración 3. Fuente: elaboración propia

CONFIGURACIÓN 3: RED, FOTOVOLTAICA Y EÓLICA		
PARÁMETROS TÉCNICOS - MEDIOAMBIENTALES		
Fracción renovables	Exceso eléctrico	Emisiones CO ₂
58 %	14 %	622.885 kg/año - ↓ 49 %
PARÁMETROS ECONÓMICOS		
Inversión	Coste Actual Neto (CAN)	Coste de electricidad (COE)
652.774 €	3.118.053 € - ↓ 20 %	0,119 €/kWh - ↓ 20 %
Costes de operación	Retorno de la inversión	Valor actual
212.501 €/año - ↓ 37 %	6,61 años	791.174 €

Tal como muestra la tabla, el porcentaje de exceso eléctrico es del 14 % un exceso similar al caso anterior, pero con un porcentaje de renovables mayor. El retorno de la inversión también disminuye. En la siguiente figura se puede ver cómo se reparten los costes. A pesar de que los costes entre fotovoltaica y eólica son parecidos, la fotovoltaica contribuye en mayor porcentaje a la producción y los aerogeneradores se deberían replazar. La red sigue siendo el coste más elevado, pero se ha reducido respecto al caso anterior, debido al aumento de la fracción de renovables en un 12 %.

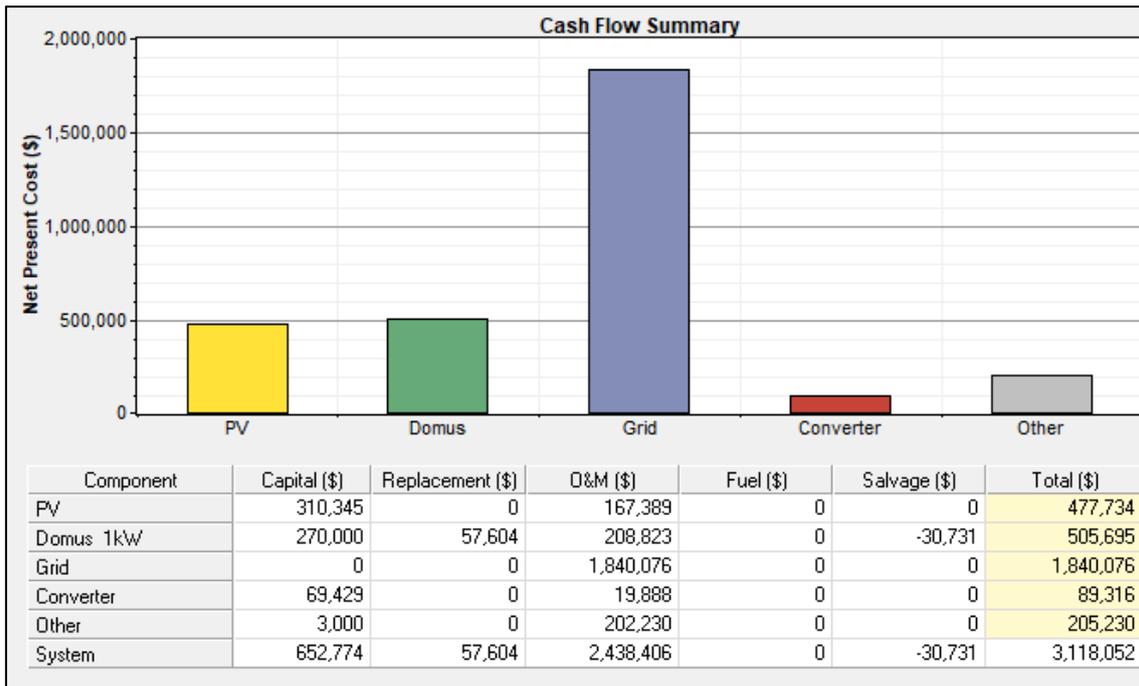
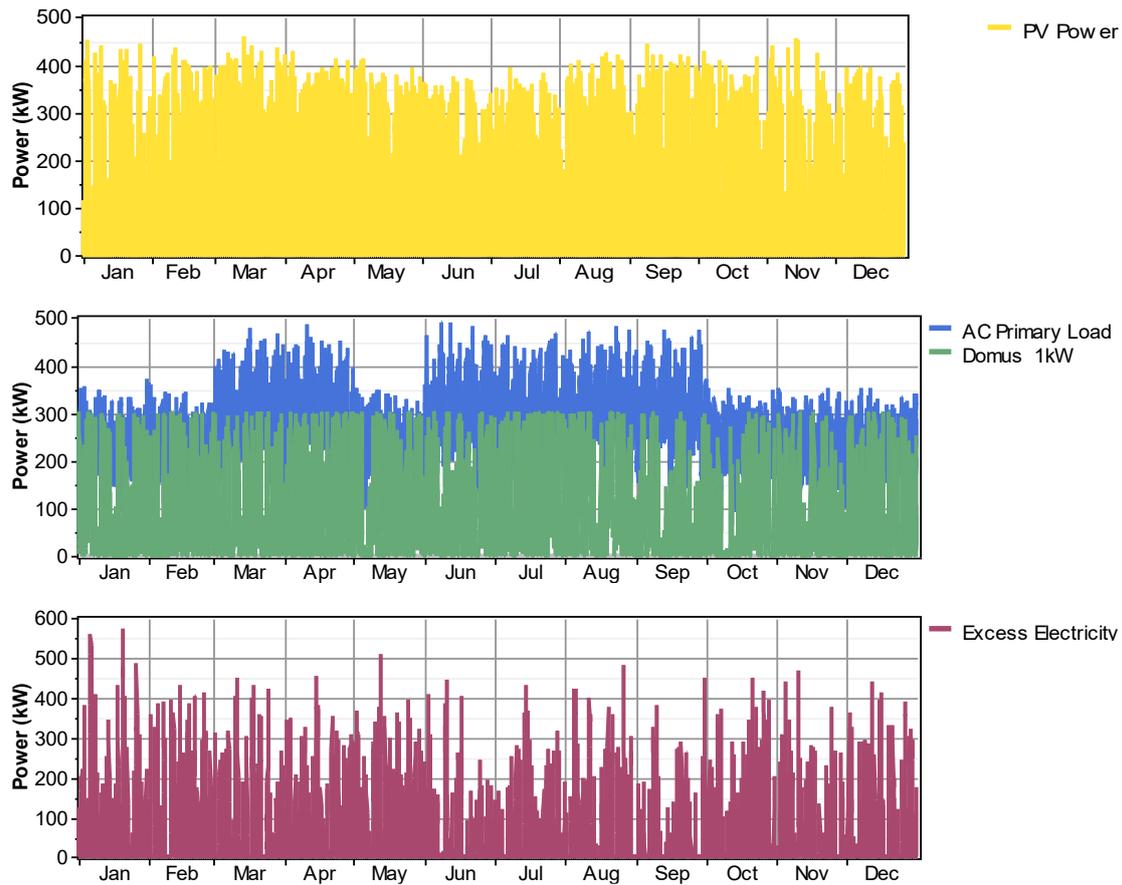


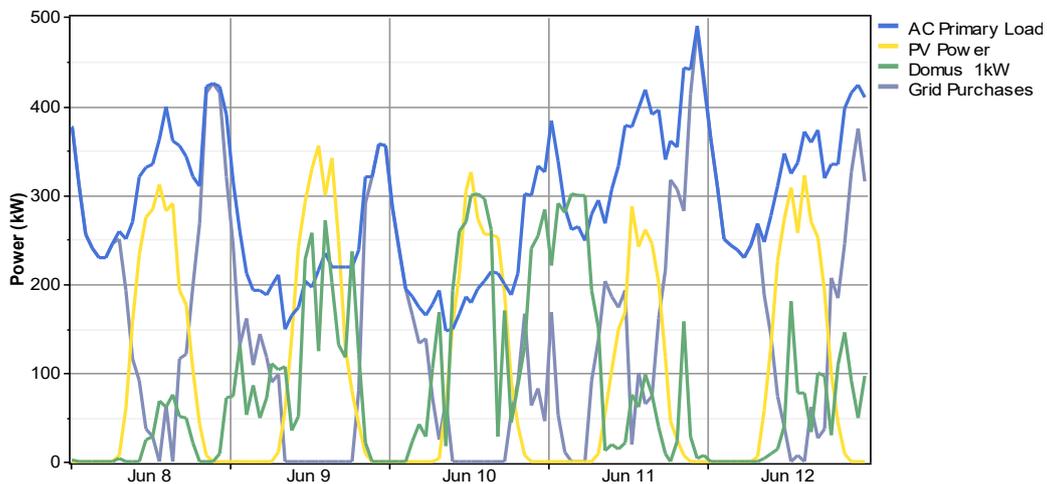
Figura 30. Costes por equipos de la alternativa 3. Fuente: HOMER

Como podemos ver en las siguientes gráficas la producción de energía fotovoltaica es menor que la configuración anterior, esto es porque se ha disminuido la potencia de instalación en 210 kW. Al igual que sucedía en el caso anterior la radiación solar en algunos meses de temporada baja como enero, noviembre o diciembre, la producción es menos regular y hay más días con menor radiación. Por otro lado, los meses en los que la producción eólica varía menos son julio y agosto, los cuales corresponden a los meses con mayores velocidades del viento. El porcentaje de exceso eléctrico (14 %) es similar al caso anterior (13,8 %) pero ahora con el aporte de la eólica este se encuentra más distribuido, hay meses como marzo o abril que antes tenían menos días con poco exceso. Ahora septiembre es uno de los meses con menor exceso, esto es debido a la disminución de producción eólica y que la demanda corresponde a un mes de temporada alta.



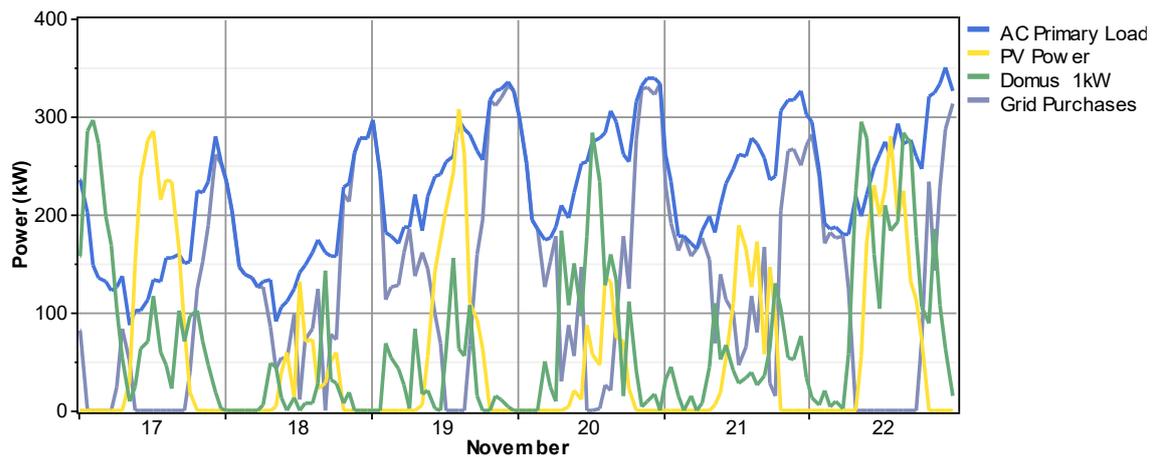
Gráfica 32. Análisis de la producción, demanda y exceso eléctrico de la configuración 3. Fuente: HOMER

A continuación, se muestran días concretos para analizar su comportamiento:



Gráfica 33. Comportamiento eléctrico de la configuración 3 en junio. Fuente: HOMER

Como en el caso anterior, se ha analizado cómo se comporta en las horas pico y para ello se toman los mismos días que en la configuración 2. En el día 11 aparece la hora pico, como esta sucede cuando la fotovoltaica y la eólica no producen se cubrirá con la red. Ahora hay días, como el 10, que en la noche también se alimentan de energía renovable lo que supone un menor consumo de la red y de esta manera las bicicletas eléctricas de los turistas se cargarían con energía limpia. El exceso eléctrico solo es notable los fines de semana por menor consumo.



Gráfica 34. Comportamiento eléctrico de la configuración 3 en noviembre. Fuente: HOMER

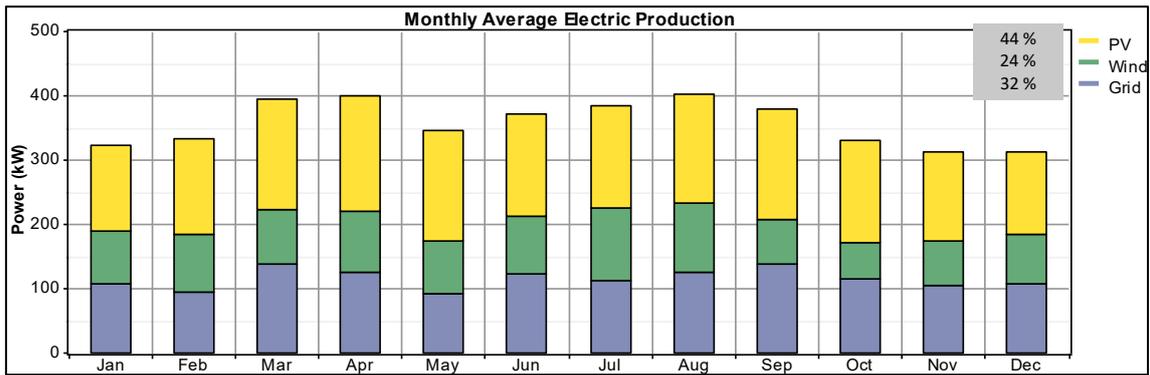
Por otro lado, analizando el mes de noviembre (temporada baja) donde la radiación solar es menos constante y hay más días con menor radiación, se puede observar en la Gráfica 34 que ahora durante las horas del día se toma electricidad de la eólica ya que con la configuración anterior algunos días, como el 20, necesitaban alimentarse de la red en las horas de sol ya que la producción de fotovoltaica no era suficiente. Pero otras veces, como el día 22, tanto la producción de eólica y fotovoltaica son muy elevadas y se produce gran exceso.

7.6 CONFIGURACIÓN 4: RED, FOTOVOLTAICA, EÓLICA Y BATERÍAS

Esta configuración añade baterías a la configuración anterior. El añadir baterías supone una menor dependencia del suministro de la red eléctrica de manera que la mayor parte de la demanda sea satisfecha por la instalación. Aunque, hay que tener en cuenta que la implantación de baterías encarece la inversión. Pero según los criterios fijados anteriormente esta configuración no superará el coste de electricidad de la configuración de solo red. Por otro lado, las baterías también pueden ser útiles ante cortes de luz, ya que, si hay un corte de red producido por algún fallo, en este caso el arreglo de la red puede demorarse debido a que la isla se encuentra aislada. Así, en la actualidad, cuando se producen cortes de red, la isla dispone de un generador diésel. De esta manera se podrían combinar las baterías con el generador de manera que se minimizaría el empleo del generador y se continuaría consumiendo energía limpia.

La Gráfica 35 señala la contribución de cada fuente. De esta manera, el sistema se compondría de los siguientes equipos:

- Red eléctrica.
- Instalación solar fotovoltaica de 700 kW (2.090 paneles, 43,6 % de la capacidad máxima).
- 300 aerogeneradores.
- 200 baterías.
- Inversor de 600 kW.



Gráfica 35. Contribución mensual de cada fuente en la configuración 4. Fuente: HOMER

En la siguiente tabla aparecen los resultados del análisis con sus correspondientes parámetros técnicos y económicos:

Tabla 11. Tabla de parámetros técnicos, ambientales y económicos de la Configuración 4. Fuente: elaboración propia

CONFIGURACIÓN 4: RED, FOTOVOLTAICA, EÓLICA Y BATERÍAS		
PARÁMETROS TÉCNICOS - AMBIENTALES		
Fracción renovables	Exceso eléctrico	Emisiones CO ₂
68 %	27,1 %	563.341kg/año - ↓ 54 %
PARÁMETROS ECONÓMICOS		
Inversión	Coste Actual Neto (CAN)	Coste de electricidad (COE)
1.209.038 €	3.858.315 € - ↓ 1,2 %	0,147 €/kWh - ↓ 1,3 %
Costes de operación	Retorno de la inversión	Valor actual
228.361 €/año - ↓ 32 %	24,5 años	50.912 €

Tal como muestra la tabla, el porcentaje de exceso eléctrico es del 27,1 %, este aumenta por la mayor instalación de renovables. Por otro lado, al introducir una gran fracción de renovables se reducen las emisiones en más de la mitad. Hay que tener en cuenta que las baterías deben de remplazarse a los 12 años ya que pierden eficacia, y al desecharlas son contaminantes, además al introducir las baterías la inversión inicial aumenta considerablemente esto se puede ver en la siguiente figura.

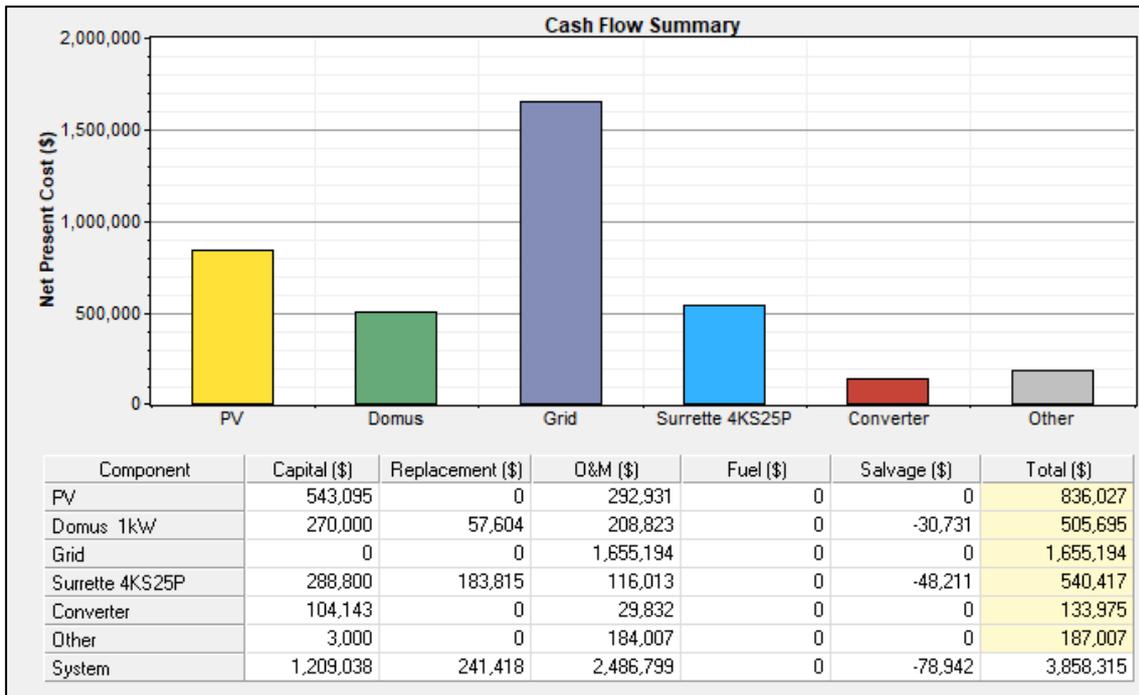
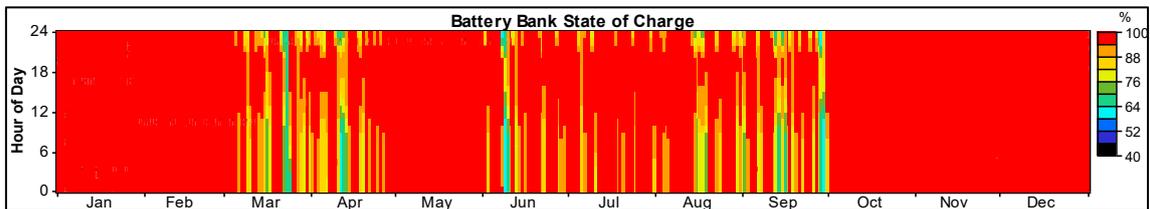


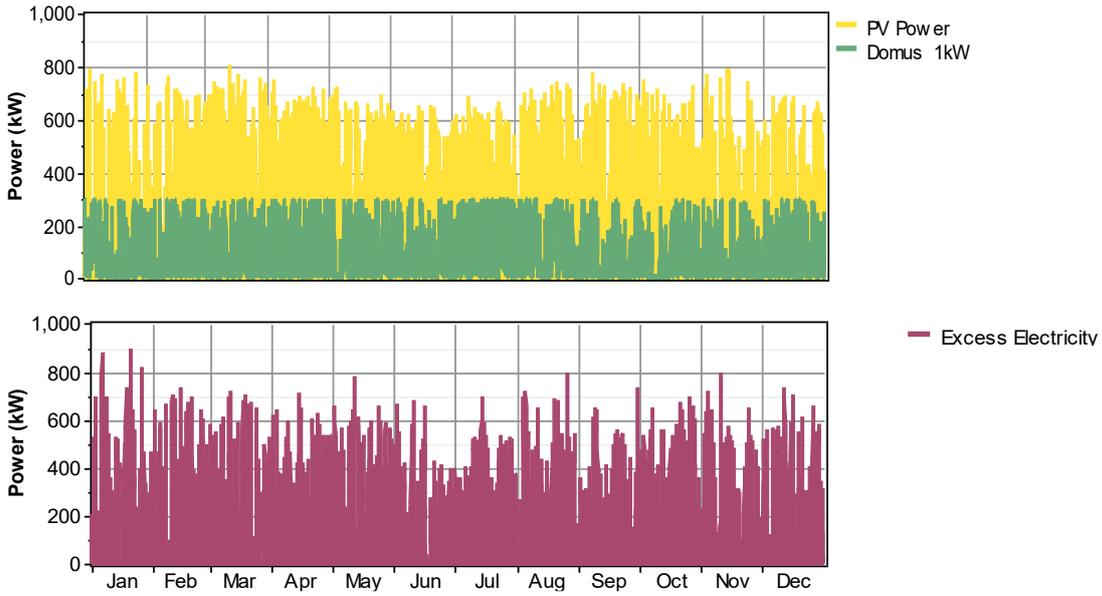
Figura 31. Costes por equipos de la alternativa 4. Fuente: HOMER

En la siguiente figura podemos ver los momentos en los que se descargan las baterías, es decir, los momentos en los que se consume energía de ellas. Esto sucede en los meses de temporada alta, ya que al ser la demanda mayor se requiere de su aprovechamiento.



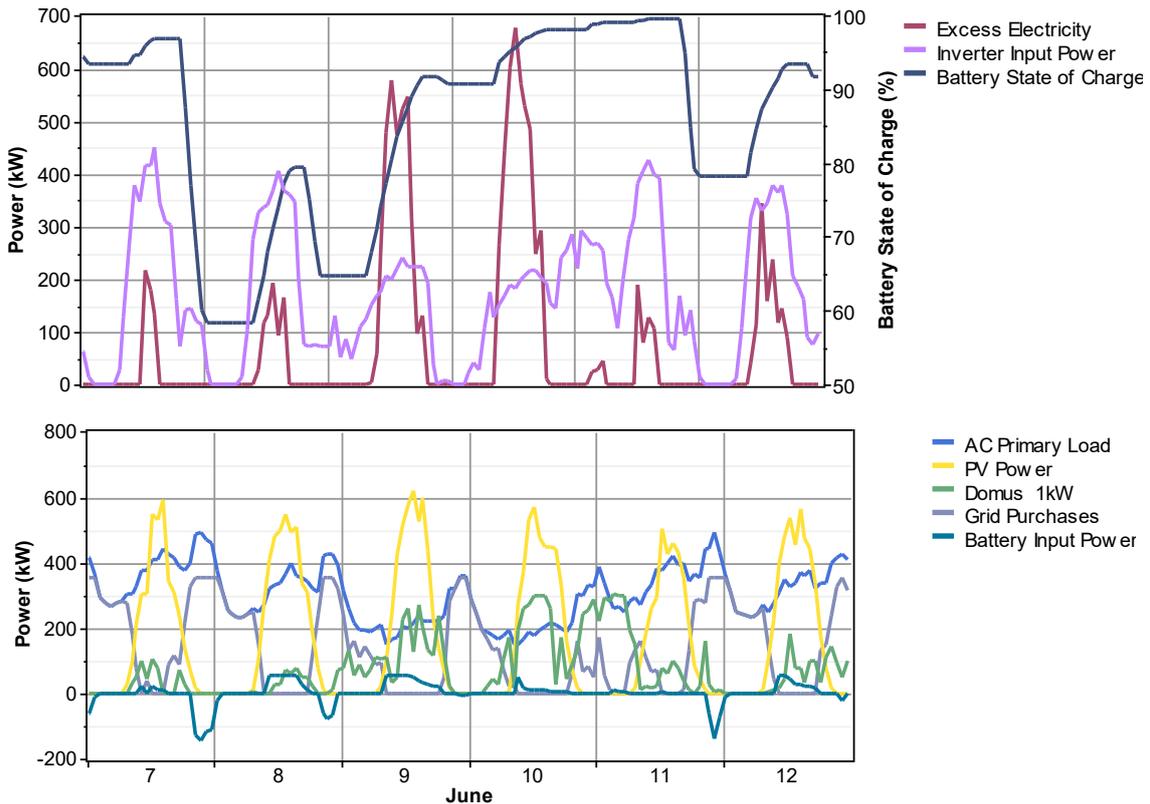
Gráfica 36. Estado de carga de las baterías. Fuente: HOMER

En comparación con la configuración anterior la producción de energía fotovoltaica ha aumentado, sin embargo, la producción eólica es igual. Como se ha comentado en los casos anteriores en algunos meses de temporada baja la producción es menos regular y hay más días con menor radiación. Y la producción eólica se mantiene estable, excepto en los meses de septiembre y octubre. Como se puede ver el exceso eléctrico ha aumentado y ahora hay menos días con exceso eléctrico nulo, esto se debe al aumento en la potencia instalada de fotovoltaica.



Gráfica 37. Análisis de la producción, y exceso eléctrico de la configuración 4. Fuente: HOMER

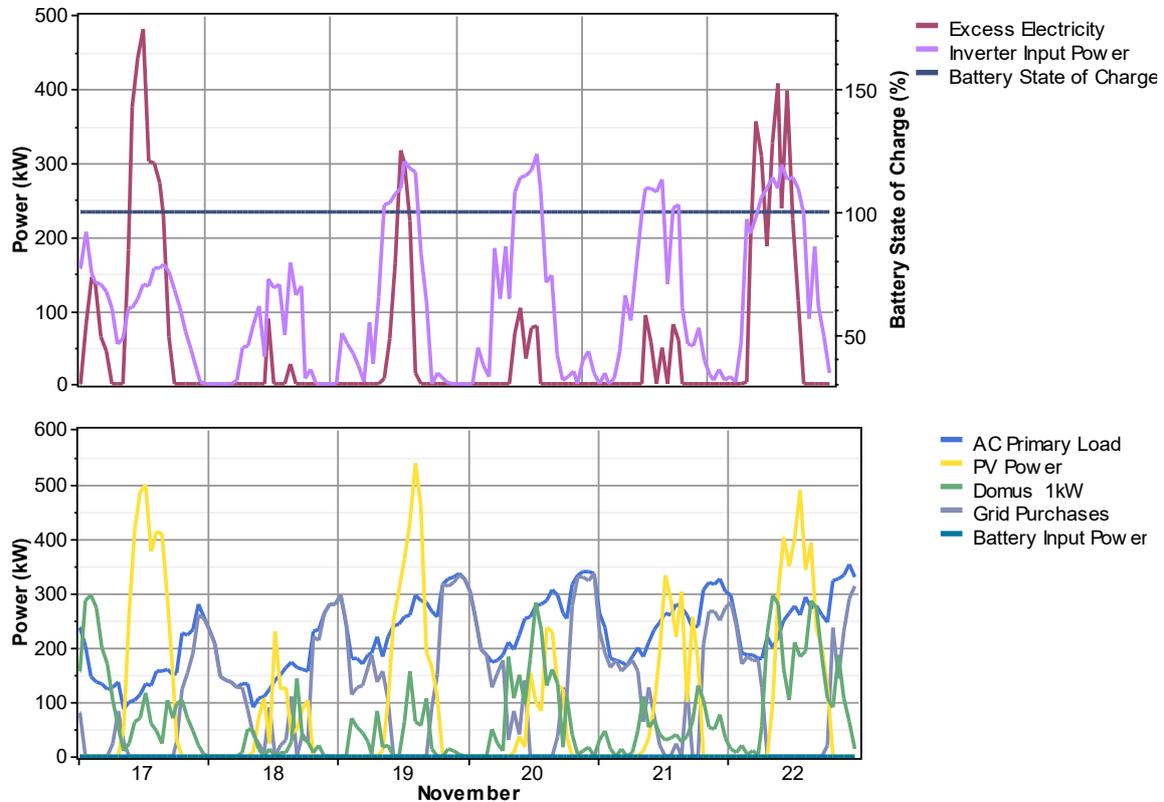
Como se ha hecho en los casos anteriores, se muestran días concretos para analizar su comportamiento:



Gráfica 38. Comportamiento eléctrico de la configuración 4 en junio. Fuente: HOMER

Se ha analizado cómo se comporta el sistema en las horas pico y para ello se toman los mismos días que en las configuraciones anteriores. En el día 11 por la noche aparece la hora pico, esta sucede cuando la fotovoltaica y la eólica no están produciendo, pero ahora tomará energía de las baterías de modo que parte de esa demanda pico se cubrirá con la red y parte con la energía renovable de las baterías. El día 9, en las horas centrales del día, se produce un

gran exceso, esto es debido a que la producción de fotovoltaica y eólica es mayor que la demanda y aunque se están cargando las baterías todavía se produce exceso. Como se puede ver, el día 7 la batería se descarga como máximo hasta el 60 % ya que así se asegura que la duración de estas sea mayor.



Gráfica 39. Comportamiento eléctrico de la configuración 4 en noviembre. Fuente: HOMER

Por último, se ha analizado el mes de noviembre (temporada baja) donde la radiación solar es menos constante y hay más días con menor radiación. Al igual que sucede en la configuración 3, durante las horas del día se toma electricidad de la eólica. Ahora los excesos de electricidad son mayores porque la instalación fotovoltaica es de mayor potencia. En los meses de invierno las baterías permanecen siempre cargadas y no se descargan en ningún momento, estas sólo actúan en meses de temporada alta. El día 21, por la noche no se consume todo de la red, si no que los aerogeneradores aportan energía.

Si tomamos un día de noviembre el consumo diario de un día laboral es de 5775,7 kW. La capacidad máxima de las baterías es de 1520 kWh, esto ocurre en los meses de temporada alta porque las baterías están cargadas al 100%. Si consideramos una profundidad de descarga máxima del 60 % para no dañar las baterías, la autonomía resulta en 3,64 horas. De este modo, los meses de invierno, se pueden aprovechar las baterías para desconectar algún equipo, como los aerogeneradores, y hacer labores de mantenimiento.

7.7 COMPARACIÓN ENTRE ALTERNATIVAS

Una vez se han estudiado y analizado las diferentes configuraciones según los criterios fijados, se han realizado diferentes tablas comparativas con el fin de seleccionar la configuración más prometedora.

En la siguiente tabla se puede ver cómo se compone cada configuración.

Tabla 12. Tabla resumen de los componentes de cada configuración. Fuente: elaboración propia

	CONF. 1	CONF. 2	CONF. 3	CONF. 4
	Solo Red	Red + Fotovoltaica	Red + Fotovoltaica + Eólica	Red + Fotovoltaica + Eólica + Baterías
Potencia instalación fotovoltaica (kW)	0	400	610	700
Aerogeneradores	0	0	300	300
Potencia del inversor (kW)	0	400	400	600
Número de baterías	0	0	0	200
Compra a la red	Sí	Sí	Sí	Sí
Venta a la red	No	No	No	No
Aporte	Red: 100%	Fotov: 46% Red: 54%	Fotov: 30% Eólica: 28% Red: 42%	Fotov: 44% Eólica: 24% Red: 32%

En la siguiente tabla se realiza la comparación de los parámetros técnicos, medioambientales y económicos.

Tabla 13. Tabla resumen de los parámetros técnicos, medioambientales y económicos. Fuente: elaboración propia

	CONF. 1	CONF. 2	CONF. 3	CONF. 4
	Solo Red	Red + Fotovoltaica	Red + Fotovoltaica + Eólica	Red + Fotovoltaica + Eólica + Baterías
PARÁMETROS TÉCNICOS - MEDIOAMBIENTALES				
Fracción renovables (%)	0	46	58	68
Exceso eléctrico (%)	0	13,8	14	27,1
Demanda cubierta (%)	100	100	100	100
Emissiones CO ₂ (kg/año)	1.225.558	796.442 ↓ 35 %	622.885 ↓ 49 %	563.341 ↓ 54 %
PARÁMETROS ECONÓMICOS				
Inversión inicial (€)	0	545.699	652.774	1.209.038
Coste Actual Neto (€)	3.906.226	3.379.42 ↓ 13 %	3.118.053 ↓ 20 %	3.858.315 ↓ 1,2 %
Coste de electricidad (€/kWh)	0,149	0,129 ↓ 13 %	0,119 ↓ 20 %	0,147 ↓ 1,3 %
Costes de operación (€/año)	336.706	244.260 ↓ 27 %	212.501 ↓ 37 %	228.361 ↓ 32 %
Retorno de la inversión (años)	-	7,85	6,61	24,5
Valor actual (€)	-	529.803	791.174	50.912

7.8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Una vez realizado el análisis de cada configuración, se ha realizado un estudio de análisis de sensibilidad en el que 3 parámetros sufren variaciones. Esto sirve de estudio para analizar cuál sería la mejor combinación de tecnologías que mejor se comportaría en determinadas situaciones de cambios. Además, en todas aparecerá el coste eléctrico para realizar comparaciones. Los parámetros escogidos son la demanda promedio, el recurso solar y el eólico, para ellos se toman valores tanto mayores como menores a los actuales:

- **Demanda promedio escalable:** al ser una zona turística la demanda se puede ver afectada tanto si hay un año malo y recibe pocos turistas, como si aumenta considerablemente la llegada de turistas. Por ello se ha cambiado el valor de la demanda promedio, tanto a lo bajo como a lo alto. Se ha fijado por tanto un rango en 4,5 kWh/d (con pico de demanda de 356 kW), 6,187 kWh/d (actual) y 7,5 kWh/d para así llegar al pico de demanda situado en 600 kW
- **Recurso solar:** se ha cambiado el total de radiación incidente a lo largo del día situándose ahora en el intervalo de 4 a 7 kWh/m₂ por día, en el sistema estudiado esta es de 5,9 kWh/m₂.
- **Recurso eólico:** al igual que el recurso solar puede variar, el eólico también es cambiante y puede verse afectado. Así, se han tomado nuevos valores para la velocidad media del viento, quedaría 5 m/s, 6,39 m/s (la utilizada a lo largo del estudio), 7 m/ y 8 m/s.

En primer lugar, si hubiese un año malo de turismo (demanda promedio del 4,5 kWh/d) se puede observar cómo si las condiciones de velocidad del viento aumentan, la mejor selección de tecnologías sería la de la red con la eólica. Recordemos que esta no se había tomado como configuración a estudiar debido a la poca potencia generada por los aerogeneradores y su dependencia de la velocidad del viento. Lo mismo ocurriría si vamos al extremo superior del recurso solar, cuando las velocidades del viento son menores la mejor selección de tecnologías es emplear la red con la solar, pero con un mayor coste eléctrico.

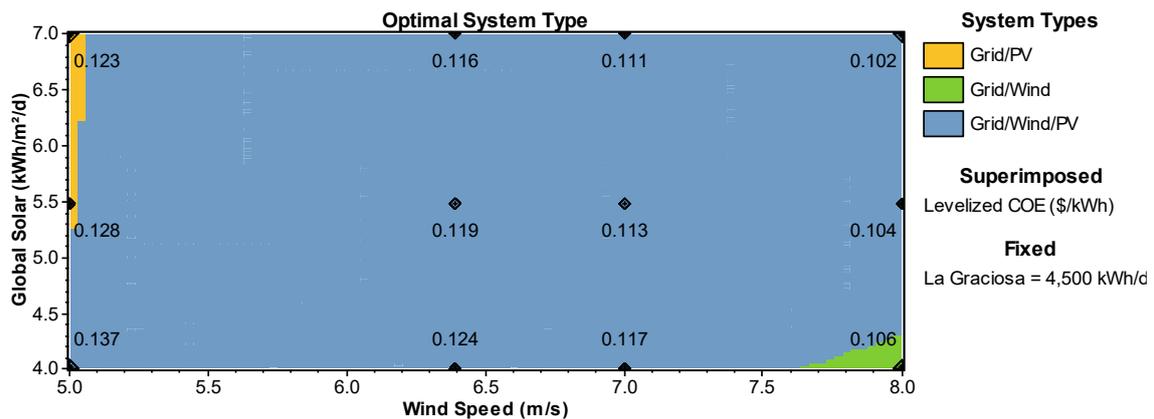


Figura 32. Variación de las configuraciones en un año con disminución en la demanda promedio. Fuente: HOMER

En el caso contrario, si hubiese un año donde la demanda de turistas aumentase (demanda promedio del 7,5 kWh/d) se puede observar cómo los aerogeneradores, combinados con la red, dejaría de ser viables técnicamente. Por tanto, la mejor opción sería la que combina red, eólica y fotovoltaica.

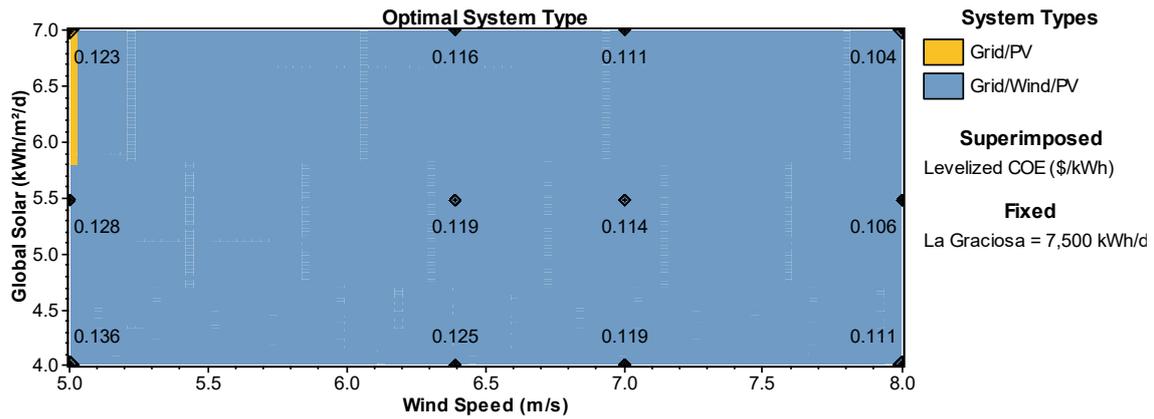


Figura 33. Variación de las configuraciones en un año con aumento en la demanda promedio. Fuente: HOMER

La opción de implantar módulos fotovoltaicos con la red solo resulta óptima en el caso de que haya unas condiciones solares mejores. Esto se puede corroborar con la Figura 34 en el que se ha considerado que si hay un año malo de eólica, la fotovoltaica sería la solución óptima a partir de 5 kWh/m₂ en el caso de una demanda turística menor. Además, el coste eléctrico de la solar con red sería menor que en el caso de tener red, eólica y fotovoltaica.

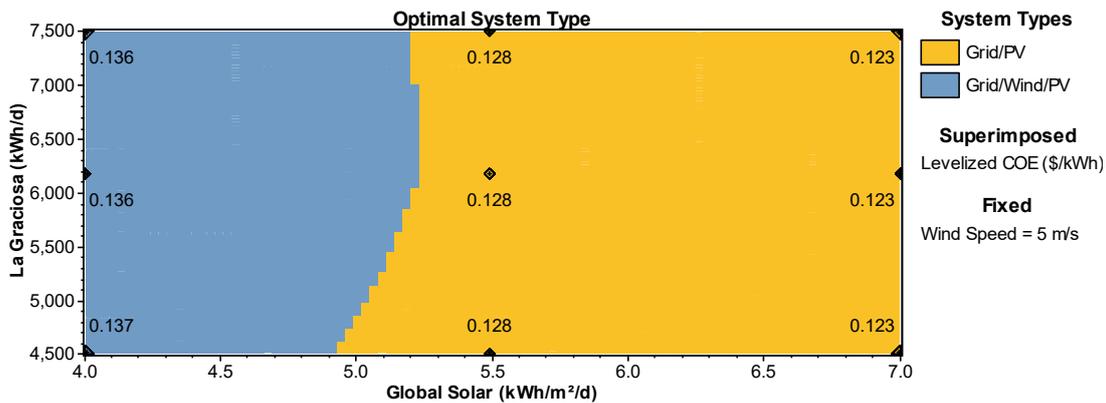


Figura 34. Variación de las configuraciones en un año con disminución en la velocidad media del viento. Fuente: HOMER

7.9 SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN MÁS PROMETEDORA

Una vez se ha realizado los análisis de las diferentes configuraciones, y evaluado los parámetros técnicos, económicos y medioambientales de cada una de ellas se ha procedido a seleccionar la configuración más prometedoras en base a las restricciones fijadas. Todas ellas, a excepción del caso base, cumplen los criterios establecidos en cuanto al cubrimiento del 100 % de la demanda, un porcentaje de energías renovables superior al 32 %, un coste eléctrico menor al actual y un exceso eléctrico menor al 30 %.

En primer lugar, la configuración 1 (solo red) se ha descartado porque este es el caso base del que se parte y que por lo tanto quiere mejorarse.

Por otro lado, la configuración 4, en la que combina la red, con fotovoltaica, eólica y baterías también se ha desechado. A pesar de que presenta el mayor porcentaje de renovables (68 %), el coste de la electricidad no se ve tan reducido como en las otras configuraciones con penetración de renovables. Además, el retorno de la inversión es más elevado debido a la integración de baterías.

Por tanto, las configuraciones más interesantes resultan ser la 2 (red y fotovoltaica) y la 3 (red, fotovoltaica y eólica). Si comparamos estas dos configuraciones, la configuración 3 resulta ser la más prometedora. Esta explicación reside en los siguientes puntos:

- Esta configuración es más versátil que la integrada por la red y los módulos fotovoltaicos. Al incluir la eólica la demanda deja de estar condicionada a las horas de sol y así cuando la fotovoltaica no actúa, la eólica cubre parte de la demanda.
- A pesar de que las dos presentan un exceso eléctrico similar con el aporte de la eólica este se encuentra más distribuido a lo largo de los meses.
- La fracción de renovables es de un 12 % mayor, en concreto del 58 %. Suponiendo así más de la mitad de la penetración de renovables en el uso de la energía y una importante reducción de emisiones. Además de cumplir con los objetivos fijados por la Comisión Europea, se cumple el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (Gobierno de España, 2020), el cual apuesta por un 42 % de renovables en el uso final de la energía.
- A pesar de que la inversión inicial es mayor el retorno de la inversión es menor, siendo este un valor aceptable.
- En cuanto al coste actual neto, el coste eléctrico y los costes de operación también son menores.
- Ante el análisis de sensibilidad la implantación de tecnologías que combinan la energía, eólica, solar y la red son las más prometedoras en la mayoría de las condiciones y cambios analizados.

Hay que tener en cuenta que esta configuración queda condicionada al estudio de impacto ambiental, el cual sería decisivo y requerido en la fase de diseño para saber si finalmente se pueden instalar aerogeneradores. Si este resultara desfavorable, la solución más favorable sería instalar la configuración 2 (red y fotovoltaica), la cual presenta unos parámetros igualmente válidos y aceptables desde los aspectos técnicos, económicos y medioambientales.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Gracias a la metodología seguida, ha sido posible el análisis de viabilidad de diferentes sistemas renovables híbridos para cubrir la demanda eléctrica en la isla La Graciosa. Para conseguir este objetivo se ha llevado a cabo una serie de procesos.

En primer lugar, ha sido necesario caracterizar la isla, es decir, se ha llevado a cabo un estudio en detalle de la zona. En este estudio se han investigado aspectos como la ubicación, la población, la situación energética actual y las consideraciones que la caracterizan como una zona turística y protegida naturalmente. Asimismo, se han evaluado los distintos recursos naturales presentes que pueden ser aprovechados energéticamente mediante la implantación de energías renovables. Además del estudio de la normativa aplicable para la instalación de energías renovables, ya que al ser la isla una zona protegida ciertas tecnologías pueden verse limitadas a la hora de ser implantadas.

Una vez realizado este estudio se han evaluado las diferentes tecnologías que son capaces de obtener electricidad a partir de los recursos disponibles para finalmente optar por las que más se adecuan a la zona y cómo podrían implantarse teniendo en cuenta la normativa.

Para el correcto dimensionamiento del sistema y cubrir las necesidades eléctricas, es necesario conocer el perfil de consumo. Para ello, se ha estudiado la demanda de los diferentes sectores que la componen, así como, la instalación de una estación de recarga de bicicletas eléctricas. Las curvas de demanda se han obtenido a partir de datos reales realizados en diferentes estudios y proyectos y teniendo en consideración la condición de zona turística.

Una vez caracterizada la demanda, los recursos y las tecnologías a emplear, se procedió a fijar unos criterios de selección para que las diferentes configuraciones cumplieran ciertas restricciones que eran condicionantes. Para evaluar cada configuración y seleccionar la más prometedora se partió del estudio del caso base en el que solo aparece la red eléctrica como suministrador. Una vez seleccionada cada configuración se procedió a realizar un análisis de sus parámetros técnicos, económicos y medioambientales, así como contrastar el comportamiento en determinados momentos, como las horas pico y las diferencias entre los meses de temporada alta y baja. Finalmente se realizó un análisis de sensibilidad para ver qué tecnologías resultarían adecuadas ante cambios de diferentes parámetros.

Por último, se ha seleccionado la configuración que resulta más prometedora y que mejor cumpliría con los objetivos fijados. Este caso de estudio puede servir de base para adoptar medidas sostenibles en islas similares de pequeño tamaño, y fomentar la implantación de energías renovables.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia extremeña de la energía. (2014). *Diseño de Centros sanitarios eficientes*. Recuperado el 24 de Mayo de 2020, de http://www.agenex.net/guias-altercexa/5_DISEN_DE_CENTROS_DE_SALUD_EFICIENTES.pdf
- Arias Ávila, N., & Tricio Gómez, V. (2013). *Cartilla para la enseñanza de energías renovables*. Burgos: Universidad de Burgos.
- Atersa. (2020). *Atersa*. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de Catálogo de productos: <https://atersa.shop/panel-solar-a-335p-gs/>
- Aven. (2005). Recuperado el 24 de Mayo de 2020, de Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Locales Comerciales de la Comunidad Valenciana: http://www.f2e.es/uploads/doc/20130812114748.guia_ahorro_locales_comerciales_aven.pdf
- Ayuntamiento de Tegui. (Septiembre de 2014). *Plan General de Ordenación del municipio de Tegui. Ordenación estructural*. Obtenido de http://www.idecanarias.es/resources/PLA_ENP_URB/URB_PLA/LZ/Tegs/792/TNP/pgo_tegs_nu01.pdf?forcedefault=true
- Bastida Molina, P., Hurtado Pérez, E., Vargas Salgado, C., & Ribó Pérez, D. (Marzo de 2020). Microrredes híbridas, una solución para países en vías de desarrollo. *Técnica Industrial*(325), 28-34.
- Birhuett Garcia, E. (23 de Octubre de 2015). *Monografias.com*. Recuperado el Mayo de 2020, de Gestión estratégica de energía, hidrocarburos y electricidad: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/gestion-estrategica-energia-hidrocarburos-y-electricidad/gestion-estrategica-energia-hidrocarburos-y-electricidad.shtml>
- BOE. (8 de Septiembre de 2017). Obtenido de Ley 4/2017, de 13 de julio, del Suelo y de los Espacios Naturales Protegidos de Canarias: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-10295>
- BOE. (6 de Abril de 2019). Obtenido de Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089>
- Booking.com. (2020). Recuperado el 22 de Mayo de 2020, de Hoteles en Caleta de Sebo: https://www.booking.com/searchresults.es.html?aid=1563046&sid=c090a9699bd7d8c8a2087ba9dfb5b6b9&tmpl=searchresults&ac_click_type=b&ac_position=0&class_interval=1&dest_id=6748&dest_type=region&dtdisc=0&from_sf=1&group_adults=2&group_children=0&inac=0&index_

- Callejero de La Graciosa*. (2019). Recuperado el 22 de Mayo de 2020, de <https://callejero.openalfa.es/la-graciosa>
- Cambio energético. (Junio de 2020). *Cambio energético*. Recuperado el 21 de Junio de 2020, de Generadores diésel Kipor: <https://www.cambioenergetico.com/generadores-diesel-kipor/1884-generator-kipor-diesel-kde19sta3-trifasico-18-kva.html>
- CataDelVino*. (12 de Agosto de 2019). Recuperado el Mayo de 2020, de <https://www.catadelvino.com/blog-cata-vino/cuantas-denominaciones-de-origen-de-vino-tenemos-en-canarias>
- Central de reservas de parques nacionales*. (2012). Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de Información general la graciosa: <https://www.reservasparquesnacionales.es/real/parquesnac/admin/documentos/Folleto%20informacion%20general.pdf>
- Centro de datos de Lanzarote*. (2013). Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de Plan de Acción Insular: [http://www.datosdelanzarote.com/Uploads/doc/Plan-de-Acci%C3%B3n-Insular-para-la-Sostenibilidad-Energ%C3%A9tica-para-La-Graciosa-\(2012-20\)-20131122094841448130425_-Aprobado-PIAES-La-Graciosa.pdf](http://www.datosdelanzarote.com/Uploads/doc/Plan-de-Acci%C3%B3n-Insular-para-la-Sostenibilidad-Energ%C3%A9tica-para-La-Graciosa-(2012-20)-20131122094841448130425_-Aprobado-PIAES-La-Graciosa.pdf)
- Centro de datos de Lanzarote*. (2015). Recuperado el 22 de Mayo de 2020, de Ocupación alojativa turística de Lanzarote según mes: <http://www.datosdelanzarote.com/itemDetalles.asp?idFamilia=26&idItem=6500>
- Comisión Europea. (2020). *Marco sobre clima y energía para 2030*. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es
- Datos de Lanzarote. (Marzo de 2013). *Plan de Acción Insular para la Sostenibilidad Energética para La Graciosa*. Recuperado el 22 de Mayo de 2020, de Datos de Lanzarote: [http://www.datosdelanzarote.com/Uploads/doc/Plan-de-Acci%C3%B3n-Insular-para-la-Sostenibilidad-Energ%C3%A9tica-para-La-Graciosa-\(2012-20\)-20131122094841448130425_-Aprobado-PIAES-La-Graciosa.pdf](http://www.datosdelanzarote.com/Uploads/doc/Plan-de-Acci%C3%B3n-Insular-para-la-Sostenibilidad-Energ%C3%A9tica-para-La-Graciosa-(2012-20)-20131122094841448130425_-Aprobado-PIAES-La-Graciosa.pdf)
- Departamento de Ingeniería Eléctrica (UPV). (2020). *Apuntes de la asignatura Introducción a las Energías Renovables*. Valencia, España: UPV.
- Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (UPV). (2019). *Apuntes de la asignatura Tecnología Energética*. Valencia, España: UPV.
- DGT. (2017). *DGT*. Recuperado el 27 de Junio de 2020, de Análisis sobre los kilómetros anotados en las ITV: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/infografias/analisis-km-itv.shtml>
- Endesa*. (25 de Enero de 2017). Recuperado el 22 de Mayo de 2020, de La Graciosa, la isla de energía inteligente: <https://www.endesa.com/es/proyectos/todos-los-proyectos/transicion-energetica/redes-inteligentes/la-graciosa-energia-inteligente>
- Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias*. (26 de Junio de 2019). Recuperado el 19 de Junio de 2020, de El precio del CO2 se ha quintuplicado en los últimos dos años: <https://www.energias-renovables.com/panorama/el-precio-del-co2-se-ha-quintuplicado-20190626>

- Energy Spain Alicante*. (2020). Recuperado el Mayo de 2020, de Energía eólica en Alicante: <http://www.energy-spain.com/energia-eolica>
- European Commission. (15 de Octubre de 2019). *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. Recuperado el 4 de Junio de 2020, de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html#PVP
- Eurostat. (2019). *Eurostat*. Recuperado el 27 de Junio de 2020, de Electricity prices for household consumers: <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Gizlogic. (2019). *Gizlogic*. Recuperado el Mayo de 2020, de Cityboard e-Tui, bicicleta eléctrica de montaña con velocidad de 25 Km/h: <https://www.gizlogic.com/cityboard-e-tui-caracteristicas/>
- Gobierno de Canarias. (2006). *Plan Rector de Uso y Gestión. Parque Natural del Archipiélago Chinijo. Memoria Informativa*. Obtenido de http://www.idecanarias.es/resources/PLA_ENP_URB/LZ/AD/L-02_Arhipielago_Chinijo/1006/TIP/prug_pn_achi_mi.pdf?forcedefault=true
- Gobierno de Canarias. (2006). *Plan Rector de Uso y Gestión. Parque Natural del Archipiélago Chinijo. Documento Normativo*. Obtenido de http://www.idecanarias.es/resources/PLA_ENP_URB/LZ/AD/L-02_Arhipielago_Chinijo/1006/TNP/prug_pn_achi_nu.pdf
- Gobierno de España. (31 de Marzo de 2020). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima*. Recuperado el 1 de Julio de 2020, de [https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-env%C3%ADa-a-la-comisi%C3%B3n-europea-el-plan-nacional-integrado-de-energ%C3%ADa-y-clima-\(pniec\)-2021-2030/tcm:30-508439](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-env%C3%ADa-a-la-comisi%C3%B3n-europea-el-plan-nacional-integrado-de-energ%C3%ADa-y-clima-(pniec)-2021-2030/tcm:30-508439)
- Google Maps La Graciosa*. (2020). Recuperado el 22 de Mayo de 2020, de <https://www.google.es/maps/place/La+Graciosa/@29.2537955,-13.5451371,13z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xc48a70b1bc1a685:0x735ce6a95936b695!8m2!3d29.2553639!4d-13.5032081>
- HOMER Energy*. (2020). Recuperado el 12 de mayo de 2020, de Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software: <https://www.homerenergy.com/index.html>.
- IDAE. (2011). *Plan de Energías Renovables 2011-2020*. Recuperado el 18 de Mayo de 2020, de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>
- iLaGraciosa*. (2020). (Guía de Viajes de La Graciosa) Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de <https://www.ilagraciosa.net>
- ISTAC*. (2020). Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de Instituto canario de estadística: <http://www.gobiernodecanarias.org/istac/jaxi-istac/tabla.do>
- La Voz de Galicia*. (15 de Marzo de 2020). Recuperado el 22 de Mayo de 2020, de La Islandia del sur está en El Hierro: https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/mercados/2020/03/15/islandia-sur-hierro/0003_202003SM15P6991.htm

- Makemu Green energy. (2018). *Makemu Green energy*. Recuperado el 20 de Junio de 2020, de Línea de productos: <https://www.makemu.it/prodotto/generador-de-viento-domus/?lang=es>
- Martínez García, F., Treballe, D., Navarro, M. G., Galán, J., & Lin, P. (Agosto de 2013). Gestión de la demanda eléctrica. *Anales de Mecánica y Electricidad*, vol. XCI(no. IV), pág. 26-32.
- Meteoblue. (Mayo de 2020). Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de Clima Isla Graciosa: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/isla-graciosa_espa%c3%b1a_2517127
- Ministerio para la transición ecológica. (Diciembre de 2019). *Ministerio para la transición ecológica*. Recuperado el 28 de Junio de 2020, de Red Natura 2000: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/rn_dic19_tcm30-200149.pdf
- Pixabay. (2013). Recuperado el Mayo de 2020, de <https://pixabay.com/es/photos/cabo-ortegal-galicia-117601/>
- Pixabay. (Enero de 2016). Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de <https://pixabay.com/es/photos/la-graciosa-isla-islas-canarias-1138349/>
- Pixabay. (2017). Recuperado el 8 de Mayo de 2020, de <https://pixabay.com/es/photos/panel-solar-energia-solar-energía-2889317/>
- Puigcercos. (2017). *Puigcercos*. Recuperado el 10 de Mayo de 2020, de Energía solar fotovoltaica aislada de la red eléctrica: <https://www.puigcercos.com/energia-renovable/fotovoltaica/solar-aislada/>
- Ramírez, M. (Julio de 2019). El Hierro, en busca de la isla 100% renovable. *Técnica Industrial*, 4-18.
- Red eléctrica de España. (28 de Octubre de 1998). Recuperado el 23 de Mayo de 2020, de Proyecto INDEL - Atlas de la demanda eléctrica española: https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/atlas_indel_ree.pdf
- Red eléctrica de España. (12 de Marzo de 2020). Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de Avance del Informe del sistema eléctrico español 2019: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2020/Avance_ISE_2019.pdf
- Regenera. (Abril de 2016). *Auditoría energética de edificios municipales de Alhama*. Recuperado el 24 de Mayo de 2020, de Datos Alhama de Murcia: <https://datos.alhamademurcia.es/descargas/6347n-auditoria-energ.-cinco-edificios.pdf>
- Sede Electrónica del Catastro. (2020). *Sede Electrónica del Catastro*. Recuperado el 25 de Mayo de 2020, de Gobierno de España: <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?pest=rc&from=OVCBusqueda&final=&ZV=NO&ZR=NO>

- Sitios de España*. (2018). Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de Un día en La Graciosa, la octava isla canaria: <https://www.sitiosdeespana.es/articulo/un-dia-en-la-graciosa?rq=la%20graciosa>
- Solaris. (2020). *Solaris productos*. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de <https://www.solaris-shop.com/surette-rolls-4-ks-25p-4v-1350ah-flooded-battery/>
- Tourinews*. (17 de Agosto de 2017). Recuperado el 22 de Mayo de 2020, de La Graciosa desbordada al triplicar la población: https://www.tourinews.es/resumen-de-prensa/notas-de-prensa-espana-turismo/la-graciosa-desbordada-al-triplicar-la-poblacion_4442972_102.html
- Visit La Graciosa*. (2019). Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de <https://www.visitlagraciosa.com>
- Web Oficial de Turismo Lanzarote*. (2020). Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de Isla de La Graciosa: <https://turismolanzarote.com/la-graciosa/>
- Western Power Distribution. (2011). *Modelling demand profiles in the I&C sector*. Recuperado el 22 de Mayo de 2020, de University of Bath: <https://people.bath.ac.uk/masgs/WebResources/Modelling%20demand%20profiles%20in%20the%20IC%20sector%20-%20110315.pdf>

PRESUPUESTO

CAPÍTULO 1. PRESUPUESTO

A continuación, se expone el presupuesto del presente Trabajo Final de Grado. Este se ha elaborado en base al estudio y análisis a lo largo del documento. Al tratarse de un proyecto de estas características los costes fundamentales son costes de personal.

1.1 CONSIDERACIONES Y CUADRO DE PRECIOS BÁSICOS

Se ha establecido un valor de costes directos complementarios en un valor porcentual del 2 %. Por otro lado, los costes adicionales al Presupuesto total de ejecución material son:

- Beneficio Industrial (6 %)
- Gastos Generales (13 %)

Una vez integrados estos costes se obtiene el Presupuesto de ejecución por contrata. Finalmente, para formalizar el Presupuesto en base de licitación se añade el impuesto de valor añadido:

- IVA (21 %)

CUADRO DE PRECIOS BÁSICOS: MANO DE OBRA Y MATERIALES		
UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
MANO DE OBRA		
h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	30,00 €
h	Ingeniero/a en Tecnologías Industriales	75,00 €
MATERIALES		
ud	Licencia del software HOMER	260,00 €
ud	Paquete Microsoft Office 365	140,00 €
ud	Ordenador de sobremesa	820,00 €

HORAS DEDICADAS AL PROYECTO		
	DESCRIPCIÓN	HORAS
	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	298
	Ingeniero/a en Tecnologías Industriales	11

1.2 CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS					
CÓDIGO	UD.	DESCIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
CAPÍTULO 01 Introducción a los sistemas híbridos renovables					
01.01 Reunión tutor/a y alumno/a para definir el trabajo					
01.01.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	2	30,00 €	60,00 €
01.01.02	h	Ingeniero/a en Tecnologías Industriales	2	75,00 €	150,00 €
01.01.03	%	Costes directos complementarios	2	210,00 €	4,20 €
Total					214,20 €
01.02 Planificación de la realización del trabajo					
01.02.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	1	30,00 €	30,00 €
01.02.02	%	Costes directos complementarios	2	30,00 €	0,60 €
Total					30,60 €
01.03 Búsqueda de información sobre sistemas híbridos y casos de estudio					
01.03.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	10	30,00 €	300,00 €
01.03.02	%	Costes directos complementarios	2	300,00 €	6,00 €
Total					306,00 €
01.04 Redacción y edición de textos					
01.04.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	15	30,00 €	450,00 €
01.04.02	%	Costes directos complementarios	2	450,00 €	9,00 €
Total					459,00 €
Total capítulo					1.009,80 €

CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	UD.	DESCIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 02		Caracterización de la zona de estudio			
02.01		Reunión tutor/a y alumno/a			
02.01.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	1	30,00 €	30,00 €
02.01.02	h	Ingeniero/a en Tecnologías Industriales	1	75,00 €	75,00 €
02.01.03	%	Costes directos complementarios	2	105,00 €	2,10 €
Total					107,10 €
02.02		Estudio previo de la zona			
02.02.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	20	30,00 €	600,00 €
02.02.02	%	Costes directos complementarios	2	600,00 €	12,00 €
Total					612,00 €
02.03		Situación energética			
02.03.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	6	30,00 €	180,00 €
02.03.02	%	Costes directos complementarios	2	180,00 €	3,60 €
Total					183,60 €
02.04		Lectura y búsqueda de la normativa aplicable			
02.04.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	23	30,00 €	690,00 €
02.04.02	%	Costes directos complementarios	2	690,00 €	13,80 €
Total					703,80 €
02.05		Redacción y edición de textos			
02.05.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	13	30,00 €	390,00 €
02.05.02	%	Costes directos complementarios	2	390,00 €	7,80 €
Total					397,80 €
Total capítulo					2.004,30 €

CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 03		Análisis de la demanda eléctrica			
03.01		Reunión tutor/a y alumno/a			
03.01.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	2	30,00 €	60,00 €
03.01.02	h	Ingeniero/a en Tecnologías Industriales	2	75,00 €	150,00 €
03.01.03	%	Costes directos complementarios	2	210,00 €	4,20 €
Total					214,20 €
03.02		Búsqueda de información sobre hogares y otros edificios de la zona			
03.02.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	10	30,00 €	300,00 €
03.02.02	%	Costes directos complementarios	2	300,00 €	6,00 €
Total					306,00 €
03.03		Cálculo de las curvas de carga			
03.03.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	35	30,00 €	1.050,00 €
03.03.02	%	Costes directos complementarios	2	1.050,00 €	21,00 €
Total					1.071,00 €
03.04		Redacción y edición de textos			
03.04.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	9	30,00 €	270,00 €
03.04.02	%	Costes directos complementarios	2	270,00 €	5,40 €
Total					275,40 €
Total capítulo					1.866,60 €

CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	UD.	DESCIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 04		Búsqueda de datos necesarios			
04.01		Reunión tutor/a y alumno/a			
04.01.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	2	30,00 €	60,00 €
04.01.02	h	Ingeniero/a en Tecnologías Industriales	2	75,00 €	150,00 €
04.01.03	%	Costes directos complementarios	2	210,00 €	4,20 €
Total					214,20 €
04.02		Consulta en Atlas y bases de datos de los recursos energéticos			
04.02.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	2	30,00 €	60,00 €
04.02.02	%	Costes directos complementarios	2	60,00 €	1,20 €
Total					61,20 €
04.03		Búsqueda de los equipos, sus fichas técnicas, costes y elección final			
04.03.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	30	30,00 €	900,00 €
04.03.02	%	Costes directos complementarios	2	900,00 €	18,00 €
Total					918,00 €
04.04		Redacción y edición de textos			
04.04.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	15	30,00 €	450,00 €
04.04.02	%	Costes directos complementarios	2	450,00 €	9,00 €
Total					459,00 €
Total capítulo					1.652,40 €

CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	UD.	DESCIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 05 Software para el análisis tecno-económico					
05.01 Reunión tutor/a y alumno/a para el análisis de datos requeridos por el software					
05.01.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	2	30,00 €	60,00 €
05.01.02	h	Ingeniero/a en Tecnologías Industriales	2	75,00 €	150,00 €
05.01.03	%	Costes directos complementarios	2	210,00 €	4,20 €
Total					214,20 €
05.02 Lectura del manual de HOMER					
05.02.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	20	30,00 €	600,00 €
05.02.02	%	Costes directos complementarios	2	600,00 €	12,00 €
Total					612,00 €
05.03 Introducción de los datos requeridos por el software					
05.03.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	2	30,00 €	60,00 €
05.03.02	%	Costes directos complementarios	2	60,00 €	1,20 €
Total					61,20 €
05.04 Redacción y edición de textos					
05.04.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	16	30,00 €	480,00 €
05.04.02	%	Costes directos complementarios	2	480,00 €	9,60 €
Total					489,60 €
Total capítulo					1.377,00 €

CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

CÓDIGO	UD.	DESCIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 06		Estudio y análisis de los resultados obtenidos			
06.01		Reunión tutor/a y alumno/a para la valoración de los resultados			
06.01.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	2	30,00 €	60,00 €
06.01.02	h	Ingeniero/a en Tecnologías Industriales	2	75,00 €	150,00 €
06.01.03	%	Costes directos complementarios	2	210,00 €	4,20 €
Total					214,20 €
06.02		Fijación de criterios y elección de las configuraciones a partir de estos			
06.02.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	15	30,00 €	450,00 €
06.02.02	%	Costes directos complementarios	2	450,00 €	9,00 €
Total					459,00 €
06.03		Análisis de cada configuración, comparación de los resultados y conclusiones			
06.03.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	30	30,00 €	900,00 €
06.03.02	%	Costes directos complementarios	2	900,00 €	18,00 €
Total					918,00 €
06.04		Redacción y edición de textos			
06.04.01	h	Graduado/a en Ingeniería en Tecnologías Industriales	15	30,00 €	450,00 €
06.04.02	%	Costes directos complementarios	2	450,00 €	9,00 €
Total					459,00 €
Total capítulo					2.050,20 €

CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS					
CÓDIGO	UD.	DESCIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 07		Software y equipo			
07.01		Software			
07.01.01	ud	Licencia del software HOMER	1	260,00 €	260,00 €
07.01.02	ud	Paquete Microsoft Office 365	1	140,00 €	140,00 €
07.01.03	%	Costes directos complementarios	2	400,00 €	8,00 €
Total					408,00 €
07.02		Equipo			
07.02.01	ud	Ordenador de sobremesa	1	800,00 €	800,00 €
07.02.02	%	Costes directos complementarios	2	800,00 €	16,00 €
Total					816,00 €
Total capítulo					1.224,00 €

1.3 PRESUPUESTO

PRESUPUESTO					
CAPÍTULO	DESCRIPCIÓN				IMPORTE
01	Introducción a los sistemas híbridos renovables				1.009,80 €
02	Caracterización de la zona de estudio				2.004,30 €
03	Análisis de la demanda eléctrica				1.866,60 €
04	Búsqueda de datos necesarios				1.652,40 €
05	Software para el análisis tecno-económico				1.377,00 €
06	Estudio y análisis de los resultados obtenidos				2.050,20 €
07	Software y equipo				1.224,00 €
Total					11.184,30 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL					11.184,30 €
13% Gastos Generales					1.453,96 €
6% Beneficio Industrial					671,06 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA					13.309,32 €
21% IVA					2.794,96 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN					16.104,27 €

Asciende el presupuesto proyectado, a la expresa cantidad de:

DIECISEIS MIL CIENTO CUATRO EUROS CON VEINTISIETE CÉNTIMOS

