



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA
DE MINAS Y ENERGÍA



Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA ELECTRIFICACIÓN MEDIANTE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA DE LA BALIZA DE ILUMINACIÓN DE OBSTÁCULOS AERONÁUTICOS DEL MONTE PEÑACASTILLO EN SANTANDER

**FEASIBILITY STUDY FOR THE ELECTRIFICATION THROUGH SOLAR ENERGY
OF THE AVIATION WARNING LIGHT IN MOUNT PEÑACASTILLO IN
SANTANDER**

Para acceder al título de:

GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Autor: Néstor Diego Revuelta

Director: Sergio Ortega Alba

Convocatoria: Junio 2021

Sergio Ortega Alba
Jefe Ingeniería y Mantenimiento

Maliaño, 1 de mayo de 2021

Mediante el presente documento se certifica que el alumno de Grado en Ingeniería de Recursos Energéticos, D. Néstor Diego Revuelta, estuvo realizando su Trabajo Fin de Grado en colaboración con el personal técnico del Aeropuerto Seve Ballesteros–Santander, en el período comprendido entre enero y mayo de 2.021.

Dicho Trabajo Fin de Grado, cuyo título es “Estudio de Viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de obstáculos aeronáutica del Monte Peñacastillo en Santander” ha consistido en el estudio, diseño y propuesta de la instalación de energía solar necesaria para realizar la sustitución del tendido aéreo existente con objeto de lograr una electrificación de dicha baliza de manera aislada mediante energías renovables.

Desde un punto de vista general se han adquirido conocimientos en el diseño de instalaciones de energía solar. Desde un punto de vista económico, se han adquirido conocimientos para realiza realizar el análisis económico de la inversión propuesta.

Finalmente, indicar que el trabajo realizado se considera muy satisfactorio por parte de AENA, al proponer un diseño de infraestructura eléctrica que permitirá en un futuro abastecer eléctricamente mediante energías renovables sus infraestructuras.

Atentamente,

Sergio Ortega Alba
Jefe Ingeniería y Mantenimiento





ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



Néstor Diego Revuelta

Agradecimientos:

Pues con este proyecto se cierra lo que hasta ahora ha sido la mejor etapa de mi vida. Cinco años en los que he reído, he llorado, he aprendido, pero sobre todo he crecido como persona. No todo el mundo tiene la oportunidad de estudiar fuera de casa, y la verdad que me siento un auténtico privilegiado por haberlo podido hacer, y más en un sitio como la EPIME. Esta escuela me ha visto en mis peores y en mis mejores momentos, de los cuales me llevo un recuerdo para toda la vida.

Al primero que quiero agradecer que hoy pueda estar escribiendo estas líneas es a Sergio. Gracias por la paciencia infinita y la cantidad de trabajo que hemos metido para que este proyecto haya podido salir lo mejor posible, junto con la proporción de todos los datos necesarios. Gracias por haberme permitido poder aprender tanto a tu lado y haberte implicado tanto desde el segundo cero, no sabes lo afortunado que me siento. De verdad que no hay palabras suficientes para agradecerle todo lo que me has tenido que aguantar con dudas inacabables y los mil correos semanales que te han llegado. Y gracias por haberme acercado un poquito más a mi pasión. Gracias de corazón.

A todos los docentes y personal de la Escuela, pero en especial a Ana Gema, por estar siempre pendiente y nunca perder la paciencia. Gracias.

A Fina, Fran y Elena. Gracias por todas las horas que hemos compartido, llenas de risas, pero también de mucho trabajo y madrugones (la mayoría por los intensivos de Fran). Pero en especial, gracias a ti Fina, porque sin ti esto no hubiera sido posible.

A todos esos compañeros, hoy convertidos en amigos, con los que he tenido la suerte de compartir clases y mil momentos durante estos cinco años, haciendo de esta experiencia una etapa inolvidable.

A Darío, Caci y Martín por haberse convertido en familia, y por todos los buenos ratos vividos juntos. Nada podrá pagar las horas que hemos pasado en bici, en el monte, en coche, corriendo, de cafés o simplemente de risas.

A Víctor, por haber creado un vínculo más allá de la amistad, y haberte convertido en mi hermano de otros padres. Gracias por ser el mejor compañero de piso que se podía pedir, y por haber compartido tantas horas de risas juntos. Tampoco me olvidaré de la cantidad de croquetas de Casa Pilar Martínez que hemos comido juntos.

A Marta, por haber sido un pilar fundamental durante todo este proceso llamado universidad, por enseñarme a ser mejor persona y por compartir cicatrices y abrazos. Gracias por aguantarme día a día con infinita paciencia y ayudarme a conseguir todas mis metas, muchas veces creyendo tú más en mí, que yo mismo.

A la Enana por enseñarme que, aun siendo pequeña, es la más grande. Gracias por enseñarme tanto y compartir momentos únicos, los cuales guardo con especial cariño para siempre. Gracias por las horas de videollamadas y risas que hemos tenido a lo largo de estos cinco años que llevo fuera de casa. Y gracias por estar siempre ahí cuando has visto que me podía hacer falta. Ojalá algún día poder parecerme a ti con esa fuerza y entereza que tanto te caracterizan.

A Mamá, por ser la fuerza que me impulsa y me hace creer en mí. Gracias por enseñarme que por muy difícil que sea el camino, siempre hay manera de llegar al final. Gracias por todos esos días malos en los que eres capaz de darle la vuelta y que acaben siendo buenos, de esa manera que sólo tú sabes. Gracias por haberme levantado cuando me he caído a lo largo del camino y por haberme dado libertad en todas y cada una de mis decisiones pese a saber que me equivocaba en muchas de ellas.

Y, por último, pero no menos importante, al Boss. Gracias por enseñarme lo que es tener pasión por algo y dar lo mejor de mí siempre para conseguir los objetivos, ocupándome y despreocupándome. Gracias por ser un ejemplo de lo que es el trabajo duro y la constancia. Gracias por haberme dado esta oportunidad y haberme empujado cuando ha sido necesario. Gracias por haberme dado libertad en todas y cada una de mis decisiones pese a saber que me equivocaba en muchas de ellas.

A todos vosotros, gracias de corazón

Néstor



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

RESUMEN

En el presente Trabajo de Fin de Grado se desarrolla el estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos ubicada en el Monte Peñacastillo de Santander.

El objetivo principal del proyecto es dar solución a los actuales problemas que presenta el suministro eléctrico de la baliza debido a su presente electrificación mediante tendido eléctrico aéreo, el cual atraviesa la arbolada que rodea el Monte Peñacastillo y presenta problemas con la crecida de los mismos, a través de tecnologías renovables que puedan prescindir de dicho cableado eléctrico. Otro de los motivos por el cual se lleva a cabo el estudio es por el compromiso por parte de AENA por la utilización de energías renovables para el abastecimiento eléctrico de sus infraestructuras. Este proyecto busca servir asimismo como base para la realización de un futuro proyecto de ingeniería para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de dicha baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos en el Monte Peñacastillo.

Para ello en este trabajo se presenta una visión actual del estado del arte de la energía solar fotovoltaica, así como del señalamiento e iluminación de obstáculos aeronáuticos. También se expone el caso de estudio, el cual da una idea concreta de la ubicación e instalaciones eléctricas asociadas a la baliza de señalización de obstáculos aeronáuticos situada en lo alto del Monte Peñacastillo.

Asimismo, se desarrolla toda la metodología de cálculos que se va a utilizar para realizar el dimensionamiento de la instalación. Finalmente, y en base a los resultados obtenidos, se detallan los diferentes componentes de la instalación y se desarrolla el presupuesto asociado en base a los precios establecidos por los fabricantes de los mismos. Con dicho presupuesto es posible realizar el análisis económico de la presente inversión en energías renovables.

El proyecto resulta viable tanto desde el punto de vista económico como medioambiental, y se alinea con la estrategia de AENA de electrificación mediante energías renovables de sus infraestructuras.



Néstor Diego Revuelta

ABSTRACT

In this Final Degree Project, the feasibility study for electrification by means of photovoltaic solar energy of the aeronautical obstacle lighting beacon located on Mount Peñacastillo in Santander is developed.

The main objective of the project is to solve the current problems that the beacon's electricity supply has due to its current electrification by overhead power lines (which crosses the trees that surround the Mount Peñacastillo and presents problems with the growing of these) through renewable technologies that can end with this electrification method. Another reason for the study to take place is because of AENA's commitment to use renewable energy to supply electricity to its infrastructures. This project also seeks to serve as the basis for the realization of a future engineering project for the electrification by photovoltaic solar energy of said aeronautical obstacle lighting beacon on Mount Peñacastillo.

To this end, this work initially presents a current vision of the state of the art of photovoltaic solar energy, as well as the signalling and lighting of aeronautical obstacles. Likewise, the case study is presented, which gives a detailed idea of the location and electrical installations associated with the aeronautical obstacle signalling beacon located at the top of Mount Peñacastillo.

Subsequently, the entire calculation methodology that will be used to carry out the sizing of the installation is done. Finally, and based on the results obtained, the different components of the installation are specified, and the associated budget is developed based on the pricing the manufacturers establish, which allows making an economic analysis of the investment in renewable energies.

The project is viable both, from an economic and an environmental point of view, which aligns with AENA's strategy consisting in the electrification of its infrastructures through renewable energy.



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

Índice General

1.	INTRODUCCIÓN	10
1.1	INTRODUCCIÓN.....	10
1.2	MOTIVACIONES.....	12
1.3	ALCANCE Y OBJETIVOS.....	13
1.4	ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADO	13
2.	ESTADO DEL ARTE.....	15
2.1	ESTADO DEL ARTE DEL SEÑALAMIENTO E ILUMINACIÓN AERONÁUTICA	15
2.1.1	Introducción al señalamiento e iluminación de obstáculos aeronáuticos ..	15
2.1.2	Objetivos de la señalización e iluminación de obstáculos	15
2.1.3	Normativa Asociada	16
2.1.4	Casos de aplicabilidad	16
2.1.5	Iluminación de objetos.....	17
2.2	ESTADO DEL ARTE DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	19
2.2.1	Introducción a la energía Solar	19
2.2.2	Energía Solar.....	20
2.2.3	Tipos de energía solar	21
2.2.4	Componentes de una instalación solar fotovoltaica.....	22
2.2.4.1	Panel Fotovoltaico	22
2.2.4.2	Inversor	22
2.2.4.3	Controlador de carga/Regulador	23
2.2.4.4	Convertor DC-DC.....	24
2.2.4.5	Cableado	24
2.2.4.6	Almacenamiento.....	24
2.2.5	Funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica.....	25
2.2.6	Estado del arte de la tecnología fotovoltaica actual.....	26
2.3	MARCO REGULATORIO DE LA ENERGÍA.....	28
3.	CASO DE ESTUDIO.....	31
3.1	PRESENTACIÓN DE LA BALIZA.....	31
3.2	ILUMINACIÓN NECESARIA SEGÚN NORMATIVA	33



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



Néstor Diego Revuelta

3.3	RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO DE LA BALIZA.....	34
3.4	DEFINICIÓN DE LA POTENCIA	36
3.5	CÁLCULO DE LA ENERGÍA NECESARÍA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA BALIZA.....	37
4.	METODOLOGÍA.....	38
4.1	DIMENSIONAMIENTO PANELES.....	38
4.2	DIMENSIONAMIENTO BATERÍA	39
4.3	DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR DE CARGA.....	40
4.4	DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR	40
4.5	DIMENSIONAMIENTO DE CABLEADO	40
4.6	PÉRDIDAS DE LA INSTALACIÓN	42
4.6.1	Pérdidas por temperatura.....	43
4.6.2	Pérdidas por dispersión de potencia.....	44
4.6.3	Pérdidas por suciedad en los módulos	44
4.7	TABLAS DE RADIACIÓN SOLAR.....	44
4.8	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE INVERSIONES	44
5.	RESULTADOS.....	46
5.1	RESULTADOS TABLAS DE RADIACIÓN SOLAR EN SANTANDER.....	46
5.2	RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO PANELES SOLARES	49
5.3	RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO BATERÍA	54
5.4	RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO INVERSOR	55
5.5	RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO REGULADOR DE CARGA.....	55
5.6	RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO	56
5.7	RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	58
5.8	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN	59
6.	CONCLUSIONES.....	65
6.1	CONCLUSIONES.....	65
6.2	UTILIDAD PRÁCTICA DEL TRABAJO	67
6.3	LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO	67
6.3.1	Conexión directa 24 V	67
6.3.2	Conexión mediante energía eólica.....	69



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

6.3.3	Conexión mediante modelo mixto energía eólica-fotovoltaica	70
7.	BIBLIOGRAFÍA	71
8.	ANEXOS.....	75
8.1	ANEXO I: PRESUPUESTO	75
8.2	ANEXO II: FICHA DE LA INSTALACIÓN TÉCNICA DE LA BALIZA.....	76
8.3	ANEXO III: FICHAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN	77

Índice de Tablas

Tabla 2.1:	Clasificación y uso de luces de obstáculos	18
Tabla 2.2:	Distribución colores y características de las luces.....	19
Tabla 3.1:	Horas de funcionamiento de la baliza según el mes (Fuente: Elaboración Propia)	35
Tabla 3.2:	Energía necesaria para la baliza dependiendo del mes (Fuente: Elaboración propia)	37
Tabla 5.1:	Producción mensual, producción diaria y energía necesaria (Fuente: elaboración propia)	52
Tabla 6.1:	Régimen de funcionamiento (Elaboración propia).....	68

Índice de Figuras

Figura 1.1:	Evolución de la potencia instalada en MW (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico, 2019)	10
Figura 1.2:	Tráfico aéreo de pasajeros en aeropuertos españoles (Fuente: AENA)	11
Figura 2.1:	superficies delimitadoras de obstáculos (Fuente: www.proteccioncivil.es)	17
Figura 2.2:	Ejemplo iluminación con media intensidad (Fuente: AESA)	19
Figura 2.3:	Tipos de radiación (Fuente: www.sfe-solar.com)	20
Figura 2.4:	Componentes de un panel fotovoltaico (Fuente: teslaenergy.cl).....	22
Figura 2.5:	Absorción fotones (Fuente: www.areatecnologia.com)	25
Figura 2.6:	Funcionamiento de una instalación (Fuente: www.helioesfera.com)	26
Figura 2.7:	Tipos de tecnología (Fuente: Apuntes de clase)	27
Figura 2.8:	Factores en función de la tecnología (Fuente: Apuntes de clase)	27
Figura 2.9:	Sistema general Power to X (Fuente: www.dw.com)	27



Néstor Diego Revuelta

Figura 3.1: Imagen de la baliza	31
Figura 3.2: Situación de la baliza y el cuadro eléctrico (Fuente: AENA).....	31
Figura 3.3: Traza de línea hacia la cima del monte (Fuente: AENA)	32
Figura 3.4: Traza de línea hacia la cima del monte (Fuente: AENA)	32
Figura 3.5: Situación de la baliza encima de la torre (Fuente: elaboración propia)	32
Figura 3.6: Situación de la baliza encima de la torre (Fuente: elaboración propia)	32
Figura 3.7: Vista general torre de la baliza (Fuente: AENA)	32
Figura 3.8: Cierre de baliza y protección de escala suplementada (Fuente: AENA)	32
Figura 3.9: Caja general de protección, línea de derivación individual al equipo de medida y salida de línea hacia la baliza (Fuente: AENA).....	33
Figura 3.10: Cuadro general de protección y cuadro de medida de baja tensión (Fuente: AENA).....	33
Figura 3.11: Horarios Orto y Ocaso 2019 (Fuente: www.astronomia.ign.es).....	34
Figura 3.12: Horarios Orto y Ocaso 2020 (Fuente: www.astronomia.ign.es).....	34
Figura 3.13: Horarios Orto y Ocaso 2021 (Fuente: www.ign.es).....	35
Figura 3.14: Características técnicas Baliza (Fuente: Luxsolar).....	36
Figura 4.1: Esquema general instalación (Fuente: Elaboración Propia).....	38
Figura 4.2: Tabla de dimensionamiento de cableado por intensidad máxima (Fuente: automatismoindustrial.com).....	42
Figura 5.1: Atlas solar 1983-2015 (Fuente: AEMET).....	46
Figura 5.2: Atlas solar 2020 (Fuente: ADRASE).....	46
Figura 5.3: Trayectoria del sol en la ubicación de la baliza (Fuente: www.sunearthtools.com).....	47
Figura 5.4: Tabla de radiación solar en Santander (Fuente: ADRASE)	47
Figura 5.5: KW·h por metro cuadrado al día en la localización de la baliza. (Fuente: https://power.larc.nasa.gov/)	48
Figura 5.6: Irradiación mensual en la localización de la baliza (Fuente: https://ec.europa.eu/)	48
Figura 5.7: Irradiación mensual en la localización de la baliza (Fuente: ADRASE)	49
Figura 5.8: Pantalla de inserción de datos para la simulación	50
Figura 5.9: Tabla de datos de la simulación (Fuente: PVGIS).....	50
Figura 5.10: Producción mensual de la instalación (Fuente: PVGIS).....	51
Figura 5.11: Producción por meses simulación II (Fuente: PVGIS).....	52



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGIA
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

Figura 5.12: Tabla resultados simulación II (Fuente: PVGIS).....	52
Figura 5.13: Relación de días nublados a lo largo del año (Fuente: MeteoBlue).....	54
Figura 5.14: Elección de sección (Fuente: automatismoindustrial.com)	57
Figura 5.15: Presupuesto total (Fuente: Elaboración propia)	60
Figura 5.16: Subvenciones otorgables (Fuente: Gobierno de Cantabria)	61
Figura 5.17: Factura tipo por el consumo de la baliza (Fuente: AENA).....	62
Figura 6.1: Esquema general funcionamiento instalación (Elaboración propia)	68
Figura 6.2: Ejemplo de electrificación mediante modelo mixto (Fuente: http://www.balner.es/)	70



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Néstor Diego Revuelta





Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En el marco de la actualidad energética es evidente que se está en constante evolución hacia la búsqueda de una generación de energía sostenible y eficiente. Así lo avalan los distintos planes estratégicos como la Agenda 2030 [1] o el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima [2], donde la mayor preocupación son las emisiones de CO₂ a nivel mundial, seguido de la obtención de una energía limpia y asequible. Es en este campo en el que juegan un papel fundamental las energías renovables, permitiendo a la sociedad perseguir los objetivos que plantean los diferentes planes estratégicos.

España cerró el año 2020 con un dato de generación renovable histórico, aportando las energías renovables alrededor de un 44% del total nacional en cuanto a generación [3]. Las renovables más destacadas fueron la energía eólica y solar, siendo esta última en la que se centra este proyecto. Cabe destacar que el 2020 fue un año caracterizado por el desconcierto que provocó la irrupción a nivel global de la COVID-19, donde la demanda se vio lastrada por la pandemia mundial, siendo en España en el año 2020 el consumo cinco puntos menor que en el 2019.

Los datos nacionales demuestran que los diferentes objetivos que se plantean los planes estratégicos son muy ambiciosos, como bien muestra la Figura 1.1. Sin embargo, el objetivo de tener 9.071 MW de energía solar fotovoltaica se ha cumplido, siendo a final de 2020 la potencia instalada mediante esta tecnología alrededor de 10.000 MW [4]. En 2030 se tendría que llegar a los 39.181 MW instalados a través de la energía solar fotovoltaica, lo cual implica instalar unos 30.000 MW más de cara a cumplir el objetivo marcado.

Parque de generación del Escenario Objetivo (MW)				
Año	2015	2020*	2025*	2030*
Eólica (terrestre y marítima)	22.925	28.033	40.633	50.333
Solar fotovoltaica	4.854	9.071	21.713	39.181
Solar termoeléctrica	2.300	2.303	4.803	7.303
Hidráulica	14.104	14.109	14.359	14.609
Bombeo Mixto	2.687	2.687	2.687	2.687
Bombeo Puro	3.337	3.337	4.212	6.837
Biogás	223	211	241	241
Otras renovables	0	0	40	80
Biomasa	677	613	815	1.408
Carbón	11.311	7.897	2.165	0
Ciclo combinado	26.612	26.612	26.612	26.612
Cogeneración	6.143	5.239	4.373	3.670
Fuel y Fuel/Gas (Territorios No Peninsulares)	3.708	3.708	2.781	1.854
Residuos y otros	893	610	470	341
Nuclear	7.399	7.399	7.399	3.181
Almacenamiento	0	0	500	2.500
Total	107.173	111.829	133.802	160.837

*Los datos de 2020, 2025 y 2030 son estimaciones del Escenario Objetivo del borrador actualizado del PNEC.

Figura 1.1: Evolución de la potencia instalada en MW (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico, 2019)



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



Néstor Diego Revuelta

La pandemia mundial provocada por la COVID-19, también ha causado un impacto masivo en la industria aeronáutica, dónde en los últimos años se estaba viviendo un crecimiento importante. Los datos hasta marzo de 2020 eran muy positivos, donde tanto el tráfico de pasajeros, como el número de operaciones y la demanda de nuevas aeronaves en España estaba en auge, batiendo en 2019 el récord de tráfico de pasajeros en los aeropuertos españoles con un total de 275,2 millones de pasajeros [5] pasando por las todas las instalaciones aeroportuarias de España. Tal y como muestra la Figura 1.2, se pueden comparar los datos de Marzo del actual año con los de 2019 y con los de 2020.



Dirección de Operaciones
Departamento de Estadísticas

AEROPUERTOS	PASAJEROS		
	Total	% Inc 2021 /s 2020	% Inc 2021 /s 2019
ADOLFO SUÁREZ MADRID-BARAJAS	971.453	-50,8%	-80,2%
BARCELONA-EL PRAT J.T.	423.774	-70,1%	-89,3%
GRAN CANARIA	275.655	-53,0%	-78,9%
PALMA DE MALLORCA	272.209	-47,4%	-79,1%
TENERIFE NORTE-C. LA LAGUNA	203.298	-2,5%	-56,6%
MÁLAGA-COSTA DEL SOL	166.876	-72,8%	-87,7%
TENERIFE-SUR	103.848	-78,3%	-90,6%
FUERTEVENTURA	102.232	-59,7%	-79,9%
LANZAROTE-CESAR MANRIQUE	84.980	-71,9%	-87,3%
VALENCIA	71.357	-69,8%	-89,3%
IBIZA	65.989	-33,8%	-72,5%
ALICANTE-ELCHE	61.938	-86,9%	-93,8%
BILBAO	53.354	-69,2%	-87,9%
LA PALMA	52.754	-14,6%	-61,5%
SEVILLA	52.154	-79,7%	-91,9%
MENORCA	38.868	-22,8%	-65,6%
VIGO	24.116	-16,3%	-71,6%
MELILLA	23.867	52,7%	-21,9%
A CORUÑA	23.856	-46,4%	-78,1%
SANTIAGO-ROSALÍA DE CASTRO	22.781	-70,8%	-89,2%
FGL GRANADA-JAEN	15.545	-62,0%	-85,8%
EL HIERRO	15.271	55,0%	-23,6%
ASTURIAS	14.950	-63,3%	-86,5%
ALMERIA	10.504	-49,4%	-80,9%
JEREZ DE LA FRONTERA	7.840	-68,4%	-89,6%
SEVE BALLESTEROS-SANTANDER	6.619	-79,5%	-92,6%

Figura 1.2: Tráfico aéreo de pasajeros en aeropuertos españoles (Fuente: AENA)

Los datos reflejan una bajada drástica del flujo de pasajeros, dando en el aeropuerto Seve Ballesteros-Santander, una bajada de pasajeros del 92,6% respecto a 2019. Estos datos son trágicos para cualquier aeropuerto, haciendo más evidente que uno de los sectores más afectados por esta pandemia ha sido el aeronáutico.

Hasta el momento de la explosión de la pandemia, los aeropuertos secundarios nacionales o con menor tráfico estaban tomando una posición estratégica importantísima debido al auge de las compañías aéreas low cost. Estas compañías buscan reducir al máximo sus costes de operación, resultando en la búsqueda de aeropuertos secundarios para abaratar dichos costes. Uno de esos aeropuertos beneficiados es el Aeropuerto Seve Ballesteros-Santander, donde en 2019 contaba con



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

un total de siete compañías aéreas distintas para servir un total de unas 17 rutas, dependiendo de la temporada estacional. Es posible llevar a cabo este servicio gracias a la ampliación a la que se vio sometido entre los años 2008 y 2009.

En un sector tan importante para la seguridad ciudadana como es el aéreo, donde cualquier mínimo error puede conllevar una catástrofe, es de vital importancia tener un adecuado protocolo que asegure la navegación aérea. Este proyecto se centra en una baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos, clave para la navegación aérea alrededor de la ciudad de Santander debido a que su aeropuerto se encuentra a cinco kilómetros de la misma.

El presente trabajo busca electrificar mediante una de las energías renovables en auge, la energía solar, una baliza de iluminación de obstáculos aeronáutica situada en lo alto del Monte Peñacastillo. Esto se debe a las complicaciones que surgen con la arbolada mediante la presente electrificación a través del tendido eléctrico, así como el compromiso de AENA de electrificación mediante energías renovables de sus infraestructuras. Instalada en los años 80, la baliza cuenta con una ubicación estratégica que permite indicar a las aeronaves la ubicación del Monte de Peñacastillo, pero con la complicación técnica de que está situada en lo alto del monte, lo que dificulta enormemente el acceso a la baliza y la electrificación, haciéndola una situación idónea para hacer una instalación solar fotovoltaica aislada.

1.2 MOTIVACIONES

La aeronáutica es un sector muy amplio, en el que el principal objetivo es el transporte de pasajeros y carga a distintos destinos. Como toda actividad, conlleva unos riesgos que hay que intentar minimizar al máximo, para lo que se emplean protocolos de seguridad concretos. Uno de esos procedimientos es la señalización e iluminación de obstáculos aeronáuticos, que busca señalar adecuadamente para la navegación aérea posibles obstáculos que puedan interferir en ella. Esa iluminación y señalización requiere de una energía, lo que hace el nexo perfecto para poder buscar un origen de esta, sostenible y renovable.

La principal motivación de este proyecto es conseguir integrar la energía necesaria para el funcionamiento de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáutica mediante una fuente de origen renovable y solucionar así los presentes problemas de electrificación. El hecho de que sea un Trabajo Fin de Grado con un objeto práctico real hace que este trabajo tenga un carácter de proyecto de ingeniería similar al que hubiera podido realizar un Estudio de Ingeniería contratado a tal efecto, lo cual supone una motivación importante al poder poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el Grado en esta materia. Esto último ha sido posible gracias a los datos reales y ayuda técnica proporcionada por AENA, así como por la visita realizada el 21 de Febrero de 2021 al emplazamiento de la baliza.

Aunque sea de manera pequeña y secundaria, y aunque no sea el objetivo principal del proyecto, el poder contribuir a la transición ecológica que se está llevando a cabo en



Néstor Diego Revuelta

la sociedad para la transformación de la obtención y explotación de fuentes de energías renovables y sostenibles, ha sido un verdadero privilegio.

Pero sin lugar a duda, la principal motivación del origen de este proyecto es mi pasión por el mundo de la aeronáutica, dado por la cercana vinculación de mi familia con este sector, lo cual hizo que desde un inicio intentara resolver un problema técnico en materia de energía relacionado con este ámbito. El poder haber encontrado un tema para el Trabajo Final de Grado que me haya permitido combinar mis dos pasiones como son la aeronáutica y las energías renovables, me ha permitido enfocar el Trabajo como una oportunidad para seguir aprendiendo sobre las dos temáticas.

1.3 ALCANCE Y OBJETIVOS

El presente Trabajo Fin de Grado está enmarcado dentro del Plan de Estudios del Grado en Ingeniería de Recursos Energéticos de la Universidad de Cantabria, y es realizado con objeto de cumplir con los requerimientos para la obtención del Grado en Ingeniería de Recursos Energéticos.

El principal objetivo del trabajo es realizar el estudio de viabilidad que analice la posible electrificación de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáutica del Monte de Peñacastillo en Santander mediante energía solar fotovoltaica para mejorar la situación actual que presenta el tendido eléctrico, así como por el compromiso de AENA por la utilización de energías renovables para el suministro energético de sus infraestructuras. De esta manera, se busca que el trabajo sirva como base para la realización de un proyecto de ingeniería posterior para este cometido.

Asimismo, en este proyecto se realiza un análisis económico de la inversión necesaria para llevar a cabo este proyecto, lo cual hace que no sea un documento meramente técnico, sino también económico.

Finalmente indicar que, desde el punto de vista académico, el objetivo del trabajo ha sido profundizar en todas aquellas materias relacionadas con el ámbito de las energías renovables, así como del análisis de inversiones energéticas.

El alcance futuro que puede tener el trabajo es muy amplio, ya que puede servir como ejemplo para la electrificación de distintos elementos aeroportuarios aislados mediante energías renovables.

1.4 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

El presente proyecto se desarrolla en seis apartados distintos, organizados de la manera en la que se redacta a continuación.

Este primer apartado trata de dar visibilidad al propósito principal del proyecto, así como introducir los conceptos más importantes dentro del propio trabajo.

El segundo apartado trata de dar una visión actual al estado del arte de la energía solar fotovoltaica, así como del señalamiento e iluminación de obstáculos aeronáuticos. En él se presentan temas como la investigación más reciente o la normativa actual dentro de los ámbitos mencionados.



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

En el tercer apartado se presenta el caso de estudio, el cual dará una idea concreta de la ubicación e instalaciones eléctricas asociadas a la baliza aeronáutica situada en lo alto del Monte Peñacastillo. Se tratan temas desde el modelo de la propia baliza, la ubicación de la propuesta actual de electrificación y el régimen de funcionamiento de la baliza, permitiendo definir la potencia de la baliza con la que se trabaja en los siguientes apartados.

El cuarto apartado es el de metodología, donde se presenta toda la formulación y teoría necesaria para llevar a cabo los cálculos para la instalación solar fotovoltaica. También se hace referencia a las distintas fuentes consultadas en materia de tablas de radiación solar, junto con el software utilizado para las simulaciones que se llevan a cabo para determinar la producción anual. Asimismo, se presenta la formulación necesaria para el análisis de inversiones en materia económica.

El apartado de resultados es el quinto apartado, y más importante en el proyecto. En él se muestran todos los resultados obtenidos mediante la formulación presentada en el apartado anterior, junto con las tablas de radiación solar que servirán como base para los cálculos. En base a los cálculos realizados y los resultados obtenidos, se eligen los distintos equipos que constituirán finalmente la instalación, por lo que se justifica la importancia del apartado. Es el apartado más extenso, concluyendo con el análisis económico en base al presupuesto creado para el proyecto.

Finalmente, el último apartado trata sobre las conclusiones que se pueden extraer del trabajo. También se habla de la utilidad práctica del trabajo y sus futuras líneas de desarrollo, ya sea mediante la electrificación directa mediante energía continua con energía solar fotovoltaica, electrificación mediante energía eólica o la electrificación mediante un modelo mixto que incluya energía solar fotovoltaica y energía eólica.



2. ESTADO DEL ARTE

2.1 ESTADO DEL ARTE DEL SEÑALAMIENTO E ILUMINACIÓN AERONÁUTICA

2.1.1 Introducción al señalamiento e iluminación de obstáculos aeronáuticos

El señalamiento y la iluminación de obstáculos aeronáuticos es un factor de vital importancia dentro de la aeronáutica, ya que ayuda a prevenir de posibles colisiones y complicaciones a las aeronaves respecto de los obstáculos que la rodean.

Inicialmente se deben tener claros algunos conceptos relacionados con el señalamiento y la iluminación de obstáculos aeronáuticos. El documento guía sobre señalamiento e iluminación de obstáculos se denomina "*Señalamiento e iluminación de obstáculos*" y está elaborado por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA). Esta guía previamente mencionada está basada en las normas internacionales de aviación dictadas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), en su documento denominado Anexo 14 [6].

Según la citada guía, se define obstáculo como "todos los objetos fijos (ya sean temporales o permanentes) y móviles, o partes de los mismos, que:

- Se encuentren en un área destinada al movimiento en superficie de aeronaves, o
- Sobresalgan de una superficie definida destinada a proteger las aeronaves en vuelo, o
- Queden fuera de dichas superficies definidas y se haya considerado como un peligro para la navegación aérea." [7]

2.1.2 Objetivos de la señalización e iluminación de obstáculos

El objetivo principal del señalamiento y la iluminación de obstáculos aeronáuticos es mejorar la seguridad aeronáutica, de forma que se ayude a determinar la ubicación del peligro a los pilotos de las aeronaves. Esto no necesariamente reduce las restricciones operativas que pueda imponer el obstáculo, pero cuando sea imposible reducir el obstáculo y no afecte a la seguridad, éste deberá ser señalizado y/o iluminado completamente para su correcta visualización por parte de los pilotos en todo tipo de clima y visibilidad, tal como lo establece tanto el Real Decreto 862/2009 como el Capítulo 6 del DOC.9137 de OACI. [8]

Dichos obstáculos aeronáuticos pueden estar tanto dentro de los terrenos directamente considerados como instalaciones del propio aeropuerto, o fuera de estos. El aeropuerto será el encargado de la vigilancia y el control de obstáculos que se puedan generar mediante acciones, tanto dentro como fuera de sus terrenos, así como los mecanismos de autorización de construcciones, instalaciones y actividades asociadas que se encuentren dentro de la jurisdicción del aeropuerto, en colaboración con la autoridad aeronáutica nacional (AESA).



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

2.1.3 Normativa Asociada

Existen distintas agencias y organizaciones de seguridad aérea cuya normativa es de obligado cumplimiento para España. En Europa, se cuenta con la normativa establecida en el Reglamento (UE) 139/2014, específicamente en el capítulo Q se desarrollan las especificaciones de certificación para el diseño de aeródromos, que fueron adoptadas por la Decisión 2015/0001/R por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA).

Sin embargo, pese a intentar unificar criterios en la Unión Europea, todas estas normas también se rigen por la normativa internacional de OACI, a través de su documento denominado Anexo 14 [9], cuya importancia es tal que en España también se traspuso a la legislación española mediante el Real Decreto 862/2009 del 14 de Mayo.

2.1.4 Casos de aplicabilidad

Acorde a la guía de señalamiento e iluminación de obstáculos de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea mencionada previamente:

“Serán susceptibles de señalamiento y/o iluminación aquellas construcciones e instalaciones que, por su condición, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) determine que es necesario, en los siguientes casos:

- Obstáculos que se encuentren dentro de las zonas afectadas por Servidumbres Aeronáuticas (Aeródromo, radioeléctricas y de Operación), independientemente de la altura del obstáculo (Decreto 584/1892, de 23 de febrero, de servidumbres aeronáuticas, modificado por el Real Decreto 297/2013, de 26 de abril) (Decreto 584/1972)
- Obstáculo cuya altura sea superior a 100 metros en todo el territorio nacional, sobre planicies o partes prominentes del terreno o nivel del mar dentro de agua jurisdiccionales. Dichos obstáculos que sobrepasen tal altura deberán ser autorizados por AESA. En los acuerdos de autorización que esta Agencia emita se establecerán de forma obligatoria los condicionados oportunos para garantizar la seguridad de la navegación aérea.” [10]

Néstor Diego Revuelta

En relación con el primer punto, se determinan tres zonas básicas dentro del espacio aéreo donde se tiene un cuidado especial ya que son zonas críticas de operación: superficies de ascenso en despegue, aproximación y transición, según se muestra en la Figura 2.1.

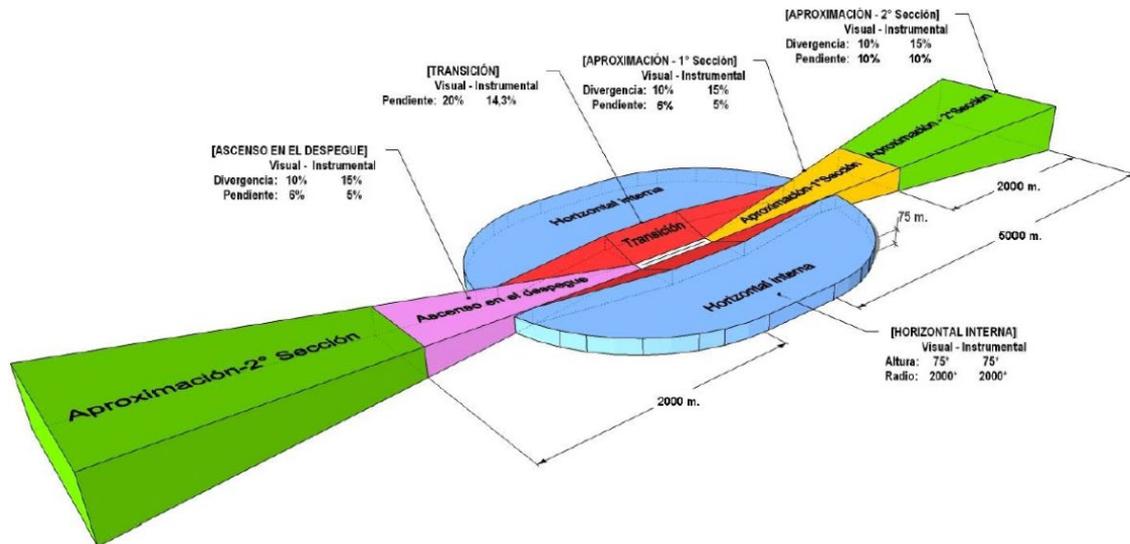


Figura 2.1: superficies delimitadoras de obstáculos (Fuente: www.proteccioncivil.es)

Todos aquellos obstáculos que interfieran en estas superficies deberán ser señalizados, y si la pista es utilizada en condiciones nocturnas, los obstáculos también deberán ser iluminados.

Más información sobre señalización de obstáculos puede encontrarse en la guía de señalamiento e iluminación de obstáculos de AESA [11].

2.1.5 Iluminación de objetos

Tal y como dice la guía de señalamiento e iluminación de obstáculos, “Las características de los distintos tipos de luces de obstáculos cumplirán con lo indicado en la Tabla Q-2 del Capítulo Q de las especificaciones de certificación para el diseño de Aeródromos CS-ADR-DSN del reglamento (UE) nº 139/2014 de la Comisión de 12 de febrero de 2014.

Además, la cromaticidad de las luces estará comprendida dentro de los límites establecidos en el Real Decreto 862/2009, de 14 de Mayo, Normas Técnicas de Diseño y Operación de Aeródromos de Uso Público, Apéndice 1; Figura A1-1 Colores de luces aeronáuticas de superficie.” [12]

A modo de resumen, para la iluminación de obstáculos se tienen tres tipos de intensidades, baja, mediana y alta, y dependiendo del uso se utilizará un tipo u otro (A, B, C), e incluso una combinación entre ellas si fuese necesario. A continuación, se define cada una de ellas:

*Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander*

Intensidad	Tipo	Uso de luces de obstáculos
Baja	A ó B	Objeto menos extenso y su altura por encima del terreno circundante es menos de 45 m. Cuando el uso de este tipo de luces no resulte adecuado o se requiera una advertencia especial anticipada, deberían utilizarse luces de mediana o alta intensidad. Las de tipo B se pueden utilizar solas o en combinación con luces de mediana intensidad tipo B.
	C	Vehículos y objetos móviles, salvo aeronaves
	D	Vehículos guía
Mediana	A, B, C	Objeto extenso ó bien que su altura por encima del terreno circundante excede de 45 m, pero es inferior a 150 m. Los tipos A y C deberán utilizarse solas, mientras que las de tipo B se pueden emplazar solas o en combinación con luces de baja intensidad tipo B. Cuando se tenga un sistema dual de iluminación, este debe estar compuesto por luces de alta intensidad (A o B) o luces de mediana intensidad tipo A para uso diurno, y de tipo B o C de mediana intensidad para uso nocturno.
Alta	A	Altura del objeto sobre el nivel del terreno circundante excede de 150 m y estudios aeronáuticos indican que las luces son esenciales para identificarlo durante el día. Cuando se dé el caso de un sistema de iluminación dual, se utilizarán luces de alta intensidad tipo A o B, junto con luces de mediana intensidad de tipo A para uso diurno y crepuscular, y con tipo B o C para uso nocturno.
	B	Torre que soporta líneas eléctricas elevadas, cables, etc cuando: a) Un estudio aeronáutico indique que estas luces son esenciales para el reconocimiento de la presencia de líneas eléctricas o cables b) No se haya considerado conveniente instalar balizas en los alambres, cables, etc.

Tabla 2.1: Clasificación y uso de luces de obstáculos

El emplazamiento de estas luces viene dado por la situación de una o más luces lo más próxima posible del extremo superior del objeto. Las luces puestas lo más arriba posible deberían de estar colocadas de tal manera que por lo menos se señalen los puntos o bordes más altos del objeto o de la agrupación de estos, para poder decretar la forma y extensión general del objeto. La distancia longitudinal por la que se tendrían que separar las luces viene dada por la intensidad de estas, siendo el espaciado de las luces de baja intensidad como máximo de 45 m y 900 m en el caso de las de mediana intensidad, como determina el Real Decreto 862/2009 [13]. El número y el

Néstor Diego Revuelta

emplazamiento de las luces será el necesario para que el objeto quede definido en todos los ángulos del azimut.

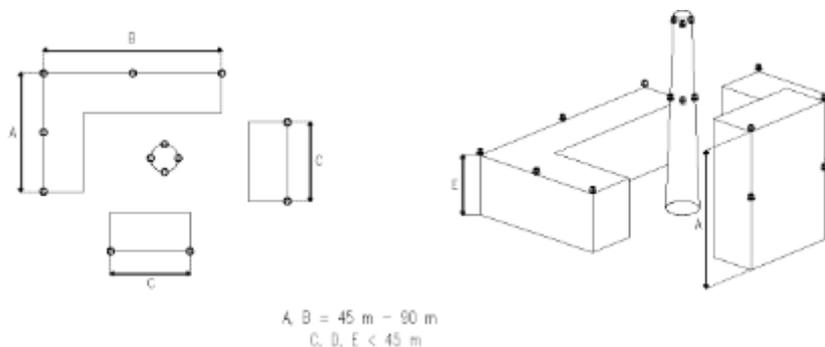


Figura 2.2: Ejemplo iluminación con media intensidad (Fuente: AESA)

Este proyecto se centra en un obstáculo que recoge las necesidades de una baliza de mediana intensidad de Tipo B. Esto se debe a que la parte superior del obstáculo supera los 45 m sobre el nivel del terreno adyacente.

En cuanto a las características de color de los diferentes tipos de luces dependiendo de la intensidad se presentan en la siguiente tabla:

Intensidad	Tipo	Color	Observaciones
Baja	A	Rojo	Fija
	B	Rojo	Fija
Media	A	Blanco	Destellos
	B	Rojo	Destellos
	C	Rojo	Fija
Alta	A	Blanco	Destellos
	B	Blanco	Destellos

Tabla 2.2: Distribución colores y características de las luces

Cuando se tengan luces de obstáculos de mediana intensidad de tipos A y B, instaladas en un mismo objeto, sus destellos serán simultáneos. En el caso de las luces de alta intensidad de tipo A, estas parpadearán al mismo tiempo. En el caso del tipo B que señalen la presencia de una torre de línea eléctrica, cables, etc, deberán ser destellos sucesivos, empezando por la luz intermedia, posteriormente la superior y finalmente la luz inferior.

2.2 ESTADO DEL ARTE DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.2.1 Introducción a la energía Solar

Las fuentes de energías renovable pueden definirse como aquellas provenientes de fuentes inagotables, como puede ser el sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal -entre otras-. La utilización de recursos con capacidad de renovarse ilimitadamente, pero que en muchos casos depende del recurso y su variabilidad, permite ir paulatinamente sustituyendo las fuentes de energía convencionales basadas en combustibles fósiles.

Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

Las energías renovables constituyen un gran porcentaje dentro del mix energético actual. Con un debate siempre abierto sobre la posibilidad de llegar a un 100% de mix eléctrico renovable, la realidad es que actualmente la potencia de generación eléctrica instalada a partir de estas tecnologías ronda el 39% del total instalado en España [14], que en 2020 fue de 110.462 MW [15]. Lideran esta instalación la energía eólica y la energía hidráulica, seguidas de cerca por la energía solar fotovoltaica.

2.2.2 Energía Solar

Dentro de las energías renovables, la energía solar es aquella que utiliza el sol como fuente de energía inagotable. El sol es una esfera de gases a altas temperaturas y presiones con un diámetro de $1'39 \times 10^6$ Km y que cuenta con una distancia a la tierra de $149'6 \times 10^6$ Km. Pese a esa distancia, la radiación que emite el sol llega a la tierra en forma de radiación electromagnética con un flujo máximo de alrededor de $1 \text{ Kw} \cdot \text{m}^{-2}$. Dicha radiación electromagnética llega con una longitud de onda que puede variar debido a la forma elipsoidal de la tierra y la afección de la atmósfera. Debido a estos factores, existe el denominado espectro de radiación solar.



Figura 2.3: Tipos de radiación (Fuente: www.sfe-solar.com)

Esta radiación puede ser aprovechada en forma de radiación directa, difusa o reflejada. La radiación directa es aquella que incide directamente sobre la superficie terrestre, mientras que la difusa es aquella radiación que se ve dispersa de su trayectoria original por la presencia de cuerpos como nubes y partículas.

Incluso en los días más despejados y claros, al menos un 10% de la radiación que llega a la atmósfera, llegará a la superficie de la tierra en forma difusa por las partículas del aire. La diferencia entre la radiación directa y la difusa se basa en que solamente la radiación directa se puede enfocar.

La geometría del sol y la tierra juegan un papel importantísimo en cuanto a la recepción de radiación solar. El plano ecuatorial es perpendicular al eje que forman el polo norte y polo sur de la tierra. Se puede definir un punto en la superficie de la tierra gracias a su longitud y latitud. Para la latitud, serán valores positivos en el caso del hemisferio norte y negativos en el hemisferio sur. En el caso de longitud, será siempre positiva cuando se mida hacia el este. El ángulo entre la dirección del sol y el plano ecuatorial es llamado declinación y varía a lo largo del año desde los $-23,45^\circ$ hasta los $23,45^\circ$, lo que hace que se tengan diferentes estaciones. Esto se traduce en que cuanto mayor sea este ángulo, en el hemisferio norte estaremos lo más próximo posible al sol, obteniendo una mayor radiación directa. Por el otro lado, el caso más desfavorable será cuando el ángulo sea lo más pequeño posible, lo que indicará que se está lo más alejados del sol posible.



Néstor Diego Revuelta

Se requieren tres datos fundamentales para la realización de cálculos básicos en instalaciones de energía solar: altitud solar, azimut solar y el ángulo de incidencia, todos ellos dependientes a su vez de la declinación y la latitud del lugar del emplazamiento elegido, lo que hace tener una idea más clara de la importancia de la geometría de la tierra para la utilización de esta energía renovable.

2.2.3 Tipos de energía solar

Como se ha indicado anteriormente, la energía solar es aquella que utiliza la radiación solar para transformarla directamente en energía térmica o energía eléctrica. Es considerada una fuente renovable ya que produce ilimitadamente sin llegar a agotarse el recurso del cual estamos obteniendo la energía. El tipo de colector y el uso que le demos determinará si es una instalación de energía solar térmica o una instalación de energía solar fotovoltaica.

Por un lado, la energía solar térmica utiliza una metodología enfocada al intercambio de calor, donde un colector actúa como un intercambiador de calor transformando la energía de la radiación solar en energía térmica que calienta un fluido de trabajo. Ese fluido de trabajo puede después ser utilizado directamente para calentar el agua o llevado a un tanque de almacenamiento donde se almacena el calor generado. Este tipo de tecnología es utilizada comúnmente para aplicaciones de agua caliente sanitaria en construcciones residenciales, donde además debe contribuir en un 70% a la generación de agua caliente sanitaria, acorde a lo indicado en la normativa vigente [16].

Por el otro lado, la energía solar fotovoltaica transforma directamente la radiación solar en electricidad, y es una tecnología bien extendida en la sociedad. Se pueden encontrar ejemplos de su aplicación en elementos tan comunes como relojes o calculadoras, y en dispositivos más complejos como satélites o en sistemas de iluminación residencial/industrial.

A modo general, las instalaciones de energía solar fotovoltaica se pueden dividir en las siguientes categorías: instalaciones aisladas con consumo directo, instalaciones con almacenamiento en baterías, instalaciones con generador de reserva, instalaciones conectadas a la red (pequeña escala), instalaciones conectadas a la red (producción a gran escala) y sistemas híbridos.

En este caso, este trabajo se centrará en la electrificación mediante tecnologías solares fotovoltaicas de una baliza de obstáculos aeronáutica en un emplazamiento aislado, por lo que se proyectará un sistema aislado con almacenamiento en batería. Existen dos tipos básicos de instalaciones aisladas, y dependiendo del tipo que elijamos estará compuesto por unos componentes u otros. El primer tipo es aquel que suministra directamente al foco consumidor sin necesidad alguna de almacenamiento, por lo que no se será necesario incorporar un controlador de carga. El segundo tipo es aquel que incorpora almacenamiento, por lo que serán necesarios componentes como el regulador de carga y baterías. Las ventajas de este último tipo incluyen: el poder almacenar los excedentes en la producción de energía eléctrica de forma que, si por cualquier motivo la instalación no se produce en el período requerido, se puede recurrir

Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

a esa energía almacenada. Este último será el caso de la baliza objeto del trabajo, ya que solo funciona en horario nocturno y la energía se producirá en horario diurno, como se especificará en apartados posteriores.

2.2.4 Componentes de una instalación solar fotovoltaica

2.2.4.1 Panel Fotovoltaico

El panel es la parte más importante de la instalación, ya que nos determina la eficiencia que obtendremos. Está compuesto principalmente por células fotovoltaicas que pueden ser monocristalinas o policristalinas. En el caso de células monocristalinas, la célula está formada por un único cristal, mientras que si se trata de una célula policristalina estaría formada por varios cristales. Las eficiencias más altas vienen dadas por los paneles monocristalinos, sin embargo, tienen el inconveniente de que son más caros. Para uso doméstico, la opción más común es la de las células policristalinas debido a su precio más económico y que no existe tanta diferencia en cuanto a lo que eficiencia eléctrica se refiere.

Otras partes fundamentales del panel vienen indicadas en la Figura 2.4. Se trata del marco, el cristal, el encapsulado, la cubierta posterior y la caja de conexiones. Todos estos elementos (menos la caja de conexiones) se diseñan para la protección del módulo, el cual está constituido por células conectadas normalmente en serie. El comportamiento de estos componentes en cuanto a la protección del exterior se refiere, debería ser óptimo y duradero.

PARTES DE UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

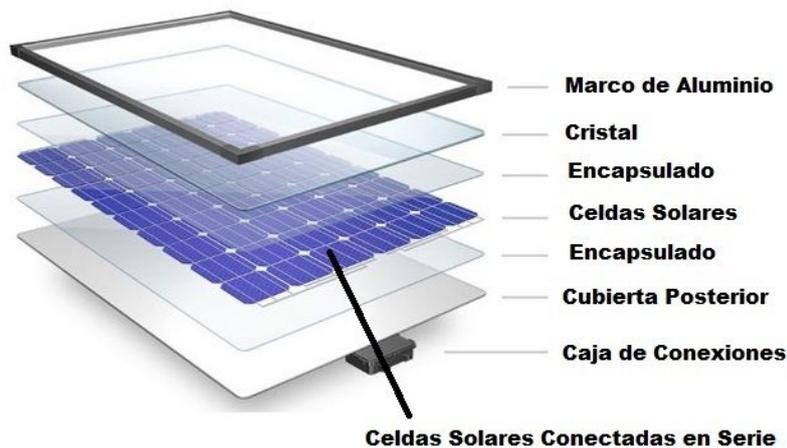


Figura 2.4: Componentes de un panel fotovoltaico (Fuente: teslaenergy.cl)

2.2.4.2 Inversor

El inversor es el encargado de convertir la corriente continua (DC) a corriente alterna (AC), y es un elemento presente en instalaciones que estén tanto aisladas como conectadas a la red. Cuanto mayor calidad tenga el inversor, mejores señales sinusoidales producirá, incrementando así la calidad y la eficiencia de la conversión.



Néstor Diego Revuelta

Existen varios tipos de inversores, donde las tres categorías más destacadas son con transformador, sin transformador o de alta frecuencia. La elección de un tipo u otro dependerá de factores como la potencia a instalar, así como los voltajes utilizados. También dependerá de si estamos considerando una instalación a gran escala o una instalación de autoconsumo pequeña, por ejemplo.

La principal función del inversor es conseguir una eficiencia que ronde el 95% de conversión con el mayor rango de potencia posible, así como generar una corriente que sea síncrona y viable para el sistema. Una de las funciones más importantes es la del seguimiento del punto de potencia máximo, lo que permitirá trabajar en el punto exacto donde más potencia se esté produciendo mediante el seguimiento y propio ajuste a las condiciones de trabajo del sistema. Se logra este control mediante la variación del voltaje y evaluación de la potencia suministrada, hasta hallar el punto exacto. Este último punto también es imprescindible para controlar la red a la estemos conectados y prevenir el aislamiento completo de la instalación. Por último, el inversor permite implementar protecciones eléctricas en el sistema para prevenir daños por posibles bajadas y subidas de tensión repentinas.

El inversor puede tener distintas configuraciones en función del sistema al que esté conectado, ya que algunas configuraciones tendrán aplicaciones muy distintas a las otras. El inversor de tipo central, por ejemplo, permite controlar todos los módulos de nuestra instalación con un solo inversor, lo que reduce los costes considerablemente. La desventaja es la eficiencia será menor ya que es un solo inversor el que controla todos los módulos, y por lo tanto no todos los módulos estarán trabajando en una misma condición, por lo que adaptará unas condiciones de trabajo medias.

La otra configuración destacada sería la del inversor por módulo, que consta de un inversor por cada módulo que tengamos instalado. Esto incrementa los costes asociados a la inversión de capital ya que cada módulo necesitará su propio inversor, y en caso de fallo del módulo o del inversor, los dos elementos tendrán que ser reemplazados. Sin embargo, el seguimiento del máximo punto de potencia será lo más eficiente posible ya que este se adaptará individualmente a las condiciones de trabajo de cada módulo.

2.2.4.3 Controlador de carga/Regulador

Es el elemento clave en instalaciones aisladas como la que se va a diseñar en este trabajo. Controla el estado de las baterías usando la energía producida en el módulo fotovoltaico para cargarla o suministrar la potencia directamente al consumidor (en nuestro caso la baliza de obstáculos aeronáutica).

Además, tiene otras funciones clave como prevenir sobrecargas y descargas en las baterías, dando así información clave al usuario sobre la situación de las baterías. También puede auto armar la autoprotección junto con el seguimiento del punto de máxima potencia.



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

2.2.4.4 Conversor DC-DC

Una instalación fotovoltaica puede trabajar con varios tipos de carga dependiendo de las condiciones de aplicación, y cada una de estas cargas tendrá su propio voltaje e intensidad, por lo que un conversor será necesario para intentar homogeneizar al máximo estos picos. Lo que permite el conversor DC-DC es la posibilidad de que cada módulo genere un voltaje de salida independiente del voltaje de trabajo establecido. Las eficiencias de estos elementos se acercan al 95% en el peor de los casos, por lo que su uso está más justificado al trabajar con voltajes bajos y querer subirlos para ahorrar en costes.

2.2.4.5 Cableado

Es importante tener en cuenta el dimensionado del cableado, ya que puede generar no solo problemas técnicos, sino una subida innecesaria del presupuesto inicial. Mediante un conversor DC-DC incrementamos el voltaje de trabajo, lo que disminuye la corriente asociada y por tanto el diámetro del cable. Para el dimensionado se debe tener en cuenta la conductividad del cable y la caída de tensión admisible.

2.2.4.6 Almacenamiento

El almacenamiento de las instalaciones fotovoltaicas es un elemento de vital importancia, aunque estas puedan suponer un coste adicional importante en la inversión económica, teniendo en cuenta que la vida media de una batería ronda los 10 años. Hay varios tipos de baterías incluyendo: litio, gel, estacionarias, AGM y de plomo ácido. Actualmente las baterías que dominan el mercado son las que están constituidas a base de plomo. Esto es debido a su coste, más barato que otros tipos de baterías, pese a que necesitan mantenimiento y tienen que cumplir unos mínimos de carga. Las baterías de litio y gelificadas comparten bastantes características y tienen una vida útil de entorno a los siete años, sin requerir un gran mantenimiento. Las baterías estacionarias requieren un controlador de carga ya que necesitan ser cargadas contantemente para un correcto funcionamiento, lo que también incluye un mantenimiento semiconstante. Y, por último, las baterías AGM son las que tienen una mejor y más rápida absorción de la energía producida, pero el punto en contra es su elevado coste.

También podemos catalogar las baterías en función del voltaje que vayan a utilizar, comúnmente 12, 24 y 48 V. El precio de la batería será determinado por la potencia que pueda almacenar, teniendo en cuenta que las instalaciones se suelen sobredimensionar para los días pocos favorables en términos de producción energética.

Los ciclos de carga y descarga conllevan una reducción la capacidad de la batería, ya que la sulfatación afecta a los electrodos. La capacidad de la batería dependerá de las condiciones climatológicas que tengamos en el lugar, ya que en caso de no poder cargarse un día tendrá que recurrir a lo almacenado previamente.

Néstor Diego Revuelta

2.2.5 Funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica

Las células fotovoltaicas usan materiales semiconductores para capturar la energía del sol, la cual está compuesta de fotones. Los fotones contienen energía definida por su longitud de onda dentro del espectro de la radiación solar visto en apartados anteriores. En cuanto a la absorción de los fotones tenemos tres pasos para que las células fotovoltaicas absorban dichos fotones:

1. Los fotones pasan a través de la célula
2. Los fotones se reflejan en la superficie
3. Sólo los fotones con una energía concreta son absorbidos por la unidad fotovoltaica, liberando un hueco en el fotón.

El electrón que es liberado deja un hueco que es ocupado por electrones de átomos cercanos, para después repetir el proceso anterior hasta que se alcance el circuito eléctrico externo. Este proceso convierte los fotones capturados en electrones libres que al ser capturados originan una corriente eléctrica.

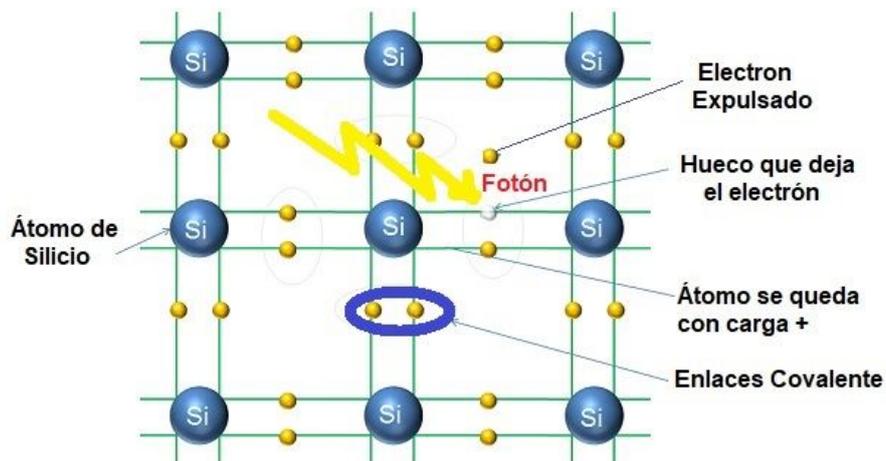


Figura 2.5: Absorción fotones (Fuente: www.areatecnologia.com)

En la Figura 2.5 se puede observar cómo los átomos de silicio están colocados de una manera ordenada y junta gracias a los enlaces covalentes. Esto es debido a que, pese a que el silicio en si es uno de los elementos más usados para las células fotovoltaicas, el silicio puro actúa mejor como aislante que no como conductor. Es aquí donde entra en juego el efecto dopante, ya que con un dopante adecuado, el silicio se convierte en un semi conductor que puede ser de tipo P o de tipo N, dando lugar a la estructura que se muestra en la Figura 2.5. El tipo N es alcanzado mediante dopar el silicio con elementos del grupo V de la tabla periódica como el fósforo o el arsénico, y el propósito principal de este tipo de dopaje es el producir una cantidad significativamente grande de electrones que tengan la capacidad de moverse con facilidad. Sin embargo, el tipo de dopaje P, lo que hace es que crea una abundancia de huecos libres para así facilitar la obtención de energía mediante el movimiento de los electrones libres a estos huecos.

Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

Este proceso de dopaje se lleva a cabo mediante elementos de la tabla periódica, habitualmente siendo estos aluminio o boro.

Para que no haya una descompensación entre los dos tipos de dopaje (P y N) que se han mencionado en el último párrafo, se tendría que tener en cuenta otro factor importante como sería la formación de una unión P-N, siendo esto una frontera entre los dos semiconductores, dando lugar a una compensación de número de electrones libre y huecos.

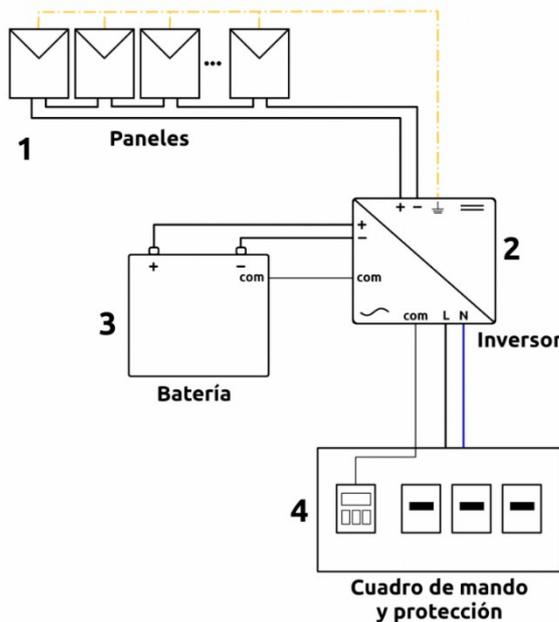


Figura 2.6: Funcionamiento de una instalación (Fuente: www.helioesfera.com)

Una vez la radiación se transforma en electricidad, entran en juego el resto de los componentes de la instalación. El primer paso justo después de la obtención de la energía eléctrica es la conversión de corriente continua a corriente alterna. Este proceso se lleva a cabo mediante el inversor, que también es el encargado de verter los excedentes a la red o al sistema de almacenamiento (normalmente baterías). El encargado de controlar el estado de carga de las baterías y la cantidad de energía producida y consumida para poder regular el sistema. Para ello, se comunica con el inversor, que

dependiendo del momento podrá diferenciar entre distintas configuraciones. Este puede estar conectado a la batería y al inversor, o integrado en el cuadro de mando, como se muestra en la Figura 2.6.

2.2.6 Estado del arte de la tecnología fotovoltaica actual

A lo largo de estos últimos años, la innovación en este sector ha llegado para quedarse. Se pueden encontrar grandes avances en la integración arquitectónica de los paneles solares, ya cada vez están más integrados en los edificios y marquesinas [17], por ejemplo.

Por otro lado, las diferentes categorías de tecnología fotovoltaica en el ámbito de las células se pueden clasificar en función del material empleado. Las primeras tecnologías o primera generación, se caracteriza por ser una mezcla de silicio cristalino, que actualmente sigue copando el 90% del mercado aproximadamente. Estas células pueden ser monocristalinas o policristalinas, como se ha indicado anteriormente.

Con relación a la segunda y tercera generación, se empezaron a usar tecnologías con películas cada vez más finas que conllevan a un aumento en la eficiencia global de la célula. Para lograr esto se utilizan tecnologías asociadas al silicio amorfo, sulfuros de cobre, zinc y estaño. Lamentablemente, la realidad es que estas tecnologías siguen muy por detrás de la eficiencia que ofrecen las células de la primera generación. [18]

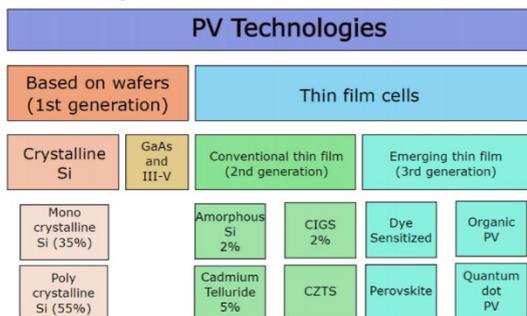


Figura 2.7: Tipos de tecnología (Fuente: Apuntes de clase)

Cell Type	Efficiency	Stability	Production Costs	Environmental Impact
Mono-crystalline Si	Very High	Excellent	Very High	Medium-Low
Poli-crystalline Si	Very High	Excellent	Medium	Medium-Low
Amorphous Si (mono-junction)	Low	Very Low	Low	Medium-Low
Amorphous Si (multi-junction)	Low	Low	Low	Medium-Low
III-V Materials	Very High	Excellent	Super-High	Potentially High
Thin film (other compounds)	Medium	Good	Low	Potentially High
Organic Cells	Low	Low	Potentially Low	Very Low

Figura 2.8: Factores en función de la tecnología (Fuente: Apuntes de clase)

Además, en la actualidad se están desarrollando tecnologías que intentan ser más respetuosas con el medio ambiente, mediante células de origen orgánico o reciclado, que ni de lejos llegan a cumplir con una eficiencia mínima, ni con una estabilidad aceptable.

Por otro lado, en la industria de las baterías está habiendo una gran revolución, en parte gracias a empresas como Tesla. Estas empresas están revolucionando el mercado a base de grandes proyectos como es el Powerwall [19], con cifras antes impensables en baterías de almacenamiento. Sin embargo, estas tecnologías aún están a precios prohibitivos, haciendo que las baterías tradicionales de litio aumenten su calidad y reduzcan su precio para no verse superadas por estas nuevas tecnologías.

Finalmente, otras nuevas fuentes de almacenamiento como las tecnologías asociadas al hidrogeno están tomando una relevancia considerable. La idea consiste en producir hidrogeno mediante la producción de energías renovables como la solar fotovoltaica para luego almacenar ese hidrógeno. Hay dos procesos en la actualidad que permiten llevar a cabo esta técnica, y son la electrolisis mediante la energía producida por la solar fotovoltaica o directamente la separación de moléculas de hidrógeno contenidas en el agua. El hidrógeno después es almacenado o utilizado con otros fines. Un ejemplo de esta nueva tecnología es Power to X. Power to X consiste en el primer método de obtención de hidrógeno mencionado anteriormente, con el cual se produce energía a través de la energía solar fotovoltaica (u otros tipos de energía

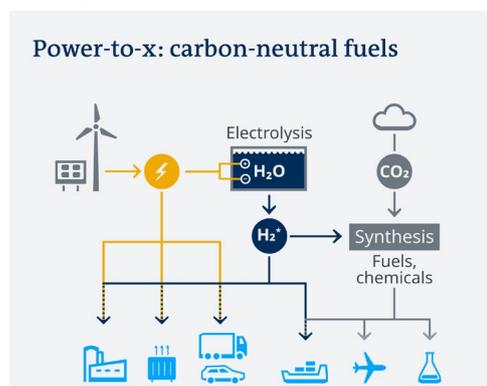


Figura 2.9: Sistema general Power to X (Fuente: www.dw.com)



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

renovable). Esta energía es después utilizada para electrolizar agua, con la obtención de hidrógeno como objetivo. El hidrógeno producido puede almacenarse para su posterior uso, o directamente ser tratado químicamente para el uso a modo de combustible [20]. Este proceso está pensado para excedentes de energía producida y está aún en desarrollo debido a su complicada implementación [21].

2.3 MARCO REGULATORIO DE LA ENERGÍA

El sistema eléctrico español consta principalmente de cuatro fases: la generación, el transporte, la distribución y la comercialización. El transporte está regulado y gestionado por Red Eléctrica de España (REE), mientras que la distribución está gestionada por las compañías distribuidoras habilitadas a tal efecto en función de las diferentes zonas geográficas, mientras que la generación y la comercialización son sectores liberalizados. Esto quiere decir que mientras que el transporte y la distribución solo puede ser ejercida por REE o empresas distribuidoras, cualquiera puede generar energía libremente, aunque obviamente, también tendrá que cumplir una legislación específica.

En cuanto a lo que al autoconsumo se refiere, este ámbito entra dentro del marco de la generación, pero este proyecto se va a centrar únicamente en la generación de autoconsumo con origen fotovoltaico, para lo que existe una amplia legislación específica. Dentro del autoconsumo por tecnologías fotovoltaicas, cabe diferenciar las modalidades vistas en el anterior apartado, dependiendo de cómo empleemos dicha instalación. Se diferencia a grandes rasgos en dos bloques distintos: instalaciones aisladas e instalaciones conectadas a la red. En cualquier caso, si estamos hablando de autoconsumo, se puede determinar que estas instalaciones serán consideradas como instalaciones de baja tensión debido a que la totalidad de los módulos fotovoltaicos trabajarán con un voltaje menor que el de alta tensión.

Con relación a lo mencionado en el anterior párrafo, se puede obtener el primer documento con el que se legisla este tipo de instalaciones, siendo este el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, aprobado mediante el RD 842/2002 del 2 de Agosto. Este documento regula las instalaciones de baja tensión (tensiones de hasta 1000 V en corriente alterna o bien 1500 V en corriente continua). Del REBT la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) que incluye los generadores fotovoltaicos es la ITC-BT-40, la cual regula las instalaciones generadoras de baja tensión. En esta ITC se puede determinar que el caso que se está proyectando entrará dentro de la clasificación como instalación generadora aislada, la que se define como “aquellas en las que no puede existir conexión eléctrica alguna con la Red de Distribución Pública” [22]. El REBT, sin embargo, no especifica más allá sobre este tipo de instalaciones y en su última modificación a 1 de Octubre de 2020, hace referencia al artículo 9 de la ley 24/2013 del 26 de Diciembre y el artículo 4 del Real Decreto 244/2019 del 5 de Abril. La ITC-BT-40 también redacta que en el caso de las instalaciones generadoras aisladas (como el caso que se está proyectando), necesitarán un dispositivo que permita conectar y desconectar la carga



Néstor Diego Revuelta

ante la imposibilidad de la conexión a la Red de Distribución Pública, por lo que se precisará un interruptor de interconexión.

El Real Decreto 244/2019 del 5 de Abril sí es importante dentro de este proyecto, ya que es el Real Decreto por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Este Real Decreto junto al Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de Octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores, derogan casi íntegramente el anterior (Real Decreto 900/2015), por el cual entraba en vigor el impuesto conocido como 'impuesto al sol'. Así, el punto más destacable de estos dos decretos es la ya comentada suspensión del 'impuesto al sol'. También hay que destacar que en este documento se indica que de ninguna manera la potencia instalada mediante autoconsumo podrá exceder los 100 kW. En cuanto al autoconsumo se diferencia en dos grandes bloques conocidos como modalidad de suministro con autoconsumo sin vertiente y modalidad de suministro con autoconsumo con vertiente, siendo este proyecto objeto de la primera definición. Como indica el nombre del Real Decreto, el resto del documento está enfocado a la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

El siguiente Real Decreto destacable es el Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. En él se diferencia entre los diferentes tipos de energías renovables y clasificación de las mismas. Incluye la participación de las energías renovables en el mercado eléctrico, y las posibles retribuciones por dicha participación. Lo más destacado del documento es el título V, en el que se incluyen todos los procedimientos y registros administrativos que se deben llevar a cabo para la instalación de tecnologías de generación eléctrica renovable. Hará falta hacer la inscripción en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica, en el caso proyectado irá en la sección segunda de dicho registro al ser una instalación con una potencia instalada de menos de 50 MW.

De esta manera, y para que sea más sencillo identificarla, la legislación actual aplicable a cualquier proyecto de instalación de tecnologías fotovoltaicas de autoconsumo consiste en los siguientes Reales Decretos y Leyes:

- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. [23]
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. [24]



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGIA
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. [25]
- Real Decreto Ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. [26]
- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. [27]

Esta legislación deberá ser conocida y aplicada tanto por proyectista como instalador, a la hora de llevar a cabo el proyecto.

Néstor Diego Revuelta

3. CASO DE ESTUDIO

3.1 PRESENTACIÓN DE LA BALIZA



Figura 3.1: Imagen de la baliza

La baliza de iluminación de obstáculos con la que se va a trabajar se encuentra situada en el Monte Peñacastillo en Santander, a escasos siete kilómetros del aeropuerto de Santander-Seve Ballesteros. La baliza se encuentra en la parte más alta del Monte Peñacastillo, que cuenta con 139 m sobre el nivel del mar [28]. La baliza está montada sobre una torre metálica, cerrada y con protección de escala suplementada. La baliza utilizada es el modelo L-864 con una luz roja de LED de la marca LUXSOLAR, intermitente, emitiendo 60 fpm (destellos por minuto) y consumiendo 9,3 W según la ficha del fabricante [29]. La baliza sólo está

operativa en horario nocturno y su método de encendido y apagado es mediante un reloj astronómico y contactor. El reloj astronómico está configurado para encender la baliza media hora antes del ocaso y apagarla media hora después de la salida del sol.

El cuadro eléctrico de la baliza está situado al norte de la baliza, en el barrio que se encuentra al pie del monte, como se muestra en la Figura 3.2. Como se puede observar en las diversas figuras, el principal problema para la electrificación mediante tendido eléctrico aéreo que presenta actualmente la baliza es la arbolada que hay entre la propia baliza y el cuadro eléctrico, la cual afecta al tendido eléctrico cuando crece.



Figura 3.2: Situación de la baliza y el cuadro eléctrico (Fuente: AENA)

Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander



Figura 3.3: Traza de línea hacia la cima del monte (Fuente: AENA)



Figura 3.4: Traza de línea hacia la cima del monte (Fuente: AENA)



Figura 3.6: Situación de la baliza encima de la torre (Fuente: elaboración propia)



Figura 3.5: Situación de la baliza encima de la torre (Fuente: elaboración propia)



Figura 3.7: Vista general torre de la baliza (Fuente: AENA)

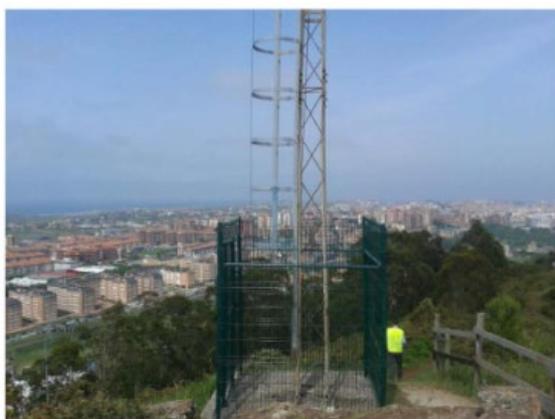


Figura 3.8: Cierre de baliza y protección de escala suplementada (Fuente: AENA)

Néstor Diego Revuelta



Figura 3.10: Cuadro general de protección y cuadro de medida de baja tensión (Fuente: AENA)



Figura 3.9: Caja general de protección, línea de derivación individual al equipo de medida y salida de línea hacia la baliza (Fuente: AENA)

3.2 ILUMINACIÓN NECESARIA SEGÚN NORMATIVA

Como se ha visto en el apartado del estado del arte sobre la señalización e iluminación de obstáculos aeronáuticos, existe una normativa específica para señalar e iluminar los distintos obstáculos aeronáuticos. El caso de estudio que se propone en este proyecto está situado en el Monte Peñacastillo, que se considera un obstáculo extenso con más de 45 m de altura, pero menos de 150 m. Con estas características, sabemos que la iluminación que le corresponde a este obstáculo deberá ser con una luz roja que funcione a destellos, de mediana intensidad y tipo B, como define la guía de señalamiento e iluminación de obstáculos elaborada por AESA [30]. Debido a esto, y según está estipulado en las normas, es el motivo por el que la baliza funciona exclusivamente en horario nocturno.

La baliza deberá estar colocada en el punto más alto del obstáculo, y deberá ser posible determinar el objeto desde todos los ángulos del azimut. Dada la altura y la geometría del monte, sólo es necesaria una única baliza en la parte más alta, que es como está actualmente emplazada la baliza.



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

3.3 RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO DE LA BALIZA

Debido a que el funcionamiento viene definido por el uso de la baliza únicamente en horario nocturno, se debe definir un horario de funcionamiento de la baliza en función del mes del año. En las siguientes figuras se muestran las horas de ocaso y orto solares en la localidad de Santander, para tres años distintos (2019, 2020 y 2021) obtenidas del Instituto Geográfico Nacional [31].

Table with columns for months (Enero to Diciembre) and times (Ort Ocas) for the year 2019. Source: Observatorio Astronómico Nacional.

Se ha considerado el horario adelantado desde el último domingo de marzo al último domingo de octubre. Las coordenadas vienen dadas en grados, minutos y segundos, siendo la longitud positiva al Este y negativa al Oeste del meridiano cero.

Figura 3.11: Horarios Orto y Ocaso 2019 (Fuente: www.astronomia.ign.es)

Table with columns for months (Enero to Diciembre) and times (Ort Ocas) for the year 2020. Source: Observatorio Astronómico Nacional.

Figura 3.12: Horarios Orto y Ocaso 2020 (Fuente: www.astronomia.ign.es)



Como se puede observar, no hay mucha diferencia en los horarios, pese a ser el 2020 un año bisiesto. También se puede determinar que los meses en los que la baliza tendrá más tiempo de funcionamiento serán Enero y Diciembre, donde las horas de luz son apenas nueve horas diarias. Este dato será condicionante para el cálculo de energía necesaria. También se añadirá media hora posterior al orto y se adelantará otra media hora al ocaso para asegurar la correcta iluminación.

SANTANDER		SALIDA Y PUESTA DE SOL PARA 2021												Observatorio Astronómico Nacional											
Latitud y longitud: 43 27 51, - 3 48 12		Hora oficial en la península y Baleares												Instituto Geográfico Nacional											
Año 2021														Ministerio de Fomento, España											
Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem.	Octubre	Noviemb.	Diciemb.													
	Ort	Ocas	Ort	Ocas	Ort	Ocas	Ort	Ocas	Ort	Ocas	Ort	Ocas	Ort	Ocas	Ort	Ocas									
	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m									
1	848	1750	831	1827	751	1904	757	2042	708	2117	637	2149	638	2200	705	2137	739	2050	813	1956	751	1806	828	1740	
2	848	1751	830	1828	750	1905	755	2043	707	2119	637	2150	639	2200	706	2136	740	2049	814	1954	752	1805	829	1740	
3	848	1752	829	1830	748	1907	753	2044	705	2120	636	2151	639	2159	707	2135	741	2047	815	1953	753	1804	830	1740	
4	848	1753	828	1831	746	1908	752	2046	704	2121	636	2152	640	2159	708	2134	742	2045	816	1951	755	1802	831	1739	
5	848	1754	827	1832	745	1909	750	2047	702	2122	635	2152	641	2159	709	2132	744	2043	817	1949	756	1801	832	1739	
6	848	1755	825	1834	743	1911	748	2048	701	2123	635	2153	641	2158	710	2131	745	2041	819	1947	757	1800	833	1739	
7	848	1756	824	1835	741	1912	746	2049	700	2124	635	2154	642	2158	711	2130	746	2040	820	1945	759	1759	834	1739	
8	848	1757	823	1836	740	1913	745	2050	659	2125	635	2154	643	2158	713	2128	747	2038	821	1944	800	1758	835	1739	
9	847	1758	822	1838	738	1914	743	2051	657	2127	634	2155	643	2157	714	2127	748	2036	822	1942	801	1756	836	1739	
10	847	1759	820	1839	736	1915	741	2053	656	2128	634	2156	644	2157	715	2126	749	2034	823	1940	802	1755	837	1739	
11	847	1800	819	1841	734	1917	739	2054	655	2129	634	2156	645	2156	716	2124	750	2032	824	1939	804	1754	838	1739	
12	846	1801	818	1842	733	1918	738	2055	654	2130	634	2157	646	2156	717	2123	751	2031	826	1937	805	1753	839	1739	
13	846	1802	816	1843	731	1919	736	2056	653	2131	634	2157	647	2155	718	2121	752	2029	827	1935	806	1752	840	1739	
14	845	1804	815	1845	729	1920	734	2057	652	2132	634	2157	647	2154	719	2120	754	2027	828	1934	808	1751	840	1739	
15	845	1805	813	1846	727	1922	733	2059	651	2133	634	2158	648	2154	720	2118	755	2025	829	1932	809	1750	841	1740	
16	844	1806	812	1847	725	1923	731	2100	650	2134	634	2158	649	2153	721	2117	756	2023	831	1930	810	1749	842	1740	
17	844	1807	810	1849	724	1924	729	2101	649	2135	634	2159	650	2152	722	2115	757	2022	832	1929	811	1749	843	1740	
18	843	1808	809	1850	722	1925	728	2102	648	2136	634	2159	651	2152	724	2114	758	2020	833	1927	813	1748	843	1741	
19	843	1810	807	1851	720	1926	726	2103	647	2137	634	2159	652	2151	725	2112	759	2018	834	1925	814	1747	844	1741	
20	842	1811	806	1853	718	1928	724	2104	646	2138	634	2159	653	2150	726	2110	760	2016	835	1924	815	1746	844	1741	
21	841	1812	804	1854	717	1929	723	2106	645	2139	634	2200	654	2149	727	2109	761	2014	837	1922	816	1745	845	1742	
22	841	1814	803	1855	715	1930	721	2107	644	2140	635	2200	655	2148	728	2107	762	2012	838	1921	818	1745	845	1742	
23	840	1815	801	1856	713	1931	720	2108	643	2141	635	2200	656	2147	729	2106	763	2011	839	1919	819	1744	846	1743	
24	839	1816	800	1858	711	1932	718	2109	642	2142	635	2200	657	2146	730	2104	764	2009	840	1918	820	1743	846	1744	
25	838	1818	758	1859	709	1934	717	2110	642	2143	636	2200	658	2145	731	2102	765	2007	842	1916	821	1743	847	1744	
26	837	1819	756	1900	708	1935	715	2112	641	2144	636	2200	659	2144	733	2101	766	2005	843	1915	823	1742	847	1745	
27	836	1820	755	1902	706	1936	714	2113	640	2145	636	2200	700	2143	734	2099	767	2003	844	1913	824	1742	847	1746	
28	835	1822	753	1903	804	2037	712	2114	639	2146	637	2200	701	2142	735	2097	768	2002	846	1912	825	1741	847	1746	
29	834	1823			802	2038	711	2115	639	2147	637	2200	702	2141	736	2096	769	2000	847	1910	826	1741	848	1747	
30	833	1824			800	2040	709	2116	638	2148	638	2200	703	2140	737	2094	770	1998	848	1909	827	1740	848	1748	
31	832	1826			759	2041			638	2149			704	2139	738	2092			749	1808			848	1749	
			h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m

Se ha considerado el horario adelantado desde el último domingo de marzo al último domingo de octubre. Las coordenadas vienen dadas en grados, minutos y segundos, siendo la longitud positiva al Este y negativa al Oeste del meridiano cero.

Figura 3.13: Horarios Orto y Ocaso 2021 (Fuente: www.ign.es)

Con los datos obtenidos del Instituto Geográfico Nacional se han elaborado los cálculos necesarios para las horas de funcionamiento de la baliza, cuando el horario final de funcionamiento por meses como se muestra en la Tabla 3.1:

Mes	Caso más desfavorable (Día)	Horas de funcionamiento baliza	Margen de actuación	Horas totales de funcionamiento baliza	Horario de mañana	Horario de noche
Enero	1	14h 58min	+1h	15h 58min	00:00-09:18	17:20-24:00
Febrero	1	14h 04min	+1h	15h 04min	00:00-09:01	17:57-24:00
Marzo	1	12h 45min	+1h	13h 45min	00:00-08:34	18:34-24:00
Abril	1	11h 15min	+1h	12h 15min	00:00-08:27	20:12-24:00
Mayo	1	09h 51min	+1h	10h 51min	00:00-07:28	20:47-24:00
Junio	1	08h 48min	+1h	09h 48min	00:00-07:07	21:19-24:00
Julio	31	08h 38min	+1h	09h 38min	00:00-07:34	21:09-24:00
Agosto	31	10h 46min	+1h	11h 46min	00:00-08:08	20:32-24:00
Septiembre	30	12h 14min	+1h	13h 14min	00:00-08:42	19:28-24:00
Octubre	31	13h 41min	+1h	14h 41min	00:00-09:18	19:38-24:00
Noviembre	30	14h 47min	+1h	15h 47min	00:00-08:57	17:10-24:00
Diciembre	29	15h 01min	+1h	16h 01min	00:00-09:18	17:17-24:00

Tabla 3.1: Horas de funcionamiento de la baliza según el mes (Fuente: Elaboración Propia)



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

En cada mes se va a tomar el caso más desfavorable para realizar los cálculos, ya que de esta manera el resto de días están dentro de la norma. Ya que las variaciones anuales son apenas de un par de minutos, vamos a tomar el presente año como modelo para elaborar el horario de funcionamiento de la baliza, que se presenta en la Tabla 3.1.

Como se puede ver en los datos de la Tabla 3.1, el día más desfavorable de todo el año 2021 es el 29 de Diciembre, donde la baliza deberá estar en funcionamiento unas 16 horas. Los meses en los que la baliza estará menos tiempo en funcionamiento son Junio y Julio, donde apenas estará operativa unas 10 horas. Estos horarios de funcionamiento son clave a la hora de dimensionar la instalación, como se verá en apartados posteriores, ya que influye en la cantidad de energía necesaria a producir por los paneles solares fotovoltaicos.

En Marzo y Octubre se dan pequeñas anomalías en cuanto a las horas de puesta en marcha y apagado, ya que son los dos meses en los que hay un cambio de horario a nivel nacional. Con ese pequeño matiz definido, el horario definitivo de funcionamiento de la baliza es el que se muestra en la Tabla 3. 1.

3.4 DEFINICIÓN DE LA POTENCIA

Para la definición de la potencia de la baliza de obstáculos Luxsolar L-864, se utilizará la ficha técnica del fabricante. Con ella se puede determinar la potencia exacta dependiendo de los fpm con los que va a emitir la baliza.

MEDIUM INTENSITY

Medium intensity obstruction light multiled type, compliance to ICAO type B/C, and FAA L-864, single or twin, night only.

- Based on LED technology
- Steady burning red light for MIOL-C
- Flashing red light for MIOL-B (20-60 fpm)
- Visible red light + infrared emission (see code 7)
- Long life time >10+ years expectancy
- Stabilized light output
- Inertized internal atmosphere
- Borosilicate cover protection
- Protection degree: IP 66
- Weight: 3,7 kg
- Power consumption for MIOL-C: 54W (230VAC), 39W (24VDC)
- Power consumption for MIOL-B @20fpm: 9,3W (230VAC), 3,1W (24VDC)
- Power consumption for MIOL-B @60fpm: 12,9W (230VAC), 5,7W (24VDC)

Figura 3.14: Características técnicas Baliza (Fuente: Luxsolar)

Según se observa en la ficha técnica del fabricante [32], hay varios datos de consumo de potencia dependiendo de la tipología de la baliza (B o C) y de los fpm que se emitan. En el caso de este proyecto, como ya se ha comentado en apartados anteriores, se emplazará una baliza de tipo B acorde a la normativa vigente adecuándose al obstáculo a iluminar. El siguiente parámetro a determinar serán los fpm (destellos por minuto), que en este caso serán 60. Como indica la ficha técnica del fabricante (Luxsolar) con esos fpm, la baliza consume 12,9 W cuando está conectada en corriente alterna con una tensión de 230 V o bien 5,7 W cuando está conectada en corriente directa con una



Néstor Diego Revuelta

tensión de 24 V. Ya que la instalación del proyecto constará de un inversor para poder almacenar la energía producida en una fuente de almacenamiento, se toman los 12,9 W como potencia definida.

3.5 CÁLCULO DE LA ENERGÍA NECESARIA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA BALIZA

La energía necesaria para que funcione la baliza vendrá definida por las horas de funcionamiento de la baliza multiplicadas por la potencia de la baliza. En el caso del estudio, cada mes unas horas de funcionamiento diferentes dadas las diferencias horarias a lo largo del año, como se ha expuesto en apartados anteriores. Los resultados se presentan en la siguiente Tabla:

Mes	Potencia de la Baliza (W)	Horas totales de funcionamiento baliza (caso peor)	Energía necesaria (W·h) por día	Energía necesaria (W·h) Total del mes
Enero	12,9W	15h 58min	205,97 W·h	6.385,07 W·h
Febrero	12,9W	15h 04min	194,36 W·h	5.442,08 W·h
Marzo	12,9W	13h 45min	177,38 W·h	5.498,78 W·h
Abril	12,9W	12h 15min	158,03 W·h	4.740,90 W·h
Mayo	12,9W	10h 51min	139,97 W·h	4.339,07 W·h
Junio	12,9W	09h 48min	126,42 W·h	3.792,60 W·h
Julio	12,9W	09h 38min	124,27 W·h	3.852,37 W·h
Agosto	12,9W	11h 46min	151,79 W·h	4.705,49 W·h
Septiembre	12,9W	13h 14min	170,71 W·h	5.121,30 W·h
Octubre	12,9W	14h 41min	189,42 W·h	5.872,02 W·h
Noviembre	12,9W	15h 47min	203,61 W·h	6.108,30 W·h
Diciembre	12,9W	16h 01min	206,62 W·h	6.405,22 W·h

Tabla 3.2: Energía necesaria para la baliza dependiendo del mes (Fuente: Elaboración propia)

El mes en el que más energía será necesaria para el funcionamiento de la baliza será Diciembre, con un total de 6.405,22 W·h en todo el mes. Este dato dividido entre el número de días de Diciembre, indica que se necesitarán 206,62 W·h al día. Esos 206,62 W·h al día serán los que se necesitarán producir en el peor de los casos con la instalación de energía solar fotovoltaica que se proyectará. Todos los valores indicados en la Tabla rondan este dato, siendo el mes con menos energía necesaria Junio, con tan sólo 126,42W·h al día (3.792,60 W·h en total en el mes).

Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

4. METODOLOGÍA

Lo primero que se debe tener en cuenta es un esquema general del funcionamiento que tendrá la instalación. Como se puede observar en la Figura 4.1, la instalación constará de cinco elementos principales, como son el generador fotovoltaico, el regulador de carga, el sistema de acumulación, el inversor y finalmente la baliza, que será el elemento que consuma la energía que se generará.

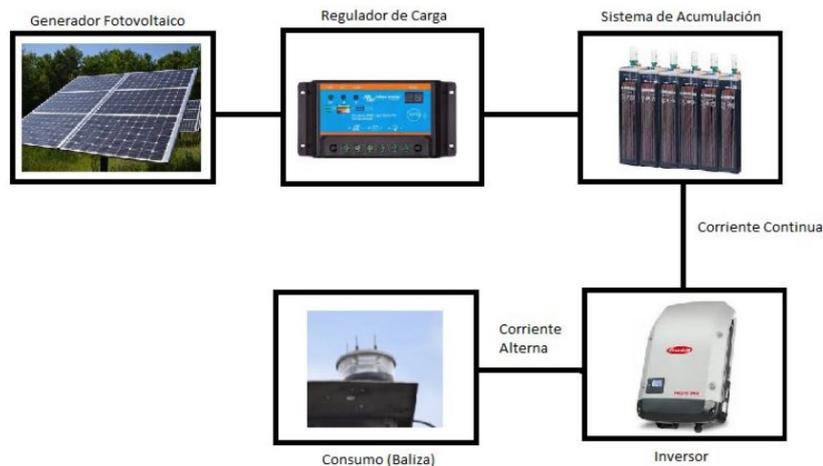


Figura 4.1: Esquema general instalación (Fuente: Elaboración Propia)

Será necesario dimensionar todos los aspectos de la instalación, desde el número de paneles necesarios, hasta la longitud total de cableado necesaria. Para ello se presentará en este apartado de metodología la formulación necesaria acorde a los cálculos que se llevan a cabo.

4.1 DIMENSIONAMIENTO PANELES

Para asegurar que los paneles suministran suficiente energía en los meses más desfavorables, es necesario sobredimensionar la instalación. En la literatura técnica se recomienda que el sobredimensionado esté entre un 10% y un 20% sobre la energía necesaria [33], pero debido a que el uso de la baliza es muy importante para la seguridad aérea, en este caso se elegirá un valor del 20% para asegurar la producción mínima.

En el caso en el que se desarrolla se proyectará el sobredimensionamiento a través del rendimiento de la instalación, dándole un valor más bajo del estimado, como se verá en cálculos posteriores. Además, se dimensionará el caso más desfavorable de todos, por lo que el sobredimensionamiento será el óptimo para asegurar los valores mínimos de producción mínimos necesarios.

Para calcular el número de módulos fotovoltaicos que se necesitarán se aplicará la siguiente formulación:

$$HSP = \frac{\text{Radiación Solar del mes más desfavorable}}{1 \left[\frac{KW \cdot h}{m^2} \right]}$$



Néstor Diego Revuelta

$$N^{\circ} \text{ Módulos} = \frac{\text{Energía necesaria}}{HSP \cdot \eta_{inst} \cdot P_{panel}}$$

Donde:

-HSP son las horas de sol pico

$-\eta_{inst}$ es el rendimiento global de la instalación

$-P_{panel}$ es la potencia pico del panel

La potencia pico del panel será la definida en la ficha de características técnicas del panel seleccionado, el cual se escogerá para que se adecue al proyecto con todas las opciones que presenta el mercado.

La tensión a la que trabajará la instalación viene definida en la ficha técnica de la baliza suministrada por el fabricante [34], siendo esta de 230 V en corriente alterna o bien 24 V en corriente continua. Con estos datos se puede establecer un voltaje de trabajo idóneo para la instalación.

El ángulo óptimo de inclinación es aquel ángulo con el que la captación de energía solar es máxima. A medida que el sol se va moviendo a lo largo del año el ángulo solar será diferente, por lo que es necesario encontrar un equilibrio entre el mejor ángulo en invierno y el ángulo óptimo en verano. Para este cálculo se pueden utilizar programas de simulación o bien es posible realizarlo con la siguiente fórmula:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \cdot \phi)$$

Siendo:

$-\beta_{opt}$ el ángulo óptimo

$-\phi$ la latitud de la localización donde se lleva a cabo el estudio

En el caso que se está proyectando, se realizará de las dos maneras para poder comparar y decidir cuál es el ángulo óptimo que más se adecua a la situación de la instalación.

4.2 DIMENSIONAMIENTO BATERÍA

Para el dimensionamiento de las baterías de la instalación se tendrá en cuenta distintos parámetros, como el tiempo necesario de autonomía, el consumo diario de la baliza y por último la tensión a la que trabaja la instalación. Se aplicará la siguiente formulación:

$$C_{bat} = \frac{\text{Mayor consumo del año [Wh/día]} \cdot \text{Autonomía [días]}}{\text{Tensión de trabajo [V]} * \text{Profundidad de descarga máxima [\%]}}$$

Para estos cálculos siempre se tendrán en cuenta los casos más desfavorables para que se cubra el total de la instalación en el peor de los casos. Se debe tener en cuenta que la batería es uno de los elementos clave en este tipo de instalaciones debido a que,



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

en caso de producción nula o limitada, será la batería quien se haga cargo de suministrar energía a la baliza.

4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga es el elemento de la instalación que se encargará de controlar el estado de carga de la batería y protegerla frente a posibles descargas y sobrecargas. Se dimensionará el amperaje mediante la siguiente ecuación:

$$I_{RC} = \frac{I_{sc} \cdot N^{\circ} \text{ Paneles}}{\left(\frac{V_p}{V_i}\right)}$$

Donde:

- I_{RC} es la intensidad del regulador
- I_{sc} es la intensidad de cortocircuito del panel
- N° de paneles es el número de paneles en la instalación
- V_p es la tensión del panel
- V_i es la tensión de la instalación

4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR

En cuanto al inversor, también es necesario dimensionarlo, el cual estará basado en la potencia, y se aplicará la siguiente expresión:

$$SR_{AC} = \frac{P_{STC}}{P_{INV-AC}}$$

Donde:

- SR_{AC} es el ratio de dimensionamiento, con el cual hay diferentes aproximaciones, sin embargo, el valor recomendado por algunos estudios es 1,1 [35].
- P_{STC} es la potencia nominal del generador
- P_{INV-AC} es la potencia de salida del inversor (AC)

El rendimiento del inversor viene dado por la potencia de salida en corriente alterna (AC) partido de la potencia de entrada en corriente continua (DC), como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

4.5 DIMENSIONAMIENTO DE CABLEADO

Para el dimensionamiento de la sección de cable eléctrico necesario es necesario evaluarlo mediante 2 criterios:



Néstor Diego Revuelta

- Criterio de caída de tensión: Cuando la intensidad pasa a través del cableado provoca una pérdida de potencia transportada por el cable, lo que a su vez ocasiona una caída de tensión. Esta caída de tensión tiene un valor máximo posible dictado por el REBT, con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento de los elementos conectados por el tramo de cableado, que en el caso de este proyecto será un 1,5%.
- Criterio de intensidad máxima admisible: consiste en dimensionar el cable eléctrico de tal manera que la intensidad que circule por este sea siempre menor a la máxima admisible por el conductor. Principalmente se hace este dimensionado para evitar posibles sobrecalentamientos, que dependerá también del material que se esté utilizando como aislante del cable.

La evaluación del criterio de caída de tensión se realiza mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I'}{K \cdot \% \cdot V} \cdot \cos \varphi$$

Donde:

-S es la sección del cable en mm²

-L es la longitud del cable

-I' es la intensidad máxima del cable sobredimensionada

-K es la conductividad del conductor del cable

-% es la caída de tensión máxima admisible definida por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión en porcentaje

-V es la tensión del tramo

- $\cos \varphi$ es el factor de potencia



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

Para obtener la sección mediante el criterio de intensidad máxima admisible es necesario conocer el tipo de material del conductor y el tipo de cable y su uso. Con dichos datos se puede acudir a la tabla contenida en el REBT acorde a la norma UNE 211.435:2011 donde se encontrará la sección que deberá tener el cable. La tabla que se empleará en el proyecto para calcular la sección del cable necesaria será la siguiente:

Norma UNE 20 460-5-523:2004													
	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2								
Conductores aislados en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes. Método A1.													
Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes. Método A2.													
Conductores aislados en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotrados en obra. Método B1.				PVC3	PVC2		XLPE3		XLPE2				
Cables multiconductores en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotrados en obra. Método B2.			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
Cables multiconductores directamente sobre la pared o en bandeja no perforada. Método C.					PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2			
Cables multiconductores al aire libre o en bandeja perforada. Distancia a la pared no inferior a 0,3 D (diámetro del cable). Método E.						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
Cables unipolares en contacto mutuo o en bandeja perforada. Distancia a la pared no inferior a D. Método F.							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Conductor	mm ²												
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	
	4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	
	6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	
	10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	
	16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	
	25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
Cobre	35	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174	
	50	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210	
	70			149	160	171	185	199	214	224	244	269	
	95			180	194	207	224	241	259	271	296	327	
	120			208	225	240	260	280	301	314	348	380	
	150			236	260	278	299	322	343	363	404	438	
	185			268	297	317	341	368	391	415	464	500	
	240			315	350	374	401	435	468	490	552	590	

Figura 4.2: Tabla de dimensionamiento de cableado por intensidad máxima (Fuente: automatismoindustrial.com)

Se dimensionará el cableado con ambos criterios, eligiendo finalmente el que sea más restrictivo de los dos para asegurar que la sección del cableado cumpla con los dos criterios de dimensionamiento.

4.6 PÉRDIDAS DE LA INSTALACIÓN

Las pérdidas que se indican a continuación vienen ya implícitas en el propio rendimiento que describe el fabricante en el panel fotovoltaico. Las pérdidas vienen definidas por la siguiente expresión:

$$Pérdidas = \eta_{panel \text{ en condiciones estandar}} - \eta_{esperado \text{ del panel}}$$

Las pérdidas más comunes en este tipo de instalaciones son:

- Pérdidas por el efecto de la temperatura
- Pérdidas por dispersión de potencia



Néstor Diego Revuelta

- Pérdidas por suciedad en los módulos
- Pérdidas por sombras
- Pérdidas por situación de los paneles (Inclinación y acimut)
- Pérdidas por degradación fotónica
- Pérdidas por deterioro de los módulos
- Pérdidas por reflectancia

4.6.1 Pérdidas por temperatura

La temperatura es uno de los factores clave en la instalación, ya que, a mayor temperatura de la placa, la intensidad de cortocircuito incrementa ligeramente, mientras que la tensión de circuito abierto disminuye, dando entre las dos variables, una notable reducción en la eficiencia. También se debe tener en cuenta que cuanto más altas sean las temperaturas, la potencia máxima también será menor. Las condiciones ideales de funcionamiento de una placa son radiación directa con el mayor valor posible, y una temperatura cuanto más fría mejor. Por eso los paneles fotovoltaicos en satélites que están en el espacio tienen un rendimiento tan alto, porque las condiciones a las que se enfrentan son de mucha radiación directa y temperaturas extremadamente bajas. Se puede calcular la temperatura media a la que van a trabajar las placas mediante la siguiente expresión:

$$T_{cell} = T_{air} + G \left[\frac{(NOCT - 20)}{800} \right]$$

Donde:

- T_{cell} es la temperatura de la placa

- T_{air} es la temperatura media del ambiente

- G es la radiación solar

- $NOCT$ es la temperatura nominal de operación de la placa, en inglés Nominal Operation Cell Temperature, en unas condiciones específicas que son: la radiación solar de 800 W/m^2 , AM (Air Mass) siendo 1,5, temperatura ambiente de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y una velocidad de viento de 1 m/s . Este dato será suministrado por el fabricante en las especificaciones de la placa.

Una vez calculado este parámetro, se pueden calcular las pérdidas por temperatura que tendrá la instalación por el efecto de la temperatura:

$$T_L = K_T(T_{cell} - 25^\circ\text{C})$$

Donde:

- T_L son las pérdidas por temperatura



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

- K_T es el coeficiente de temperatura, que generalmente viene definido por el fabricante de la placa solar. En caso de no disponer de este dato, se suele tomar $0,0035^{\circ}C^{-1}$ como valor de referencia.

4.6.2 Pérdidas por dispersión de potencia

Otro factor que afecta a las pérdidas del sistema, son las pérdidas por dispersión de potencia. Estas vienen definidas por la tolerancia de error que tienen en la generación de potencia los módulos fotovoltaicos. Este valor se toma habitualmente como un 2%.

4.6.3 Pérdidas por suciedad en los módulos

Este tipo de pérdidas son habituales en instalaciones que no tengan ningún tipo de elemento protector que proteja los módulos de la acumulación de polvo y otras partículas. Es importante mantener los paneles limpios, ya que la acumulación de polvo puede conllevar unas pérdidas de alrededor del 3%.

4.7 TABLAS DE RADIACIÓN SOLAR

Como se ha comentado en apartados anteriores, la situación de la baliza en términos de latitud y longitud es un factor clave para los cálculos solares. La baliza está situada en las coordenadas: $43^{\circ}27'00.6''N$ $3^{\circ}51'20.2''W$, en la cima del monte Peñacastillo.

Para la obtención de las tablas de irradiación solar en la ubicación de la baliza para que sirvan de referencia frente a los cálculos se consultarán diferentes fuentes, como son 'Sun Earth Tools', ADRASE, la NASA, PVGIS, y finalmente el CIEMAT. Para elaborar la trayectoria del sol en función de la ubicación de la baliza se utilizará el software de "Sun Earth Tools". El día que se utilizará será el 26 de Febrero, aunque se podrá observar la trayectoria que tendrá el sol en los diferentes meses.

Para las tablas específicas de radiación solar para Santander, que se utilizarán sirviendo estas como base referencial para elaborar los cálculos se consultan los datos estimados por CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) en los últimos 19 años aproximadamente del portal ADRASE.

También se consultarán otras bases de datos para una concreción mayor a la hora de establecer unos valores definitivos para los cálculos, como la de la NASA, que ofrecerá distintas mediciones para los cálculos.

Asimismo, se utilizará la base de datos del Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) de la Unión Europea desde el año 2014 al año 2016, que será el software que se utilizará para la simulación final de generación estimada de energía solar.

4.8 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE INVERSIONES

Para conocer si un proyecto es rentable y en caso de que lo sea, en cuanto tiempo se recuperará la inversión, se utilizará formulación específica para calcular el VAN y el TIR.



Néstor Diego Revuelta

El VAN es el Valor Actual Neto, cuyo cálculo permite saber cuan rentable será la inversión que se realice en el proyecto, ya que permite saber si este generará beneficios. Una de las ventajas del VAN es como homogeniza los puntos a comparar, ya que tiene en cuenta el valor actual de todos los importes a considerar, para que su comparación sea lo más efectiva posible. Como queda claro, el uso de esta herramienta económica vendría a ser útil a modo de futuro, ya que se tendrán en cuenta los flujos de caja venideros. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = -D + \frac{Q1}{(1+k)} + \frac{Q2}{(1+k)^2} + \frac{Qn}{(1+k)^n}$$

Dónde:

- D es la inversión inicial
- Q son los flujos de caja de cada período
- n es el número de períodos de tiempo
- k es la tasa de descuento

La rentabilidad del proyecto se basará en que si el VAN es un valor positivo será rentable, si es igual a cero no se tendrá ni beneficio ni pérdidas y finalmente si se el valor es negativo, se generarán pérdidas por lo que el proyecto no será viable.

El siguiente parámetro a tener en cuenta es la Tasa Interna de Retorno (TIR), que viene definida como la tasa de descuento que iguala la corriente futura de pagos con la de cobros y es complementaria al VAN. El TIR medirá el porcentaje de pérdida o ganancia que tenga el proyecto, determinando la rentabilidad de los pagos y cobros generados en la inversión. Se calcula con la siguiente formulación:

$$VAN = -D + \frac{Q1}{(1+TIR)} + \frac{Q2}{(1+TIR)^2} + \frac{Qn}{(1+TIR)^n}$$

Donde se tendrá en cuenta que:

- Si $TIR > k$ el proyecto será aceptado
- Si $TIR < k$ el proyecto será rechazado
- Si $TIR = k$ no se tendrá ni beneficio ni pérdidas, similar al caso anterior con el VAN

Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

5. RESULTADOS

5.1 RESULTADOS TABLAS DE RADIACIÓN SOLAR EN SANTANDER

En el apartado anterior de Metodología se han presentado las diferentes tablas y recursos utilizados para la base de cálculo de este apartado. Como se puede observar en las distintas figuras, todas ellas presentan unos valores similares para la misma ubicación, por lo que estos datos servirán para acotar de manera definitiva los valores de radiación media con los que se elaborarán los cálculos.

La Figura 5.1 muestra el atlas solar desde 1983 hasta 2015 elaborado por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), mientras que la Figura 5.2 presenta el atlas solar de 2020, elaborado por ADRASE (Acceso a Datos de Radiación Solar de España). Como bien se puede observar, Cantabria no es el lugar más adecuado para una gran instalación fotovoltaica, ya que la radiación solar es de las más bajas de España con un valor aproximado entre $3,6$ y $4 \frac{KW \cdot h}{m^2}$. Sin embargo para instalaciones de autoconsumo domésticas o pequeños consumos, es más que suficiente. A este dato se le tendrá que multiplicar por el rendimiento global del módulo fotovoltaico y así poder determinar la captación real que se tendrá. Para contrarrestar este efecto, se ha indicado anteriormente del sobredimensionamiento de la instalación. Esto permitirá tener un margen de actuación considerable para llegar a la producción mínima necesaria para el funcionamiento de la baliza aeronáutica.

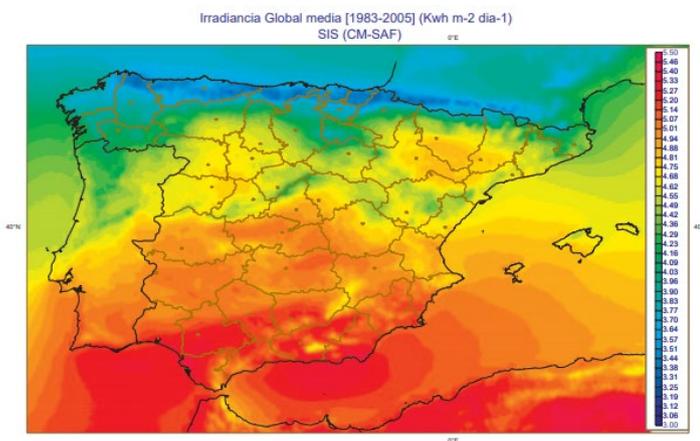


Figura 5.1: Atlas solar 1983-2015 (Fuente: AEMET)



Figura 5.2: Atlas solar 2020 (Fuente: ADRASE)

En cuanto a la trayectoria solar se ha empleado el software ya mencionado, “Sun Earth Tools”, para determinar la trayectoria del sol en los distintos momentos del año. De la Figura 5.3 se pueden observar los valores máximos y mínimos que tendrá la trayectoria del sol en cuanto a lo que acimut y elevación solar se refiere. El día tipo utilizado es el 26 de Febrero, donde se puede observar que el momento del día donde más alto estará el sol es alrededor de las 12:00 de la mañana. En ese momento tendrá una elevación de unos 35° y un acimut de 170° . Es importante recordar que la elevación solar es el ángulo que forma la dirección del sol y horizonte ideal, dando como resultado el ángulo de elevación del sol. Sin embargo, el acimut es el ángulo que forma el círculo

Néstor Diego Revuelta

vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo con el meridiano. Los meses en los que menos elevación solar tendrá el sol serán Diciembre y Enero con unos valores máximos que giran en torno a los 23° . Los meses que más elevación solar tendrán serán Junio y Julio con valores máximos cercanos a los 70° . Esto afecta directamente sobre el ángulo óptimo con el que se situarán los paneles, ya que la radiación incidirá con diferentes ángulos sobre la placa. Se utiliza la ecuación del ángulo óptimo para intentar optimizar al máximo esa incidencia para que sea lo más alta posible en todos los meses.

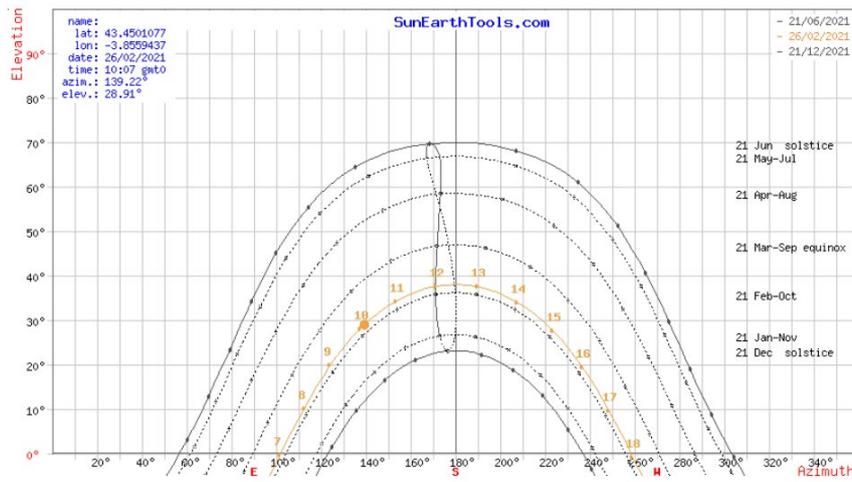


Figura 5.3: Trayectoria del sol en la ubicación de la baliza (Fuente: www.sunearthtools.com)

Para las tablas específicas de radiación para Santander se consultó la base de datos de ADRASE, con la que se pueden hacer cálculos para instalaciones fotovoltaicas ya sean aisladas o conectadas a la red. La Figura 5.4, muestra claramente la forma de campana que se forma en torno a los meses del verano, indicando los valores máximos de radiación anuales en Junio y Julio con en torno a $6 \text{ kWh} \cdot \text{m}^2$. Los meses menos favorables son Enero y Diciembre, como se había vaticinado anteriormente por las horas de luz diarias de estos meses, con valores próximos a $1,5\text{-}2 \text{ kWh} \cdot \text{m}^2$.

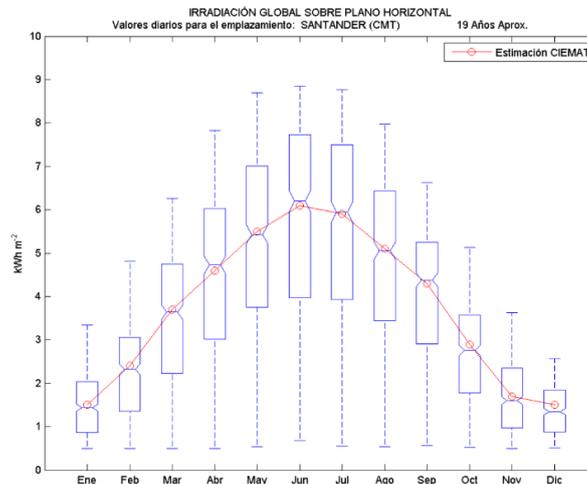


Figura 5.4: Tabla de radiación solar en Santander (Fuente: ADRASE)



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

Otra de estas bases de datos consultada fue la de la NASA, a partir de la cual se elabora el gráfico que se muestra en la Figura 5.5, desde el año 2015 hasta Enero del año 2021. En dicha Figura, se puede observar los KW·hr/m²/día que se pueden captar en la localización de la baliza. Como se ve claramente en la Figura, sucede lo mismo que con la anterior Figura, y se forman campanas con pico en verano, donde los valores rondan los 8 KW·hr/m²/día y entre 1 y 1,5 KW·hr/m²/día los días de invierno en Diciembre y Enero.

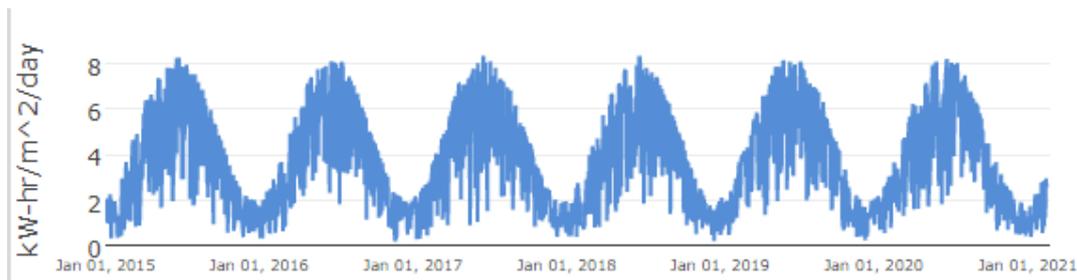


Figura 5.5: KW·h por metro cuadrado al día en la localización de la baliza. (Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/>)

En la Figura 5.6 se puede apreciar la irradiación mensual en la localización de la baliza, en la que se tienen en cuenta la irradiación directa normal, la irradiación horizontal y la irradiación mediante el ángulo óptimo. Como se puede ver, los valores son bastante similares a los mostrados anteriormente, y además los tres años presentados, son prácticamente iguales. La diferencia principal es que en este caso los datos vienen dados mensualmente, pero si se hace la multiplicación de los datos del párrafo anterior por el número de días aproximados del mes, se obtienen resultados prácticamente calcados, lo que indica que efectivamente todas las bases de datos consultadas hasta el momento tienen un error mínimo entre ellas, lo que significa que los cálculos serán más precisos.

Datos proporcionados:	
Localización	43.449
[Lat/Lon]:	-3.858
Horizonte:	Calculado
Base de datos:	PVGIS-SARAH
Año inicial:	2014
Año final:	2016



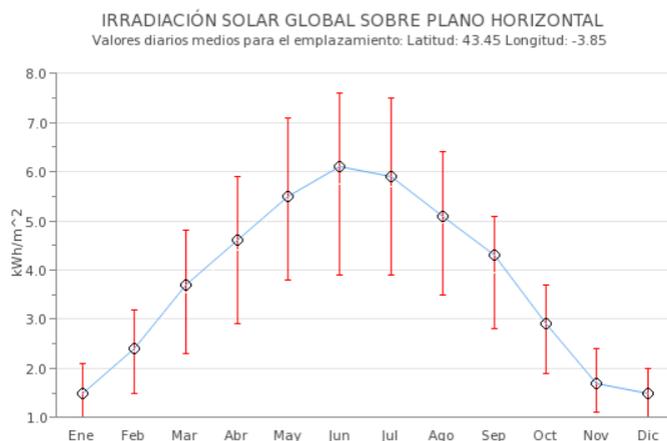
Irradiación
(Click on series to hide)
— Irradiación horizontal — Irradiación ángulo óptimo
— Irradiación directa normal

Figura 5.6: Irradiación mensual en la localización de la baliza (Fuente: <https://ec.europa.eu/>)



Néstor Diego Revuelta

La última Figura (Figura 5.7) muestra una estimación similar a la figura 5.4, con la diferencia que se centra solo en el año 2020. De ella se puede obtener los valores medios de radiación mensual en la ubicación de la baliza, siendo estos mínimos en Enero y febrero con $1,5 \frac{KW \cdot h}{m^2}$ y máximos en Junio con $6,1 \frac{KW \cdot h}{m^2}$. Si se hace la media de los valores medios se obtiene una radiación media anual de $3,76 \frac{KW \cdot h}{m^2}$, lo que concuerda a la perfección.



(kWh/m ²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Percentil 75	2.1	3.2	4.8	5.9	7.1	7.6	7.5	6.4	5.1	3.7	2.4	2.0
Valor medio	1.5	2.4	3.7	4.6	5.5	6.1	5.9	5.1	4.3	2.9	1.7	1.5
Percentil 25	1.0	1.5	2.3	2.9	3.8	3.9	3.9	3.5	2.8	1.9	1.1	1.0

Figura 5.7: Irradiación mensual en la localización de la baliza (Fuente: ADRASE)

5.2 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO PANELES SOLARES

Una vez realizados los cálculos que se indican en párrafos posteriores, se decidirá el panel que se utilizará en la instalación. Se presenta ahora con la intención de dejar clara la elección antes de presentar los cálculos para que factores como la potencia pico del generador estén ya claras. El panel seleccionado es de la marca REC, siendo el elegido el modelo 265PE, que cuenta con una potencia nominal de 265 Wp. Se ha elegido este modelo que contiene 60 células de silicio policristalino por la relación calidad precio que presenta el producto. También hay que considerar la amplia garantía que da el fabricante lo que también es factor determinante para elegir el panel, cuya ficha técnica se encuentra en los anexos [36].

Lo primero que se hará es llevar a cabo una simulación mediante el aplicativo PVGIS para conocer el ángulo óptimo de la instalación y la capacidad de producción de energía eléctrica que tendrá el sistema. Se le proporcionarán al programa los datos necesarios para llevar a cabo la simulación, siendo estos la localización de la baliza, la potencia pico fotovoltaica instalada, la tecnología utilizada y las pérdidas del sistema, como se muestra en la Figura 5.8. Para lo potencia pico del sistema se utilizará 0,265 Kwp, ya que es la potencia pico del panel seleccionado y solo se utilizará un módulo. Las pérdidas se



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

estiman en un 20%, el valor máximo que permite el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE) en el pliego de condiciones para instalaciones solares fotovoltaicas aisladas [37]. La tecnología utilizada será silicio cristalino. Con estos datos se realiza la simulación en el aplicativo 'PV Performance Tool', y se obtiene la tabla mostrada en la Figura 5.9,

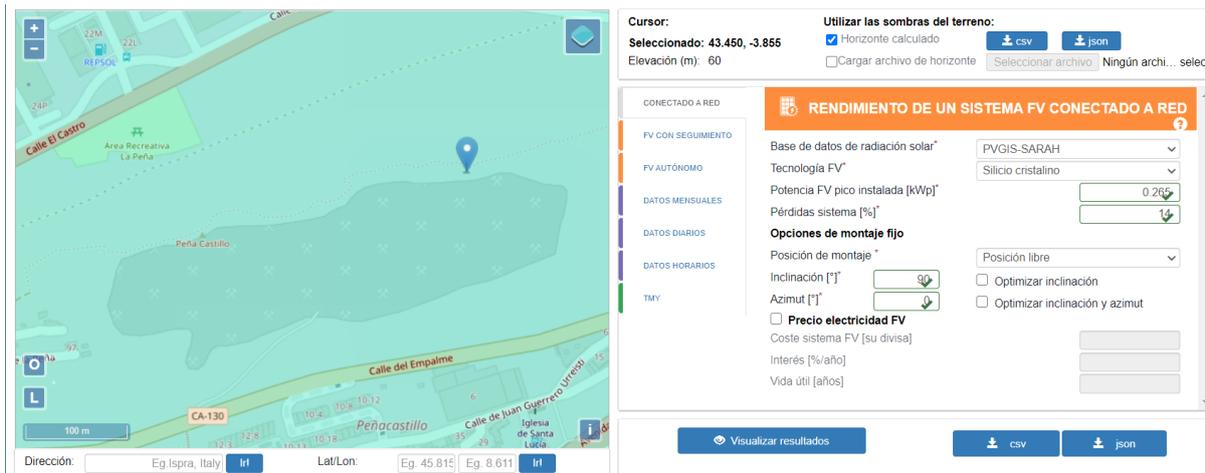


Figura 5.8: Pantalla de inserción de datos para la simulación

Donde:

E_m : Producción eléctrica media mensual del sistema dado [kWh]

$H(i)_m$: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por el módulo del sistema $\left[\frac{kWh}{m^2} \right]$

SD_m : Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh]

Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	$H(i)_m$	SD_m
Enero	14.9	73.6	2.5
Febrero	18.0	89.3	3.6
Marzo	26.1	132.1	4.0
Abril	28.4	145.9	3.9
Mayo	30.1	154.9	3.8
Junio	29.6	155.5	2.9
Julio	31.3	165.6	1.9
Agosto	30.5	160.5	2.5
Septiembre	28.6	149.6	2.3
Octubre	24.2	124.0	2.3
Noviembre	16.2	79.9	3.6
Diciembre	16.4	80.5	2.5

Figura 5.9: Tabla de datos de la simulación (Fuente: PVGIS)



Néstor Diego Revuelta

También se obtiene el gráfico mostrado en la Figura 5.10, dónde se puede ver la producción mensual de la instalación en kWh a lo largo de los meses del año:

Producción de energía mensual del sistema FV fijo:

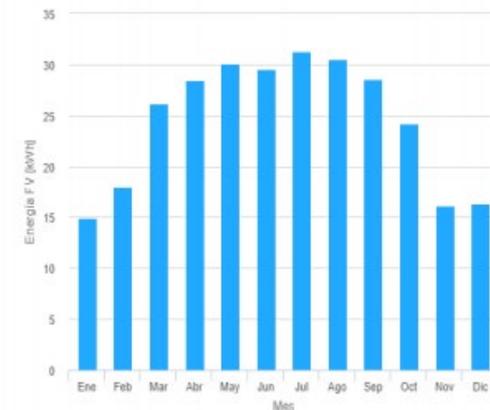


Figura 5.10: Producción mensual de la instalación (Fuente: PVGIS)

En esta primera simulación se introducen datos en el programa para que optimice los valores del ángulo óptimo y azimut para una mejor captación de la energía solar, siendo los valores obtenidos 37° el ángulo óptimo y 2° el azimut. Con los cálculos realizados, el ángulo óptimo que se ha obtenido mediante la fórmula es el siguiente:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \cdot 43,45) = 33,7^\circ$$

Como se puede apreciar hay una diferencia de $3,3^\circ$ con respecto al ángulo optimizado por el programa PVGIS. Esto se debe a que el programa optimiza el ángulo para que en invierno se capte más radiación ya que en esos meses la producción no es tan elevada, mientras que en verano no hay problema de producción.

Sin embargo, se llevará a cabo otra simulación con los mismos datos, pero indicando 0° como azimut y 90° como inclinación del panel. Esto se debe a que, si los valores resultantes son suficientes para el consumo de la instalación, el panel se ubicará en la propia estructura de celosía de la torreta de la baliza, cuya orientación permite colocar el panel orientado al sur y fijado a la torre con el único ángulo que esta permite, 90° . Este tipo de instalación evitaría la necesidad de realizar una solera de hormigón como base para el panel solar, lo cual es técnicamente complejo por encontrarse en la cima



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

del monte. Se muestran los resultados igual que con la simulación anterior, en las Figuras 5.11 y 5.12.

Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	15.1	74.3	2.9
Febrero	16.2	80.6	3.7
Marzo	19.7	100.6	3.2
Abril	17.2	90.8	2.3
Mayo	14.8	80.9	1.6
Junio	13.1	74.4	1.2
Julio	14.4	81.7	0.8
Agosto	16.8	92.0	1.1
Septiembre	19.9	105.8	1.7
Octubre	20.8	106.8	2.2
Noviembre	15.9	78.5	4.0
Diciembre	17.6	86.0	3.0

Figura 5.12: Tabla resultados simulación II (Fuente: PVGIS)

Producción de energía mensual del sistema FV fijo:

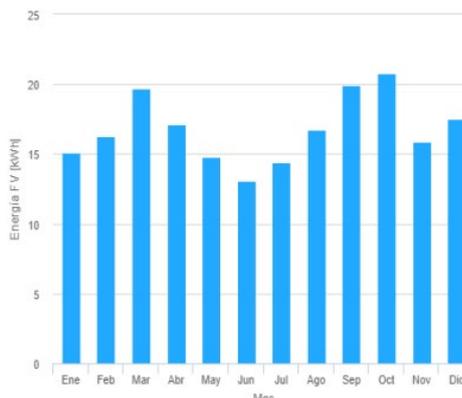


Figura 5.11: Producción por meses simulación II (Fuente: PVGIS)

Como se observa, la producción cambia dando una forma de doble campana frente a la campana simple de la anterior simulación. Esto se debe a la nueva inclinación de la placa, haciendo que cuando el sol está más alto en verano se capte menos energía, pero siendo igualmente suficiente si dividimos la producción mensual entre el número de días del mes, siendo estos resultados más que suficientes como se presenta en la Tabla 5.1. Sin embargo, en los meses donde a priori se producía menos electricidad, se puede ver un incremento en la producción de los meses de Diciembre y Enero.

Mes	Producción Mensual (kWh/mes)	Número de días en el mes	Producción diaria (Wh/día)	Energía necesaria (Wh/día)
Enero	15,1	31	487	205,97
Febrero	16,2	28	578	194,36
Marzo	19,7	31	635	177,38
Abril	17,2	30	573	158,03
Mayo	14,8	31	477	139,97
Junio	13,1	30	436	126,42
Julio	14,4	31	464	124,27
Agosto	16,8	31	542	151,79
Septiembre	19,9	30	663	170,71
Octubre	20,8	31	671	189,42
Noviembre	15,9	30	530	203,61
Diciembre	17,6	31	568	206,60

Tabla 5.1: Producción mensual, producción diaria y energía necesaria (Fuente: elaboración propia)

Conocidos estos datos, se puede dar por buena la nueva simulación ya que cumple con los mínimos de producción necesaria con creces. Colocando el módulo en la torre

Néstor Diego Revuelta

se consigue reducir costes que vendrían dados por la cimentación de solera para la colocación en el suelo del módulo, y su posterior vallado para proteger la instalación, como se ha indicado previamente. Hacer una obra así, también podría perjudicar en sombras y reflectancias, por lo que se decide finalmente situar la placa con una orientación sur (0° de azimut) y un ángulo de inclinación de 90° . Se puede observar en el siguiente gráfico de manera general el margen de cada mes en cuanto al ratio consumo-producción:

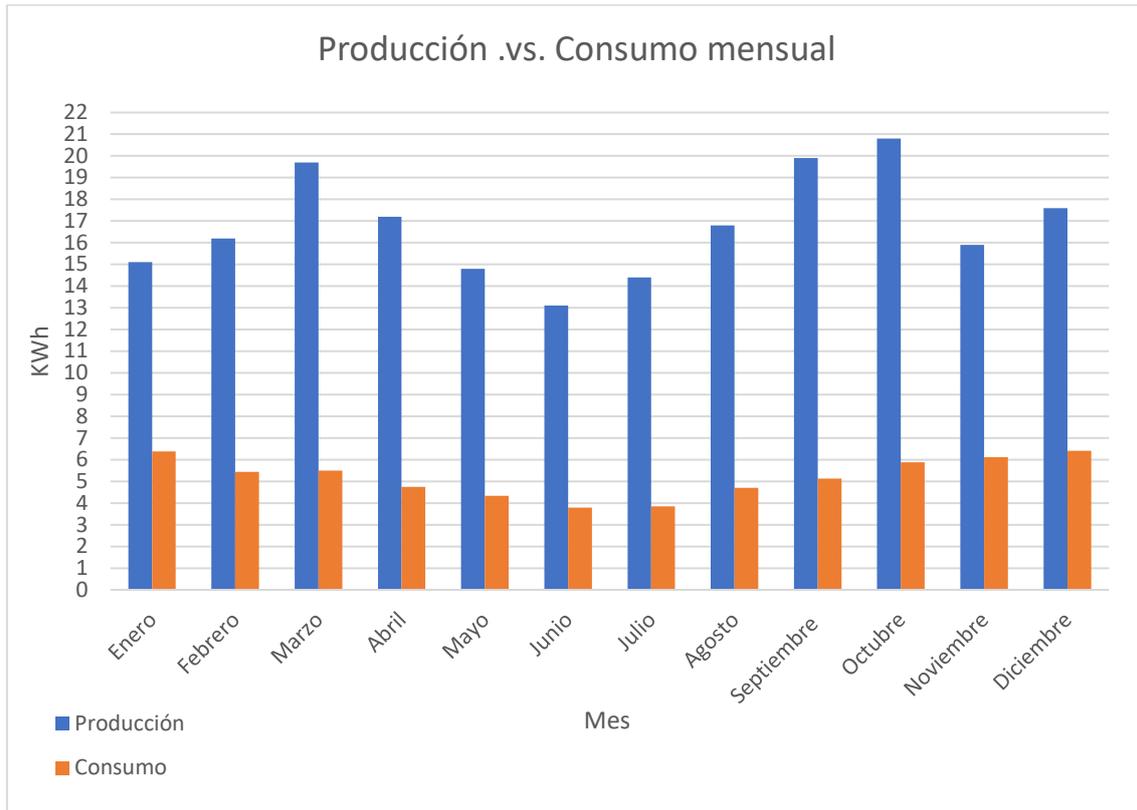


Gráfico 5.1: Producción y consumo real de la instalación (Fuente: elaboración propia)

Para el siguiente cálculo se necesitará conocer el peor de mes de radiación solar recibida por los módulos, para lo que se obtienen los datos de la Figura 5.12, siendo el peor mes Enero, con una suma media de $74,3 \frac{KW \cdot h}{m^2}$. Si se divide el dato anterior entre el número de días de Enero se obtiene que llegan de media diaria $2,4 \frac{KW \cdot h}{m^2}$. Con este se podrán obtener las horas de sol pico diarias (HSP) para poder calcular el número de módulos necesarios. Se calcula HSP a continuación:

$$HSP = \frac{2,4 \frac{KW \cdot h}{m^2}}{1 \frac{KW \cdot h}{m^2}} = 2,4 HSP$$

Se obtienen 2,4 horas de sol pico (HSP), pero cabe destacar que se toma el peor escenario posible para asegurar que la producción mínima es la necesaria para los



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

peores meses. Con HSP, la energía necesaria en el peor caso y el rendimiento, se puede calcular el número de módulos necesarios para la instalación:

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{206,62 [Wh/día]}{2,4 [HSP] \cdot 0,8 \cdot 265 [Wp]} = 0,4 \text{ módulos} \approx 1 \text{ módulo}$$

El resultado muestra que solo será necesario un panel, ya que con la potencia pico de 265 Wp es suficiente para cubrir la demanda diaria de la baliza. Se ha elegido un 80% de rendimiento de trabajo ya que se han considerado un rendimiento estándar dentro de los valores habituales de 70% y 90%.

5.3 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO BATERÍA

El siguiente cálculo que se realiza es el de la batería, para el cual se deberá establecer una autonomía para la instalación. Para ello, se han consultado las estadísticas de clima como se muestra en la Figura 5.13, para establecer un número estándar de días nublados para determinar la autonomía [38]. Como se puede observar, los meses más desfavorables son Enero, Noviembre y Diciembre. Los días que se indican como nublados son los que tienen más de un 80% de cubierta de nubes, por lo que la radiación que capturaría la instalación no sería tanta como un día claro. Viendo estos datos, se determina que la autonomía que debería tener la batería es de 10 días, debido a que el máximo de días nublados al mes son aproximadamente 13 días.

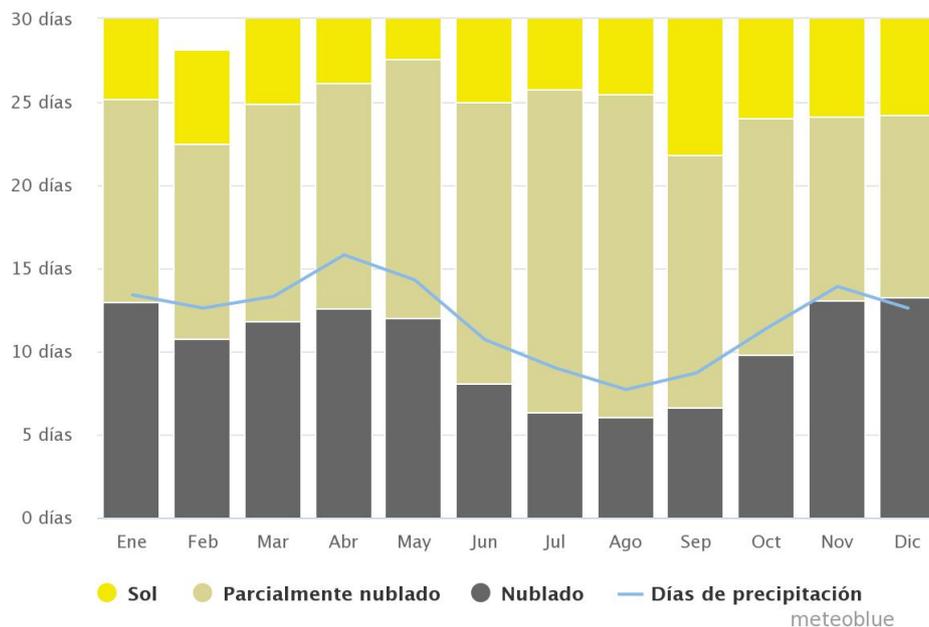


Figura 5.13: Relación de días nublados a lo largo del año (Fuente: MeteoBlue)

Definida la autonomía que tendrá la instalación, se calcula la capacidad de la batería teniendo en cuenta que la profundidad de descarga máxima será del 70% para poder alargar los ciclos y la vida de la batería. El voltaje de trabajo de la batería serán 24 V. El cálculo:



Néstor Diego Revuelta

$$C_{bat} = \frac{206,62 [Wh/día] \cdot 10 [días]}{24[V] \cdot 0,7} = 122,98 Ah$$

La batería a utilizar será la que más se aproxime al cálculo anterior con los parámetros de capacidad y tensión definidos. La opción inicial se ha planteado como una batería estacionaria por su larga vida y gran calidad, sin embargo, la capacidad calculada es demasiado pequeña para una batería de este tipo de batería que sumado a su elevado coste hace que esta opción se descarte. Se opta entonces por dos baterías de plomo-ácido de la marca Yuasa, concretamente el modelo Pro Spec DCB1275 que cuenta cada una con 12 V y 150 Ah [39], por lo que se colocarán en serie para adquirir los parámetros necesarios por la instalación. Estas baterías necesitan un mantenimiento mínimo y son de ciclo profundo, ideales para instalaciones aisladas del tipo que se está proyectando.

5.4 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO INVERSOR

Para el dimensionamiento de la potencia del inversor se aplicará la formulación mencionada en el apartado de metodología, tomando finalmente como valor del ratio de dimensionamiento 1,1. Así pues, el dimensionamiento será el siguiente:

$$P_{inv} = \frac{265 Wp}{1,1} = 240,9 W$$

La potencia mínima del inversor debe ser de 240,9 W por lo que selecciona el inversor Victron Phoenix 24 V 250 VA, que consta de una potencia de 250 W. El inversor que se selecciona es superior en términos de potencia, pero se toma esta decisión por la marca Victron, siendo líder en el sector y su calidad como aval. El inversor cuenta con un rango de entrada en corriente continua de 12, 24 o 48 V, lo que es perfecto para la instalación ya que el panel elegido suministra una tensión de 24 V [40]. El voltaje de salida es de 230 V, lo necesario para el consumo de la baliza en corriente alterna.

5.5 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO REGULADOR DE CARGA

El siguiente elemento que se debe tener en cuenta para la instalación es el regulador de carga, componente fundamental ya que actúa como el cerebro del sistema. Lo que se pretende mediante la integración de un regulador de carga es evitar sobrecargas y descargas que puedan dañar la batería y reducir su vida útil, recordando que la profundidad máxima de descarga será de un 70%. Por ello, es de vital importancia asegurar que la calidad es óptima. El regulador de carga también se encarga de buscar el punto máximo de potencia mediante el sistema MPPT (Maximum Power Point Tracking) durante el funcionamiento del módulo, ajustando los parámetros para su obtención en cada momento. El dimensionamiento del regulador será el siguiente:

$$I_{RC} = \frac{9,08[A] \cdot 1}{\left(\frac{24[V]}{24[V]}\right)} = 9,08A$$

La intensidad del elemento según los cálculos debería ser 9,08 A, sin embargo, se sobredimensiona hasta los 15 A, ya que el tamaño anterior son 10 A y no habría margen



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

para sobrecargas. El regulador de carga elegido es el modelo BlueSolar 75/15 de la marca Victron. Este modelo es elegido por su alta eficiencia (98%) y por su idoneidad en los valores máximos, que se ajustan perfectamente a los necesarios en la instalación [41].

5.6 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO

El cableado de la instalación constará de dos tramos de cuatro metros cada uno. El primer tramo cubrirá el recorrido desde el generador fotovoltaico que pasará por el regulador de carga y la batería, hasta la entrada del inversor. Todo este tramo se realizará en corriente continua con 24 V de tensión. El siguiente tramo comienza a la salida del inversor y llegará hasta la propia baliza, con una tensión de 230 V y un factor de potencia de unidad, en corriente alterna.

Primero se calculará el tramo de corriente continua, donde serán necesarios cuatro metros de cable, y se empleará un cable con conductor de cobre. Para ello se utiliza la intensidad de cortocircuito, sobredimensionada un 25% para asegurar para asegurar que cumple con los requisitos de caída de tensión y sobrecalentamiento por radiación solar contemplados en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión [42]. El cálculo para el tramo de continua se realiza de la siguiente manera:

$$I' = 9,08 \cdot 1,25 = 11,35A$$
$$S = \frac{2 \cdot 4 \cdot 11,35}{56 \cdot \left(\frac{1,5}{100}\right) \cdot 24} = 4,50mm^2$$



Néstor Diego Revuelta

En cuanto al criterio de intensidad máxima admisible para el dimensionamiento de cableado se deben tener en cuenta diversos factores como son el material del conductor, el tipo de cable, y a intensidad máxima admisible. Con estos datos se puede acudir a la tabla que se muestra a continuación:

Norma UNE 20 460-5-323-2004												
	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
Conductores aislados en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes. Método A1.												
Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes. Método A2.	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
Conductores aislados en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotrados en obra. Método B1.				PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2				
Cables multiconductores en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotrados en obra. Método B2.		PVC3	PVC2			XLPE3	XLPE2					
Cables multiconductores directamente sobre la pared o en bandeja no perforada. Método C.					PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
Cables multiconductores al aire libre o en bandeja perforada. Distancia a la pared no inferior a 0,3 D (diámetro del cable). Método E.						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
Cables unipolares en contacto mutuo o en bandeja perforada. Distancia a la pared no inferior a D. Método F.							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Conductor	mm ²											
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174	
50	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210	
70			149	160	171	185	199	214	224	244	269	
95			180	194	207	224	241	259	271	296	327	
120			208	225	240	260	280	301	314	348	380	
150			236	260	278	299	322	343	363	404	438	
185			268	297	317	341	368	391	415	464	500	
240			315	350	374	401	435	468	490	552	590	

Figura 5.14: Elección de sección (Fuente: automatismoindustrial.com)

Como está indicado en la Figura 5.14 el cable elegido es con conductor de cobre, y su uso viene definido por la tipología B2 ya que estará situado en exteriores. Se trata de un cable de tipología 2xPVC (2 conductores, revestimiento de Policloruro de vinilo), y la intensidad máxima admisible es de 16 A, por lo que la sección elegida es de 2,50 mm². Si se compara con el valor obtenido en la anterior formulación (4,50 mm²), se puede observar con claridad que la opción más restrictiva es efectivamente la calculada con el criterio de caída de tensión máxima admisible, por lo que la sección elegida para el cableado del tramo de continua es de 4,5 mm² sección que no es estándar, por lo que se elige la inmediatamente superior, siendo esta de 6 mm². Por ello, se decide emplear el modelo de cable Exzehellent ZZ-F, de la marca General Cable con una sección de 6mm², acorde a la sección calculada en el paso anterior.



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

En el tramo de corriente alterna se utiliza la formulación correspondiente, teniendo en cuenta que el fabricante indica una sección máxima de salida de 10 mm^2 . El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación por el criterio de caída de tensión:

$$I' = \left(\frac{175W}{230V} \right) \cdot 1,25 = 0,95A$$
$$S = \frac{2 \cdot 4 \cdot 0,95}{56 \cdot \left(\frac{1,5}{100} \right) \cdot 230} \cdot \text{Cos } 1 = 0,04\text{mm}^2$$

En cuanto al criterio de intensidad máxima se vuelve a utilizar la misma tabla que anteriormente para calcular la sección con este criterio. Sin embargo, ahora al tratarse de corriente alterna se utiliza la tipología de 3xPVC (3 conductores, fase neutro y tierra, revestimiento de Policloruro de vinilo), que junto a la intensidad máxima admisible resulta en la sección mínima de la tabla, es decir, $1,5\text{mm}^2$ al ser el más restrictivo. Se decide por tanto utilizar el cable de $1,5 \text{ mm}^2$ de la marca General Cable, en concreto el modelo Exzehellent RZ1-K de $1,5 \text{ mm}^2$ de sección.

5.7 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Serán necesarios diferentes elementos de protección, tales como fusibles e interruptores. El primer elemento de protección será el fusible en el tramo de continua, que protegerá el cableado de posibles sobreintensidades hasta llegar al inversor. Para determinar la intensidad que deberá tener, se toma la intensidad de cortocircuito del panel y se emplea la siguiente formulación:

$$I_f = 9,08A \cdot 1,25 = 11,35A$$

Debido al valor obtenido, se instalarán fusibles de 16 A, cuya instalación se llevará a cabo en ambas polaridades del generador fotovoltaico. Para evitar posibles daños de aislamiento frente a personas, se instalará protección mediante interruptor diferencial y magnetotérmico. Se instalará en el cuadro de salida del tramo de alterna. Se empleará el modelo A9K17616 de 2 polos y 16 A de la marca Schneider.

En cuanto a lo que el interruptor diferencial se refiere, este servirá para proteger a las personas de un contacto directo o por posibles contactos indirectos debido a superficies con posible potencial derivado de un fallo de aislamiento. Este tipo de interruptores saltan desconectando la instalación al detectar esas posibles cargas que se han derivado del sistema y puedan afectar a las personas. Lo ideal al estar en una instalación al aire libre y que pueda necesitar un mantenimiento regular, es que el interruptor sea de tipo AC, por lo que se decide instalar un interruptor diferencial de dos pares de polos con una sensibilidad de 30 mA y una intensidad máxima admisible de 25 A. El modelo elegido es el 402056E de la marca Legrand.

También deberá de instalarse un interruptor general de interconexión que sea de manipulación manual y accesible, siendo este un interruptor que permita la desconexión



Néstor Diego Revuelta

de la instalación para tareas de mantenimiento y también proteja frente a sobrecargas. La instalación de este interruptor se llevará a cabo en la propia instalación en lo alto del Monte Peñacastillo. La intensidad máxima de cortocircuito de la instalación será la que determine el poder de corte del dispositivo, por lo que se decide que el valor mínimo que deberá tener este interruptor no será menor a 10 A. Se utiliza el modelo 207400-T0-2-8900/EA/SVB de la marca Eaton con una intensidad de 20 A.

5.8 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE INVERSIÓN

Lo primero que se debe tener en cuenta es la inversión que se tendría que llevar a cabo para que este proyecto se realice. Este presupuesto ha sido hecho con la herramienta Excel, en el que se han ido anotando los diferentes componentes con sus respectivos precios, dándoles un 10% de sobrecoste como margen comercial. También se tienen en cuenta la clausura de la instalación actual, la mano de obra, la instalación, el control de la ejecución de obra, la gestión de residuos de obra y demolición, la planificación preventiva, costes indirectos y beneficio industrial, estos dos últimos datos tomados como 13% y 6% respectivamente. Teniendo en cuenta todos estos factores, la inversión necesaria para acometer esta instalación asciende a 2.160,68 €, como se muestra a continuación:



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGIA
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

1 ELECTRIFICACION MEDIANTE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA DE BALIZA DE OBSTACULOS DE PEÑACASTILLO							1.815,70 €
Código	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres	TOTAL PARTIDA	
1.1	ud	TRABAJOS PREVIOS				175,00 €	
1.1.1	ud	REVISION CLAUSURA INSTALACIONES Revisión de las distintas acometidas de balizamiento y servicios afectados en el área de actuación identificando su procedencia, así como su actividad y servicio, desconexión total, corte del fluido eléctrico e informe contrastado de su clausura, análisis de líneas de alimentación secundarias, cuadros secundarios, líneas y circuitos, mecanismos y cajas, etc. se realizarán los croquis pertinentes, para poder reflejar posteriormente en planos su antigua ubicación y características generales, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por empresa homologada. Medida la unidad ejecutada para el conjunto de acometidas existentes.	1,00	175,00 €	175,00 €		
1.2		INSTALACION DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA				1.640,70 €	
1.2.1	Ud	PANEL SOLAR Suministro de panel solar fotovoltaico, marca REC Solar, modelo 265PE, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	202,40 €	202,40 €		
1.2.2	Ud	INVERSOR Suministro de inversor, marca Victron, modelo Phoenix 241250, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	105,02 €	105,02 €		
1.2.3	Ud	REGULADOR DE CARGA Suministro de regulador de carga, marca Victron, modelo BlueSolar 75V-15A, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	102,67 €	102,67 €		
1.2.4	Ud	BATERÍA Suministro de sistema de acumulación, marca Yuasa, modelo Pro Spec DCB1275, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	2,00	265,00 €	530,00 €		
1.2.5	m	CABLEADO AC Suministro de cableado, marca General Cable, modelo Exzehellant RZ1-K de 15mm ² de sección, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	5,00	1,03 €	5,15 €		
1.2.6	m	CABLEADO CC Suministro de cableado, marca General Cable, modelo Exzehellant ZZ-F de 6mm ² de sección, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	5,00	0,90 €	4,50 €		
1.2.7	Ud	FUSIBLES Suministro de Fusibles, marca Tekka, modelo 16A, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	5,00	0,77 €	3,85 €		
1.2.8	Ud	INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO Suministro de Interruptor magnetotérmico, marca Schneider, modelo A3K17616 de dos polos y 16A, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	7,30 €	7,30 €		
1.2.9	Ud	INTERRUPTOR DIFERENCIAL Suministro de Interruptor Diferencial, marca Legrand, modelo 402056E de dos polos y 25A, con una sensibilidad de 30mA según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	23,63 €	23,63 €		
1.2.10	Ud	INTERRUPTOR INTERCONEXIÓN Suministro de Interruptor de interconexión, marca Eaton, modelo 207400-TO-2-8900, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	34,74 €	34,74 €		
1.2.11	h	MANO DE OBRA - Oficial 1º electricista. Oficial 1º electricista, para la ejecución de la instalación, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrato, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrato, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	32,00	19,42 €	621,44 €		
PRESUPUESTO EJECUCION MATERIAL							1.815,70 €
							344,98 €
Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres	TOTAL PARTIDA		
ud	COSTES INDIRECTOS Y BENEFICIO INDUSTRIAL				344,98 €		
%	Costes indirectos (13% PEM)			236,04 €			
%	Beneficio industrial (6% PEM)			108,94 €			
TOTAL PRESUPUESTO							2.160,68 €

Figura 5.15: Presupuesto total (Fuente: Elaboración propia)



Néstor Diego Revuelta

Sin embargo, el Gobierno de Cantabria publicó a día 23 de Febrero de 2021 en el Boletín Oficial de Cantabria (BOC), la Orden INN/4/2021, de 15 de febrero, por la que se aprueba la convocatoria para el año 2021 de las subvenciones a actuaciones en energías renovables y ahorro y eficiencia energética en Cantabria, entre la que se encuentra la energía solar fotovoltaica [43]. Dichas subvenciones pueden cubrir hasta los 2.500 € por kWp instalado si la potencia de la instalación es menor de 5 kWp, caso que se cumple en este proyecto, y según se muestra en la siguiente Figura. También se ofrecen subvenciones por tener sistema de acumulación.

El coste de referencia máximo se establece como el sumatorio de dos componentes:

- a) Se establecen para cada solicitante costes en la instalación por kWp en función de la potencia instalada en paneles fotovoltaicos.

P	€/kWp (sin IVA)
$P \leq 5$ kWp	2.500
$5 < P \leq 20$ kWp	$2.750 - 50 \times P$
$20 < P \leq 220$ kWp	$1.850 - 5 \times P$
$P > 220$ kWp	750

P=Potencia instalada en kWp (sumatorio de las potencias unitarias de los módulos fotovoltaicos que integren la instalación, medidas en condiciones estándar según la Norma UNE correspondiente).

- b) Adicionalmente a la tabla anterior, se considerarán costes por kWh de acumulación en las baterías, distinguiendo entre las baterías de última tecnología (litio) y el resto de las baterías convencionales (monoblock, opz, gel, etc). De no incorporar el proyecto baterías, este sumando sería cero.

Tipo de baterías	€/kWh acumulación (sin IVA)
Baterías de litio	750
Resto de baterías (monoblock, opzs, gel, etc)	200

Figura 5.16: Subvenciones otorgables (Fuente: Gobierno de Cantabria)



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

Teniendo en cuenta el peor de los casos, que sería no recibir ninguna ayuda y tener que costear todo el proyecto, está claro que el ejercicio de VAN y TIR no saldría rentable ya que como se muestra en la factura de la Figura 5.19, con los consumos actuales se ahorrarían en torno a 6 € mensuales. Sin embargo, se realiza el cálculo del VAN y TIR con el peor de los casos teniendo en cuenta una vida útil de la instalación de 25 años, que es la garantía que ofrece el fabricante del panel solar.



Figura 5.17: Factura tipo por el consumo de la baliza (Fuente: AENA)

$$VAN = -2.160,68 + \frac{72}{(1 + 0,0335)} + \frac{72}{(1 + 0,0335)^2} + \dots + \frac{72}{(1 + 0,0335)^{25}} = -986,05 \text{ €}$$

$$0 = -2.160,68 + \frac{72}{(1 + TIR)} + \frac{72}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{72}{(1 + TIR)^{25}} \rightarrow TIR = -1,72\%$$

Siendo D= -2.160,68 € la inversión inicial

k= 3,35% la tasa de descuento

Q= 72 €, el flujo de caja de cada período

n= 25, el número de períodos

Se toman los flujos de caja como el ahorro anual que se tendría al no estar conectado a la red y no consumir energía procedente de ninguna comercializadora. Con las facturas de luz proporcionadas por AENA con los consumos actuales, se puede ver que la media anual de pagos ronda los 72 €, valor muy bajo por el poco consumo de la baliza, por lo que se toma este valor como el flujo de caja de cada período, siendo este constante. Indicar, que no se tiene en cuenta las afecciones de la arbolada por donde discurre el tendido eléctrico, la cual causa problemas periódicamente y a la que es necesario podar.

Para la determinación de la tasa de descuento se ha tenido en cuenta la rentabilidad que supondría un excedente de capital en Aena, ya que según sus estatutos el excedente que arroje anualmente la cuenta de resultados del Ente público se imputará, por acuerdo del Consejo de Administración y en función de lo previsto, a la financiación del



Néstor Diego Revuelta

plan de inversiones y a la reducción de su endeudamiento. El remanente que resultare, en su caso, se ingresará en el Tesoro Público. Por ello se establece una tasa de descuento del 3,35%, interés de la deuda pública (1,85% en obligaciones a 15 años en la última subasta de marzo 2021) más una prima del 1,5% por el riesgo.

Tomando la tasa de descuento como un 3,35%, los cálculos indican que la instalación no es rentable, ya que el VAN sale con un valor negativo, siendo este de -986,05 €. Con este valor de VAN, la Tasa Interna de Retorno se calcula, siendo el valor resultante un -1,72%, lo que, al ser negativo, también indica la no rentabilidad económica del proyecto. Se utiliza el software Microsoft Excel para agilizar el cálculo, siendo el cálculo del VAN y del TIR funciones que tiene el programa por defecto.

Sin embargo, se puede tener en cuenta la inversión con la ayuda que propone el gobierno de Cantabria, lo que induce a realizar de nuevo este cálculo teniendo en cuenta dicha subvención. Como se ha expuesto párrafos previos, la subvención que se obtendría por una potencia instalada inferior a 5 kWp, serían 2.500 € por kWp instalado por lo que en el caso que se proyecta sería un máximo de 662,5 € (al multiplicar los 2.500 € por la potencia pico instalada de 0,265 kWp), que sumados a los 200 € por kWh de acumulación que se tenga (en el caso de proyecto serían 1,8 kWh por cada batería lo que da un total de 3,2 kWh equivalente a 640 €) darían un total de 1.302,50 €. Si a la cuantía correspondiente a la inversión inicial que se ha calculado en el presupuesto se le resta este valor de subvención, quedaría que la inversión inicial del proyecto debería ser de 858,18 € que es el valor con el que se procede a realizar de nuevo el cálculo del VAN y TIR. Se toma el 3,35% como la tasa de descuento, como en el caso anterior.

$$VAN = -858,18 + \frac{72}{(1 + 0,0335)} + \frac{72}{(1 + 0,0335)^2} + \dots + \frac{72}{(1 + 0,0335)^{25}} = 316,45 \text{ €}$$
$$0 = -858,18 + \frac{72}{(1 + TIR)} + \frac{72}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{72}{(1 + TIR)^{25}} \rightarrow TIR = 6,57\%$$

En este caso el resultado dice que, si sería rentable el proyecto con una vida de 25 años, un número que podría ser perfectamente real, ya que la garantía del módulo cuenta con una garantía de funcionamiento de 25 años. El TIR por su parte resulta en un valor de 6,57%, lo que es mayor que cero y por lo cual el proyecto sería viable económicamente de esta manera.

Para poder acceder a la subvención del Gobierno de Cantabria y abaratar los costes, se deberán cumplir las siguientes condiciones, tal y como dice el BOC:

“a) Declaración responsable de no hallarse incurso en ninguna de las causas de incompatibilidad o prohibición para obtener subvenciones determinadas en el artículo 13, apartado 2, de la Ley 38/2003, de 17 de noviembre, General de Subvenciones, según el modelo Anexo II.

b) Breve Memoria descriptiva firmada y sellada por la empresa que ha llevado a cabo la instalación, que justifique y explique el objeto de las inversiones. En dicha



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

memoria deberá indicarse expresamente el uso de la instalación (particular o actividad empresarial).

c) Emplazamiento concreto de la instalación o equipos objeto de subvención. Se deberá indicar una referencia que permita su localización exacta (dirección completa, coordenadas GPS, referencia catastral, etc.),

d) Fotos de vista general de las instalaciones antes y después de llevar a cabo la actuación objeto de la inversión y, en su caso, de las placas identificativas de los equipos.

e) Declaración en la que figure la identificación de la empresa que ha realizado la instalación según el modelo Anexo III.

f) Facturas detalladas justificativas de las inversiones, las cuales deberán reunir los requisitos previstos en el Real Decreto 1619/2012, de 30 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento por el que se regulan las obligaciones de facturación y estar emitidas a nombre de la persona física o jurídica solicitante de la subvención en fecha comprendida entre el 1 de agosto de 2020, excepto para la tecnología geotermia que podrá ser desde el 1 de agosto de 2019, y el día en que finalice el plazo de presentación de solicitudes, ambos inclusive. La relación de facturas irá adjunta a una lista numerada de las mismas, firmada por el solicitante, según el modelo Anexo IV.

g) Justificantes del pago total de las facturas, abonados totalmente por la persona física o jurídica solicitante de la subvención en fecha comprendida entre el 1 de agosto de 2020, excepto para la tecnología geotermia que podrá ser desde el 1 de agosto de 2019, y el día en que finalice el plazo de presentación de solicitudes, ambos inclusive. Los pagos deberán haberse realizado a través de entidades financieras y la fecha del pago será, a todos los efectos, la fecha de valor que figure en el correspondiente cargo o adeudo” [44].

En cualesquiera de los casos, el proyecto no busca sólo un beneficio económico sino solucionar los actuales problemas que muestra la presente electrificación de la baliza mediante el tendido eléctrico, por lo que la justificación del proyecto no se basa solamente en el ámbito económico.

Por un lado, está el mantenimiento del tendido eléctrico y la propia torre metálica de la baliza se hacen cada vez más complicado, ya que la arbolada cercana dificulta estas tareas cuando los árboles crecen de más. Por otro lado, está la vertiente medioambiental, con el compromiso de AENA de la sostenibilidad y el fomento de las energías renovables. Con la realización del proyecto se arreglan estos problemas, por lo que desde una perspectiva medio ambiental el proyecto si resulta viable, al hacer uso de una energía renovable que permita a AENA cumplir su compromiso con el uso de estas tecnologías.



Néstor Diego Revuelta

6. CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIONES

Hoy en día la búsqueda de una generación de energía sostenible está cada vez más presente en la sociedad, con un claro objetivo de lograr una transición ecológica. Está claro que las energías renovables juegan un papel clave en la transición ecológica que se está llevando a nivel global, pero cabe destacar su uso no solo por el motivo anterior, sino también por su utilidad para solventar problemas como el que se presenta en este proyecto. Mediante la electrificación a través de energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáutica del Monte Peñacastillo, se logra solucionar el actual problema a través de la electrificación por tendido eléctrico, donde el diseño de esta instalación se centra por completo como objetivo principal.

Para ello en este Trabajo de Fin de grado en el primer apartado se ha tratado de dar visibilidad al propósito principal del proyecto, así como introducir los conceptos más importantes dentro del propio trabajo.

En el segundo apartado, denominado estado del arte, se ha tratado de dar una visión actual al estado del arte de la energía solar fotovoltaica, así como del señalamiento e iluminación de obstáculos aeronáuticos y la legislación eléctrica. En él se han presentado temas como la investigación más reciente o la normativa actual dentro de los ámbitos mencionados.

En el tercer apartado se ha presentado el caso de estudio, el cual mostró una idea concreta de la ubicación e instalaciones eléctricas asociadas a la baliza aeronáutica situada en lo alto del Monte Peñacastillo. Se han tratado temas desde el modelo de la propia baliza, la ubicación de la propuesta actual de electrificación y el régimen de funcionamiento de la baliza, permitiendo definir la potencia de la baliza con la que se trabaja en los siguientes apartados.

El cuarto apartado es el de metodología, donde se ha presentado toda la formulación y teoría necesaria para llevar a cabo los cálculos para la instalación solar fotovoltaica. También se ha hecho referencia a las distintas fuentes consultadas en materia de tablas de radiación solar, junto con el software utilizado para las simulaciones que se llevan a cabo para determinar la producción anual. Asimismo, se ha presentado la formulación necesaria para el análisis de inversiones en materia económica.

El apartado de resultados es el quinto apartado, y más importante en el proyecto. En él se han mostrado todos los resultados obtenidos mediante la formulación presentada en el apartado anterior, junto con las tablas de radiación solar que sirvieron como base para los cálculos. En base a los cálculos realizados y los resultados obtenidos, se han elegido los distintos equipos que constituirán finalmente la instalación, por lo que se justifica la importancia del apartado. Ha sido el apartado más extenso, concluyendo con el análisis económico en base al presupuesto creado para el proyecto.

A modo de resumen, una vez realizado el estudio de viabilidad en este trabajo se puede concluir lo siguiente:



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

- Para solucionar el actual problema de electrificación hace falta emplear alguna tecnología distinta a la actual, y dada la situación de la baliza en lo alto del monte, aislada, se decide que la energía solar fotovoltaica en una modalidad de instalación aislada es la más idónea para ello.
- La estructura en la que está instalada la baliza, permite colocar el panel fotovoltaico en la propia celosía de la estructura de la torreta, lo que permite facilitar el trabajo de instalación al no tener que realizar losa de hormigón para albergar los diferentes elementos y no ser necesario proteger mediante vallado la estructura donde iría situado el panel. Con la colocación del panel directamente en la celosía baja la producción en los meses de verano, pero se comprueba que es suficiente para cubrir la demanda energética de la baliza, por lo que queda descartado que este sea un factor limitante. Asimismo, se obtiene un ahorro económico al no tener que construir infraestructura de obra civil.
- La elección de los elementos de la instalación se lleva a cabo teniendo en cuenta parámetros como garantía, calidad y precio, para asegurar que la instalación cumpla con toda la normativa vigente, y a la vez cumpla con los cálculos realizados para la viabilidad del proyecto.
- En cuanto al ámbito económico, la instalación resulta viable siempre y cuando la subvención ofrecida por el Gobierno de Cantabria publicada a día 23 de Febrero de 2021 en el Boletín Oficial de Cantabria (BOC), mediante la Orden INN/4/2021, de 15 de febrero, resulte favorable. En caso de no recibir dicha subvención, la ejecución del proyecto igualmente estará justificada por la resolución del problema de la actual electrificación, así como por el compromiso de AENA de electrificación mediante energías renovables de todas sus infraestructuras.
- En lo que a medio ambiente y sostenibilidad se refiere, queda claro que la instalación es sostenible con el medio ambiente ya que ayuda a reducir las emisiones de CO₂, pero también ayuda a eliminar el actual tendido eléctrico que pasa a través de la arbolada del Monte Peñacastillo.
- Es posible que AENA lleve a cabo la electrificación de distintos elementos aislados en un futuro cercano mediante tecnologías similares a las llevadas a cabo en este proyecto, siendo este tipo de instalaciones necesarias para lograr el compromiso por parte de AENA con el fomento de las energías renovables de cara a una generación y consumo eléctrico sostenibles.

Así pues, se puede concluir que el proyecto si es viable teniendo en cuenta todos los puntos anteriores. Pero sobre todos estos puntos cabe destacar el objetivo principal del proyecto, el cual se ve cumplido ya que se determina que los problemas que presenta la actual electrificación de la baliza se pueden solucionar haciendo la correcta instalación de la tecnología solar fotovoltaica aislada propuesta.



Néstor Diego Revuelta

6.2 UTILIDAD PRÁCTICA DEL TRABAJO

Como se ha explicado en apartados anteriores la principal motivación de este proyecto es conseguir integrar la energía necesaria para el funcionamiento de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos mediante una fuente de origen renovable y solucionar así los presentes problemas de electrificación, así como promover la transición energética hacia fuentes de energías renovables en las infraestructuras del gestor aeroportuario AENA.

El hecho de que sea un Trabajo Fin de Grado con un objeto práctico real hace que este trabajo tenga un carácter de proyecto de ingeniería similar al que se hubiera podido realizar un Estudio de Ingeniería contratado a tal efecto, lo cual supone una motivación importante al poder poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el Grado de Ingeniería en Recursos Energéticos en esta materia.

Todos los datos utilizados para la elaboración del trabajo son reales y han sido proporcionados por AENA. Asimismo, se realizó visita a la actual baliza de obstáculos el día 20 de Febrero de 2021. Estos datos incluyen los consumos de la baliza, la ficha técnica de la instalación actual, las facturas eléctricas y la tasa de retorno para el cálculo del VAN y el TIR. De esta manera y conociendo todos los datos reales, se ha podido elaborar un presupuesto detallado, acotando al máximo los posibles sobrecostes, haciéndolo en su totalidad real.

Pero lo más destacable y a lo que aspira este Trabajo Final de Grado es a poder ser llevado a cabo por parte de AENA. Al tener todos los datos la elaboración ha sido enfocada a que el proyecto pueda servir como base para realizar la instalación de energía solar fotovoltaica en lo alto del Monte Peñacastillo en forma de instalación aislada.

6.3 LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO

6.3.1 Conexión directa 24 V

Una de las líneas futura de desarrollo por la que se opta es el estudio de conexión directa de las placas a la baliza a una tensión de 24 V. En el caso de este TFG se optó por conexión a 230 V con objeto de poder realizar un diseño de instalación solar fotovoltaica que incluyera todos los elementos habituales en este tipo de instalaciones. El esquema de funcionamiento de la instalación sería el siguiente en conexión directa a 24 V:

Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

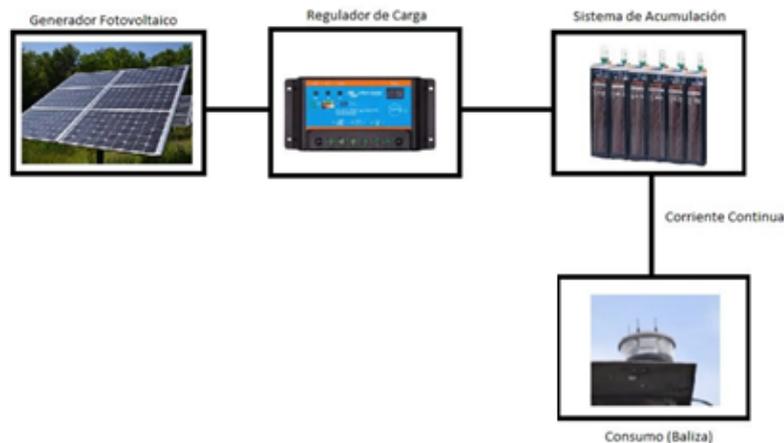


Figura 6.1: Esquema general funcionamiento instalación (Elaboración propia)

Al cambiar el voltaje de la instalación, también cambia el consumo de la baliza tal y como indica la ficha técnica de baliza [45], y con corriente continua la baliza solo consumiría 5,7 W. Conociendo el dato anterior se realiza de nuevo la tabla de consumo diario y mensual con la nueva potencia. Cabe destacar que el régimen de funcionamiento horario de la baliza sería el mismo, y solo se cambia la potencia de trabajo de la baliza como se indica en la siguiente tabla:

Mes	Potencia de la Baliza (W)	Horas totales de funcionamiento baliza (caso peor)	Energía necesaria (W·h) por día	Energía necesaria (W·h) Total del mes
Enero	5,7 W	15h 58min	91,01 W·h	2.821,31 W·h
Febrero	5,7 W	15h 04min	85,88 W·h	2.404,64 W·h
Marzo	5,7 W	13h 45min	78,38 W·h	2.429,63 W·h
Abril	5,7 W	12h 15min	69,83 W·h	2.094,75 W·h
Mayo	5,7 W	10h 51min	61,85 W·h	1.917,20 W·h
Junio	5,7 W	09h 48min	55,86 W·h	1.675,80 W·h
Julio	5,7 W	09h 38min	54,91 W·h	1.702,21 W·h
Agosto	5,7 W	11h 46min	67,07 W·h	2.079,17 W·h
Septiembre	5,7 W	13h 14min	75,43 W·h	2.262,90 W·h
Octubre	5,7 W	14h 41min	83,70 W·h	2.594,55 W·h
Noviembre	5,7 W	15h 47min	89,97 W·h	2.698,95 W·h
Diciembre	5,7 W	16h 01min	91,30 W·h	2.830,15 W·h

Tabla 6.1: Régimen de funcionamiento (Elaboración propia)

Como se puede observar, el consumo baja notablemente, de manera que el mes con más consumo es Diciembre con 2.830,15 Wh mensuales, lo que equivale a un consumo diario de 91,30 W·h en el peor día del mes. El consumo con este tipo de conexión baja mas de un 50% con respecto al anterior método, donde en el mismo día se consumían

Néstor Diego Revuelta

206,62 W·h. Se elabora un gráfico que muestre la producción y el consumo que se tendría con estos nuevos datos:

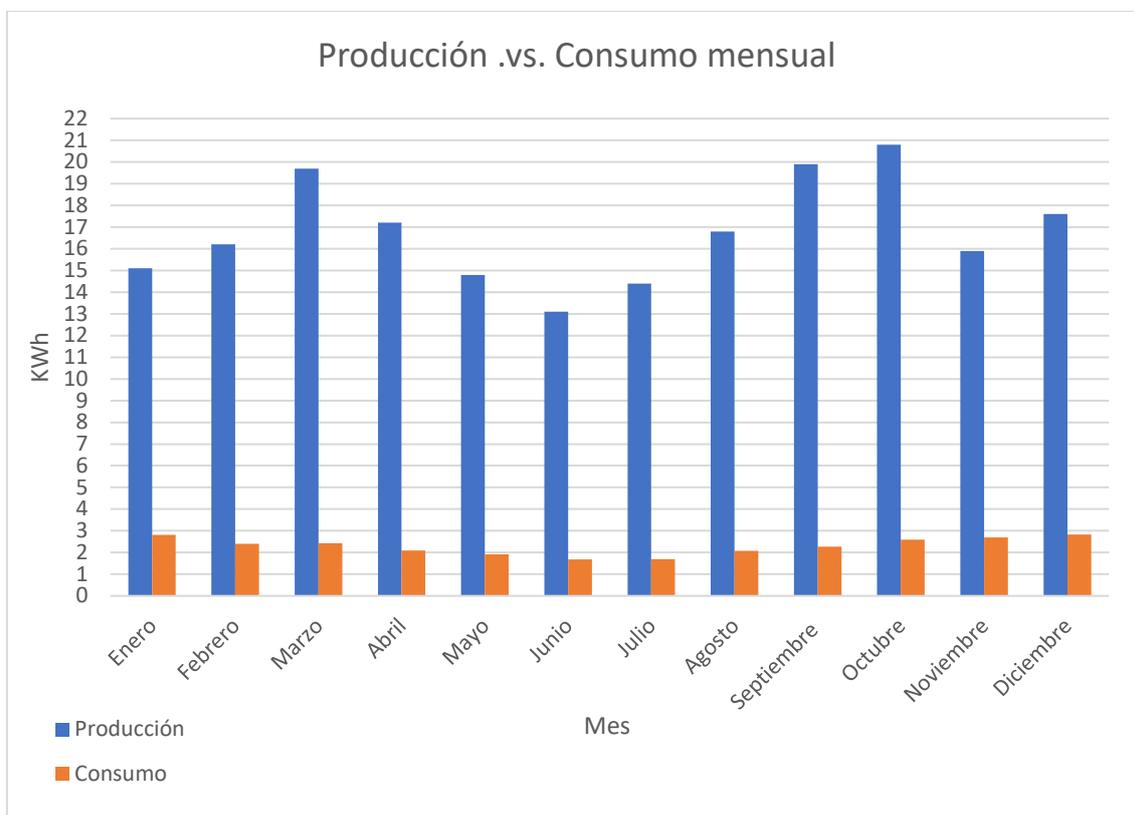


Gráfico 6.1: Producción y consumo (Fuente: elaboración propia)

Como se puede observar, hay muchísima diferencia entre la producción y el consumo, del orden de 10 kWh en el caso que menos diferencia hay (en Junio). El futuro estudio debería de incluir la posibilidad de cambiar el panel por uno con menos potencia pico, así como la capacidad de las baterías, ya que sería el ahorro económico la principal ventaja que se tendría, también dada por prescindir de instalar un inversor.

6.3.2 Conexión mediante energía eólica

Otra futura línea de investigación o trabajo sería el estudio de viabilidad económica para la electrificación de la baliza de obstáculos aeronáutica de Peñacastillo mediante energía mini-eólica. Para este caso, el esquema de funcionamiento de la instalación sería similar al que se ha presentado en este proyecto, salvo que se sustituiría el generador fotovoltaico por un generador mini-eólico. Esta modalidad tiene ventajas frente a la generación por tecnologías fotovoltaicas, siendo la más destacable que el generador eólico permitiría la obtención de energía también de noche, lo que podría resultar en una disminución de la capacidad de las baterías.

Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

Esta línea de desarrollo debería de incluir un estudio del recurso eólico en el emplazamiento de la baliza, pudiendo ser la poca intensidad de viento un factor limitante a la hora de llevar a cabo la instalación.

6.3.3 Conexión mediante modelo mixto energía eólica-fotovoltaica

Hoy en día existen ya modelos de electrificación que emplean una combinación de generadores fotovoltaicos y eólicos, siendo denominados sistemas híbridos. La principal ventaja que incluye esta modalidad de electrificación es la posibilidad de reducir la capacidad de las baterías. Esto es debido a que, al tener dos fuentes diferentes, se podría obtener energía de una independientemente de que la otra esté produciendo o no. También hay que destacar que el generador eólico también podría funcionar de noche. Como en el caso anterior, haría falta un estudio del recurso eólico en el emplazamiento de la baliza, lo que es costoso de cuantificar ya que la estación meteorológica más cercana sería la del propio Aeropuerto Seve Ballesteros-Santander, con lo que habría que estimar los datos a partir de los de otro emplazamiento.

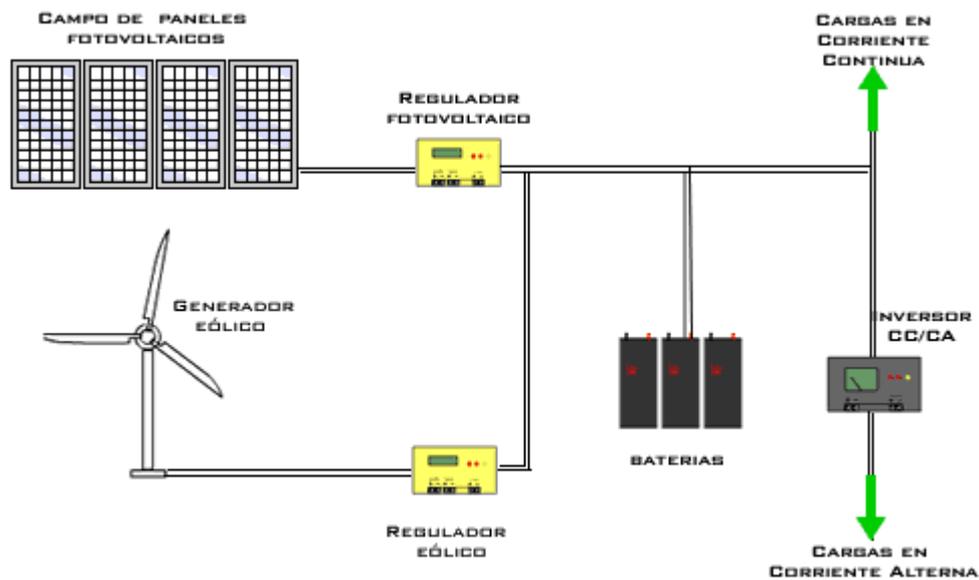


Figura 6.2: Ejemplo de electrificación mediante modelo mixto (Fuente:<http://www.balner.es/>)



7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agenda2030 - Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante». Accedido 21 de abril de 2021. Disponible en:
<https://www.agenda2030.gob.es/objetivos/objetivo7.htm>.
- [2] pnieccompleto_tcm30-508410.pdf, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [2020]. Accedido 21 de abril de 2021. Disponible en:
https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf.
- [3] 2020, el año de la energía más 'verde' gracias al récord en generación eólica y solar fotovoltaica | Red Eléctrica de España». Accedido 21 de abril de 2021.
<https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2021/03/2020-energia-mas-verde-gracias-record-eolica-y-solar-fotovoltaica>.
- [4] El sistema eléctrico español: Avance 2020., 2020. pp. 17. Red Eléctrica de España. Disponible en:
https://www.ree.es/sites/default/files/publication/2021/03/downloadable/Avance_IS E 2020_1.pdf
- [5] Aena batió su récord histórico en 2019 con 275,2 millones de pasajeros. *El Español* [en línea], 2020. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en:
https://www.elespanol.com/inertia/empresas/20200113/aena-batio-record-historico-millones-pasajeros/459454598_0.html.
- [6] Anexo 14-Aeródromos, OACI [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en:
<https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-14-vol-i.pdf>
- [7] Señalamiento e iluminación de obstáculos, AESA, Apartado 5- Definiciones [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en:
<https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/ssaa-16-gui-121.pdf>
- [8] Boletín Oficial del Estado num 132, a 1 de Junio de 2009, Ministerio de la Presidencia. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en:
<https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2009-9043>
- [9] Anexo 14-Aeródromos, OACI [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en:
<https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-14-vol-i.pdf>
- [10] Señalamiento e iluminación de obstáculos, AESA, pág 6, Apartado 3 [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en:
<https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/ssaa-16-gui-121.pdf>
- [11] Señalamiento e iluminación de obstáculos, AESA [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/ssaa-16-gui-121.pdf>



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

- [12] Señalamiento e iluminación de obstáculos, AESA, pág 21, Apartado 7.2 [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/ssaa-16-gui-121.pdf>
- [13] Boletín Oficial del Estado num 132, a 1 de Junio de 2009, Ministerio de la Presidencia. Apartado 6.3.14 [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2009-9043>
- [14] Las renovables superan ya en potencia instalada al resto de fuentes de energía en la península | Red Eléctrica de España. [en línea], [2020]. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2020/03/las-renovables-superan-ya-en-potencia-instalada-al-resto-de-fuentes-de-energia-en-la-peninsula>.
- [15] Series estadísticas nacionales | Red Eléctrica de España. [en línea], [2021]. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/datos/publicaciones/series-estadisticas-nacionales>.
- [16] Documento Básico Ahorro de Energía, *DBHE.pdf*, Sección 4, Ministerio de Fomento [en línea], [20 Diciembre 2019]. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>
- [17] Which new solar panel technologies will revolutionize energy production? *Solar Reviews* [en línea], [29 Enero 2021]. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://www.solarreviews.com/blog/solar-panel-technologies-that-will-revolutionize-energy-production>
- [18] ZHOU, Y., LI, J., RECHBERGER, H., WANG, G., CHEN, S., XING, W. y LI, P., 2020. Dynamic criticality of by-products used in thin-film photovoltaic technologies by 2050. *Journal of Cleaner Production*, vol. 263, pp. 121599. ISSN 0959-6526. DOI [10.1016/j.jclepro.2020.121599](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121599).
- [19] Powerwall | Tesla. [en línea], [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://www.tesla.com/powerwall>.
- [20] HERMESMANN, M., GRÜBEL, K., SCHEROTZKI, L. y MÜLLER, T.E., 2021. Promising pathways: The geographic and energetic potential of power-to-x technologies based on regeneratively obtained hydrogen. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 138, pp. 110644. ISSN 1364-0321. DOI [10.1016/j.rser.2020.110644](https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110644).
- [21] ¿Cómo funcionan las tecnologías Power-to-X? [en línea], [2019]. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/como-funcionan-las-tecnologias-power-to-x/>.
- [22] BOE.es - BOE-A-2002-18099 Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. ITC-BT-40 apartado 2-Clasificación. [en línea], [2020]. [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-18099>.



Néstor Diego Revuelta

- [23] BOE.es - BOE-A-2011-19242 Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. [en línea]. [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-19242>.
- [24] BOE.es - BOE-A-2013-13645 Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. [en línea]. [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-13645>.
- [25] BOE.es - BOE-A-2014-6123 Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. [en línea]. [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6123.
- [26] BOE.es - BOE-A-2018-13593 Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. [en línea]. [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-13593>.
- [27] BOE.es - BOE-A-2019-5089 Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. [en línea]. [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-5089.
- [28] URRUTIA, J., [2017]. Peñacastillo (139 m). <https://www.mendikat.net> [en línea]. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://www.mendikat.net/com/mount/2314>.
- [29] AENA, Ficha técnica de la instalación de la baliza de obstáculos en Peñacastillo [2015]
- [30] Señalamiento e iluminación de obstáculos, AESA [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/ssaa-16-gui-121.pdf>
- [31] Astronomía: Horas de salida y puesta de sol. [en línea], . [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <http://astronomia.ign.es/hora-salidas-y-puestas-de-sol>.
- [32] AENA, Ficha técnica de la instalación de la baliza de obstáculos en Peñacastillo [2015]
- [33] Why You Should Oversize Your PV Array By 10-20%. *Unbound Solar* [en línea], 2019. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://unboundsolar.com/blog/oversizing-pv-arrays>.
- [34] AENA, Ficha técnica de la instalación de la baliza de obstáculos en Peñacastillo [2015]
- [35] CASTRO ALONSO, P.B., [2020]. Renewable and Alternative Energies. Topic 2. Solar energy (II). *Solar energy*, Universidad de Cantabria.



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

- [36] *REC_PE_Series.pdf* [en línea], [Consulta: 26 abril 2021]. Disponible en: http://www.europe-solarshop.com/documents/rec/REC_PE_Series.pdf.
- [37] *Documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf* [en línea], [2011]. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf.
- [38] Archivo meteorológico Santander. *meteoblue* [en línea], [2020]. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/santander_es_pa%c3%b1a_3109718.
- [39] DCB1275-12(ET) Batería Yuasa Pro-Spec de ciclo profundo. , [en línea], [Consulta: 26 abril 2021]. Disponible en: <https://autosolar.es/pdf/Yuasa-ProSpec-DCB1275-12-150Ah.pdf>
- [40] *Datasheet-Phoenix-Inverter-VE.Direct-250VA-1200VA-ES.pdf* [en línea], [Consulta: 26 abril 2021]. Disponible en: <https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-Phoenix-Inverter-VE.Direct-250VA-1200VA-ES.pdf>.
- [41] *Datasheet-Blue-Solar-Charge-Controller-MPPT-75-10,-75-15,-100-15,-100-20_48V-ES.pdf* [en línea], [Consulta: 26 abril 2021]. Disponible en: https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-Blue-Solar-Charge-Controller-MPPT-75-10,-75-15,-100-15,-100-20_48V-ES.pdf.
- [42] BOE.es - BOE-A-2002-18099 Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. ITC-BT-40 Punto 42. [en línea], [2020]. [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-18099>.
- [43] *Boletín Oficial de Cantabria, Gobierno de Cantabria* [en línea], [2021]. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://boc.cantabria.es/boces/verAnuncioAction.do?idAnuBlob=358549>.
- [44] *Boletín Oficial de Cantabria, Gobierno de Cantabria*, Punto Octavo- Sección 4 [en línea], [2021]. [Consulta: 21 abril 2021]. Disponible en: <https://boc.cantabria.es/boces/verAnuncioAction.do?idAnuBlob=358549>
- [45] AENA, Ficha técnica de la instalación de la baliza de obstáculos en Peñacastillo [2015]



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



Néstor Diego Revuelta

8. ANEXOS

8.1 ANEXO I: PRESUPUESTO

ELECTRIFICACION MEDIANTE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA DE BALIZA DE OBSTACULOS DE PEÑACASTILLO							1.815,70 €
Código	Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres	TOTAL PARTIDA	
1.1	ud	TRABAJOS PREVIOS				175,00 €	
1.1.1	ud	REVISIÓN CLAUSURA INSTALACIONES Revisión de las distintas acometidas de balizamiento y servicios afectados en el área de actuación identificando su procedencia, así como su actividad y servicio, desconexión total, corte del fluido eléctrico e informe contrastado de su clausura, análisis de líneas de alimentación secundarias, cuadros secundarios, líneas y circuitos, mecanismos y cajas, etc. se realizarán los croquis pertinentes, para poder reflejar posteriormente en planos su antigua ubicación y características generales, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada. Medida la unidad ejecutada para el conjunto de acometidas existentes.	1,00	175,00 €	175,00 €		
1.2	Ud	INSTALACION DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA				1.640,70 €	
1.2.1	Ud	PANEL SOLAR Suministro de panel solar fotovoltaico, marca REC Solar, modelo 265PE, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	202,40 €	202,40 €		
1.2.2	Ud	INVERSOR Suministro de inversor, marca Victron, modelo Phoenix 24/250, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	105,02 €	105,02 €		
1.2.3	Ud	REGULADOR DE CARGA Suministro de regulador de carga, marca Victron, modelo BlueSolar 75V-15A, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	102,67 €	102,67 €		
1.2.4	Ud	BATERÍA Suministro de sistema de acumulación, marca Yuasa, modelo Pro Spec DCB1275, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	2,00	265,00 €	530,00 €		
1.2.5	m	CABLEADO AC Suministro de cableado, marca General Cable, modelo Exzehellent RZ1-K de 1.5mm2 de sección, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	5,00	1,03 €	5,15 €		
1.2.6	m	CABLEADO CC Suministro de cableado, marca General Cable, modelo Exzehellent ZZ-F de 6mm2 de sección, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	5,00	0,90 €	4,50 €		
1.2.7	Ud	FUSIBLES Suministro de Fusibles, marca Tekka, modelo 16A, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	5,00	0,77 €	3,85 €		
1.2.8	Ud	INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO Suministro de Interruptor magnetotérmico, marca Schneider, modelo A9K17616 de dos polos y 16A, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	7,30 €	7,30 €		
1.2.9	Ud	INTERRUPTOR DIFERENCIAL Suministro de Interruptor Diferencial, marca Legrand, modelo 402056E de dos polos y 25A, con una sensibilidad de 30mA según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	23,63 €	23,63 €		
1.2.10	Ud	INTERRUPTOR INTERCONEXIÓN Suministro de Interruptor de interconexión, marca Eaton, modelo 207400-TO-2-8900, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	1,00	34,74 €	34,74 €		
1.2.11	h	MANO DE OBRA - Oficial 1º electricista. Oficial 1º electricista. para la ejecución de la instalación, según especificaciones de documentación gráfica, pliego de condiciones, memoria e indicaciones de la Dirección facultativa en obra, incluso p.p. de medios auxiliares, certificados de idoneidad técnica de los materiales, control de recepción de material, replanteo por jefe de obra nombrado por contrata, ejecución según instrucciones de suministrador y dirección facultativa, presentación de certificado de control de ejecución por contrata, pruebas y ensayos de control de calidad por empresa homologada.	32,00	19,42 €	621,44 €		
PRESUPUESTO EJECUCION MATERIAL							1.815,70 €
							344,98 €
Ud	Resumen	CanPres	PrPres	ImpPres	TOTAL PARTIDA		
ud	COSTES INDIRECTOS Y BENEFICIO INDUSTRIAL				344,98 €		
%	Costes indirectos (13% PEM)			236,04 €			
%	Beneficio industrial (6% PEM)			108,94 €			
TOTAL PRESUPUESTO							2.160,68 €



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGIA
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



Estudio de viabilidad para la electrificación mediante energía solar fotovoltaica de la baliza de iluminación de obstáculos aeronáuticos del Monte Peñacastillo en Santander

8.2 ANEXO II: FICHA DE LA INSTALACIÓN TÉCNICA DE LA BALIZA

	MANUAL DE INSTALACIONES AEROPORTUARIAS	Edición	01
		Fecha	MAYO 2015
FICHA DE INSTALACIÓN			
BALIZAMIENTO OBSTACULOS – PEÑACASTILLO			

CARACTERISTICAS DE LA BALIZA

LED AIRCRAFT
WARNING LIGHTS
www.luxsolar.it

MIOL-B MIOL-C

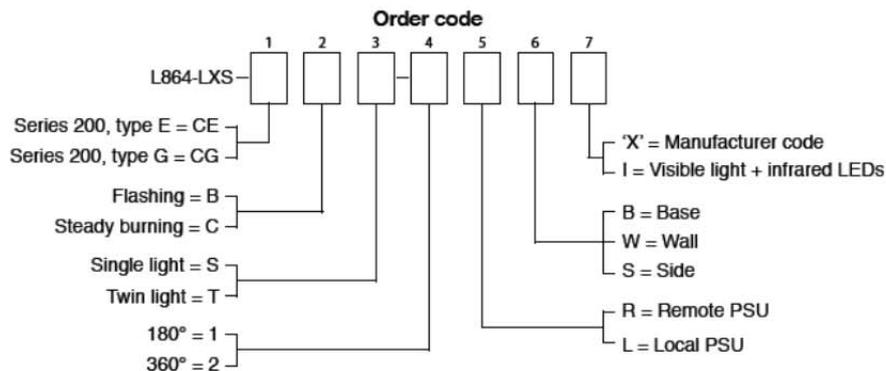


MEDIUM INTENSITY

Medium intensity obstruction light multiled type, compliance to ICAO type B/C, and FAA L-864, single or twin, night only.

- Based on LED technology
- Steady burning red light for MIOL-C
- Flashing red light for MIOL-B (20-60 fpm)
- Visible red light + infrared emission (see code 7)
- Long life time >10+ years expectancy
- Stabilized light output
- Inertized internal atmosphere
- Borosilicate cover protection
- Protection degree: IP 66
- Weight: 3,7 kg
- Power consumption for MIOL-C: 54W (230VAC), 39W (24VDC)
- Power consumption for MIOL-B @20fpm: 9,3W (230VAC), 3,1W (24VDC)
- Power consumption for MIOL-B @60fpm: 12,9W (230VAC), 5,7W (24VDC)

Patented air extraction system and heat sink





ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



Néstor Diego Revuelta

8.3 ANEXO III: FICHAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

HIGH PERFORMANCE SOLAR PANELS

REC PEAK ENERGY SERIES

REC Peak Energy Series panels are the perfect choice for building solar systems that combine long lasting product quality with reliable power output.

REC combines leading standards of design and manufacturing to produce high-performance solar panels with uncompromising quality.



**MORE POWER
PER M²**



**ROBUST AND
DURABLE DESIGN**

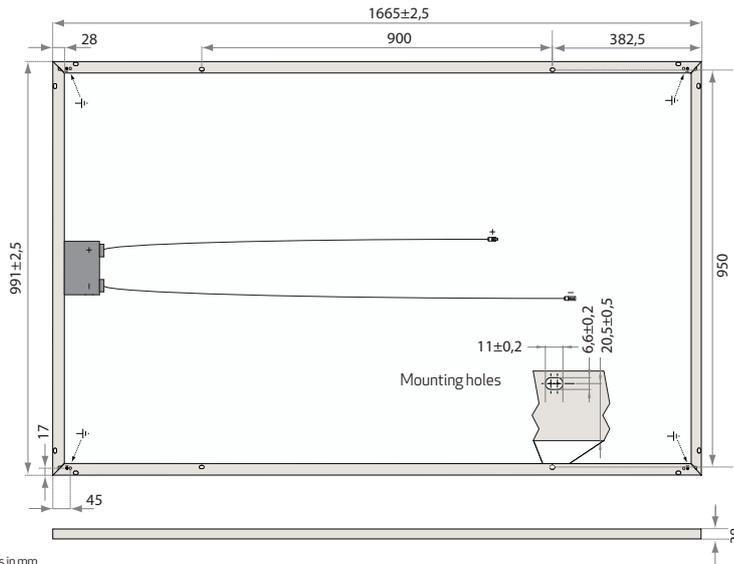


**ENERGY PAYBACK
TIME OF ONE YEAR**



**OPTIMIZED FOR ALL
SUNLIGHT CONDITIONS**

REC PEAK ENERGY SERIES



Measurements in mm.

ELECTRICAL DATA @ STC	REC240PE	REC245PE	REC250PE	REC255PE	REC260PE	REC265PE
Nominal Power - P_{MPP} (Wp)	240	245	250	255	260	265
Watt Class Sorting - (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Nominal Power Voltage - V_{MPP} (V)	29.7	30.1	30.2	30.5	30.7	30.9
Nominal Power Current - I_{MPP} (A)	8.17	8.23	8.30	8.42	8.50	8.58
Open Circuit Voltage - V_{OC} (V)	36.8	37.1	37.4	37.6	37.8	38.1
Short Circuit Current - I_{SC} (A)	8.75	8.80	8.86	8.95	9.01	9.08
Panel Efficiency (%)	14.5	14.8	15.1	15.5	15.8	16.1

Analysed data demonstrates that 99.7% of modules produced have current and voltage tolerance of $\pm 3\%$ from nominal values. Values at standard test conditions STC (airmass AM1.5, irradiance 1000 W/m², cell temperature 25°C). At low irradiance of 200 W/m² (AM1.5 and cell temperature 25°C) at least 97% of the STC module efficiency will be achieved.

ELECTRICAL DATA @ NOCT	REC240PE	REC245PE	REC250PE	REC255PE	REC260PE	REC265PE
Nominal Power - P_{MPP} (Wp)	183	187	189	193	197	202
Nominal Power Voltage - V_{MPP} (V)	27.7	28.1	28.3	28.5	29.0	29.4
Nominal Power Current - I_{MPP} (A)	6.58	6.64	6.68	6.77	6.81	6.90
Open Circuit Voltage - V_{OC} (V)	34.4	34.7	35.0	35.3	35.7	36.0
Short Circuit Current - I_{SC} (A)	7.03	7.08	7.12	7.21	7.24	7.30

Nominal operating cell temperature NOCT (800 W/m², AM1.5, windspeed 1 m/s, ambient temperature 20°C).

CERTIFICATIONS



take way
for an easy way
take-e-way WEEE Compliant
Recycling scheme

WARRANTY

10 year product warranty
25 year linear power output warranty
(max. degradation in performance of 0.7% p.a.)
See warranty conditions for further details.

16.1% EFFICIENCY
10 YEAR PRODUCT WARRANTY
25 YEAR LINEAR POWER OUTPUT WARRANTY

TEMPERATURE RATINGS

Nominal operating cell temperature (NOCT)	45.7°C ($\pm 2^\circ\text{C}$)
Temperature coefficient of P_{MPP}	-0.40 %/°C
Temperature coefficient of V_{OC}	-0.27 %/°C
Temperature coefficient of I_{SC}	0.024 %/°C

GENERAL DATA

Cell type:	60 REC PE multi-crystalline 3 strings of 20 cells with bypass diodes
Glass:	3.2 mm solar glass with anti-reflection surface treatment
Back sheet:	Double layer highly resistant polyester
Frame:	Anodized aluminum (silver)
Junction box:	IP67 rated 4 mm ² solar cable, 0.9 m + 1.2 m
Connectors:	Multi-Contact MC4 (4 mm ²)
Origin	Made in Singapore

MAXIMUM RATINGS

Operational temperature:	-40 ... +85°C
Maximum system voltage:	1000 V
Maximum snow load:	550 kg/m ² (5400 Pa)
Maximum wind load:	244 kg/m ² (2400 Pa)
Max series fuse rating:	25 A
Max reverse current:	25 A

MECHANICAL DATA

Dimensions:	1665 x 991 x 38 mm
Area:	1.65 m ²
Weight:	18 kg

Note! Specifications subject to change without notice.

REC is a leading global provider of solar energy solutions. With more than 15 years of experience, we offer sustainable, high performing products, services and investments for the solar industry. Together with our partners, we create value by providing solutions that better meet the world's growing energy needs. REC is headquartered in Norway and listed on the Oslo Stock Exchange (ticker: RECSOL). Our 1,600 employees worldwide generated revenues of USD 647 million in 2013.



www.recgroup.com

Yuasa Ficha Técnica

DCB1275-12(ET) Batería Yuasa Pro-Spec de ciclo profundo

Especificaciones

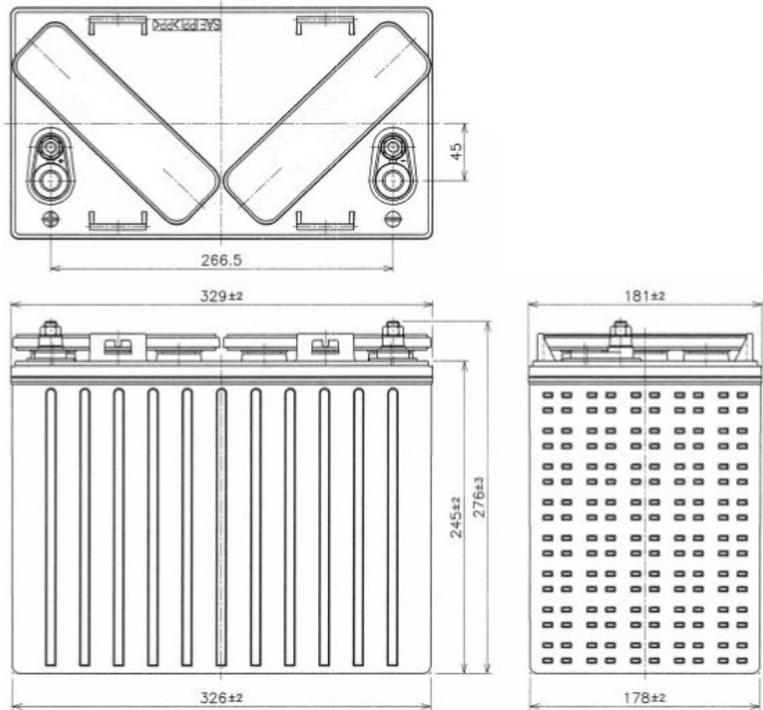
Voltaje nominal (V)	12
Evaluar a 5 hr la capacidad de 10,5V a 20°C (ah)	125
Evaluar a 20 hr la capacidad de 10,5V a 20°C (ah)	150
Capacidad a 75A (mins)	70
Capacidad a 25A (mins)	290

Capacidad a 5 HR por Temperatura

40°C	105%
30°C	100%
0°C	80%

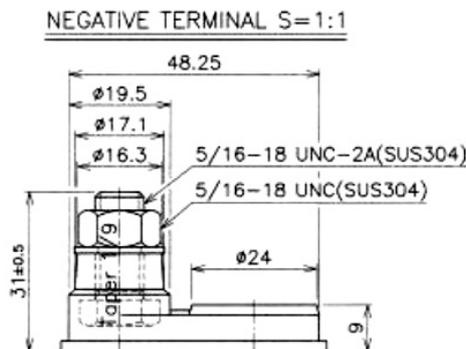
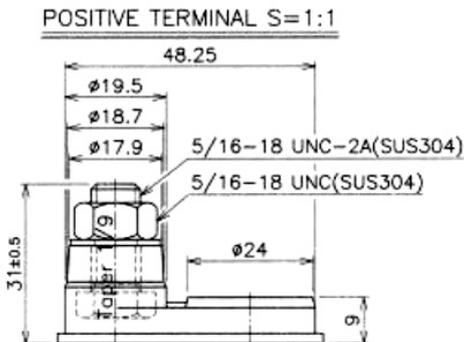
Dimensiones

Largo (mm)	329
Ancho (mm)	181
Alto (mm)	245
Alto incluyendo terminales (mm)	276
Peso (Kg)	37.5



Especificaciones del material

Estilo de la tapa	: Removable - Maintenance Possible
Estilo de la ventilación de la tapa	: Gang style
Material del contenedor y de la tapa	: Black polypropylene plastic
Metodo de sellado de la tapa	: Heat sealing
Tipo de conector entre celdas	: Through-partition weld
Metodo de soldado de la placa de lengüeta	: Automated cast-on process
Material de rejilla positiva	: Antimony lead alloy
Material de rejilla negativa	: Antimony lead alloy



Fecha de emision: 22/02/2018 - E&EO

Yuasa Technical Data Sheet

Yuasa DCB1275-12(ET) Pro-Spec Deep Cycle Battery

Specifications

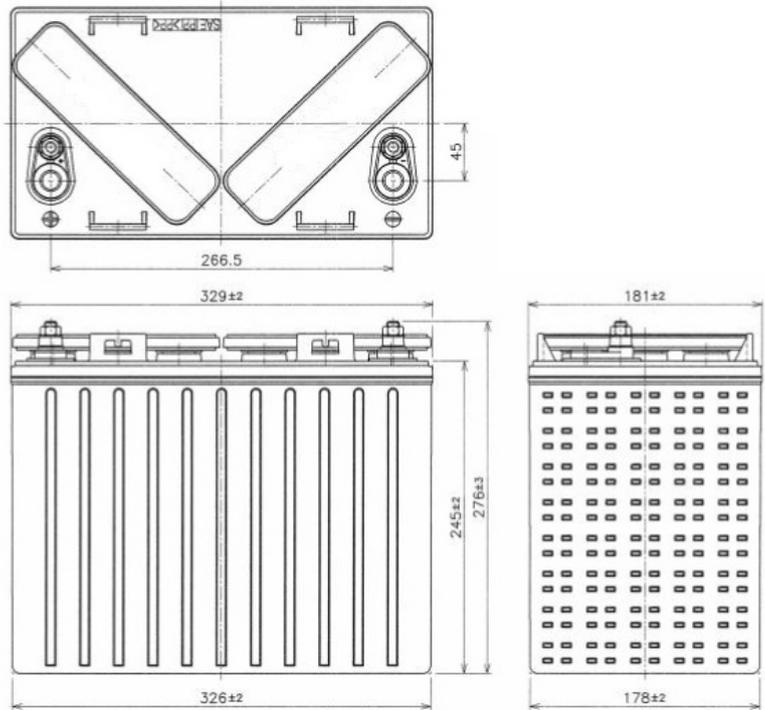
Nominal voltage (V)	12
5-hr rate Capacity to 10.5V at 20°C (Ah)	125
20-hr rate Capacity to 10.5V at 20°C (Ah)	150
Capacity @ 75A (mins)	70
Capacity @ 25A (mins)	290

5-Hr Capacity By Temperature

40°C	105%
30°C	100%
0°C	80%

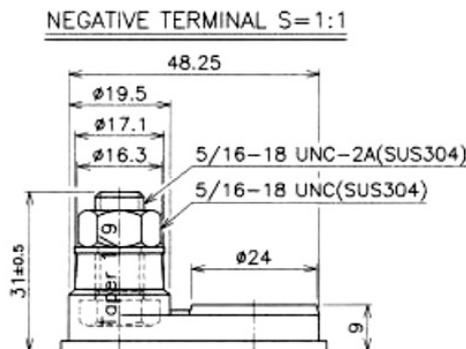
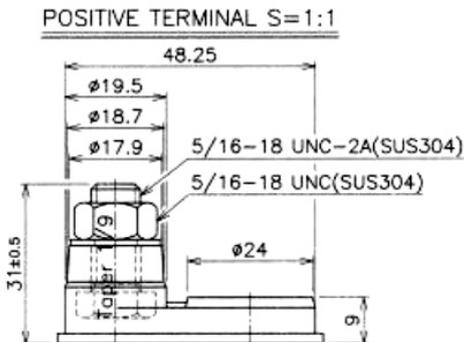
Dimensions

Length (mm)	329
Width (mm)	181
Height (mm)	245
Height over terminals (mm)	276
Mass (kg)	37.5



Material Specifications

Cover Style	: Removable - Maintenance Possible
Cover Vent Style	: Gang style
Container & Cover Material	: Black polypropylene plastic
Case to Cover Seal Method	: Heat sealing
Inner Cell Connector Type	: Through-partition weld
Plate Lug Weld Method	: Automated cast-on process
Positive Grid Material	: Antimony lead alloy
Negative Grid Material	: Antimony lead alloy



Data Sheet generated on 22/02/2018 - E&OE

Inversores Phoenix

250VA – 1200VA 230V y 120V, 50Hz o 60Hz

www.victronenergy.com



Phoenix 12/375 VE.Direct



Phoenix 12/375 VE.Direct



Puerto de comunicación VE.Direct

El puerto VE.Direct puede conectarse a:

- Un ordenador (se necesita un cable de interfaz VE.Direct a USB)
- Smartphones Apple y Android, tabletas, mackbooks y demás dispositivos (se necesita una mochila VE.Direct a Bluetooth Smart)

Totalmente configurable:

- Niveles de disparo de la alarma y restablecimiento por tensión baja de la batería.
- Niveles de desconexión y reinicio por tensión baja de la batería.
- Desconexión dinámica: nivel de desconexión dependiente de la carga
- Tensión de salida 210 - 245V
- Frecuencia 50 Hz o 60 Hz
- On/off del modo ECO y sensor de nivel del modo ECO

Seguimiento:

- Tensión y corriente de entrada/salida, % de carga y alarmas

Fiabilidad probada

La topología de puente completo más transformador toroidal ha demostrado su fiabilidad a lo largo de muchos años.

Los inversores están a prueba de cortocircuitos y protegidos contra el sobrecalentamiento, ya sea debido a una sobrecarga o a una temperatura ambiente elevada.

Alta potencia de arranque

Necesaria para arrancar cargas como convertidores para lámparas LED, halógenas o herramientas eléctricas.

Modo ECO

En modo ECO, el inversor se pondrá en espera cuando la carga descienda por debajo de un valor predeterminado (carga mínima: 15W). Una vez en espera, el inversor se activará brevemente (ajustable; por defecto: cada 2,5 segundos). Si la carga excede el nivel predeterminado, el inversor permanecerá encendido.

Interruptor on/off remoto

Se puede conectar un interruptor On/Off remoto a un conector bifásico o entre el positivo de la batería y el contacto de la izquierda del conector bifásico.

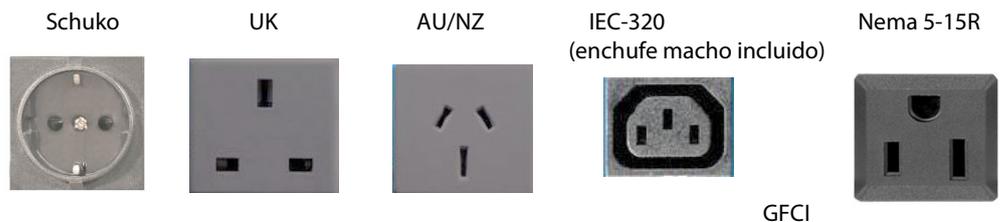
Diagnóstico LED

Por favor, consulte el manual para obtener su descripción.

Para transferir la carga a otra fuente CA: el conmutador de transferencia automático

Para nuestros inversores de menor potencia recomendamos nuestro conmutador de transferencia automática Filax. El tiempo de conmutación del Filax es muy corto (menos de 20 milisegundos), de manera que los ordenadores y demás equipos electrónicos continuarán funcionando sin interrupción.

Disponible con tres tomas de corriente distintas



GFCI

Bornes de tornillo

No se necesitan herramientas especiales para su instalación



Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont. a 25°C (1)	250VA		375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C	200 / 175W		300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia	400W		700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)	230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%					
Rango de tensión de entrada	9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V					
Desconexión por CC baja (ajustable)	9,3 / 18,6 / 37,2V					
Dinámica (dependiente de la carga) Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)	Desconexión dinámica, ver https://www.victronenergy.com/live/ve.direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff					
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)	10,9 / 21,8 / 43,6V					
Detector de batería cargada (ajustable)	14,0 / 28,0 / 56,0V					
Eficacia máx.	87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%	
Consumo en vacío	4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W	
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reintento: 2,5 s, ajustable)	0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO	Ajustable					
Protección (2)	a - f					
Rango de temperatura de trabajo	-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)					
Humedad (sin condensación)	máx. 95%					

CARCASA

Material y color	Chasis de acero y carcasa de plástico (azul RAL 5012)					
Conexión de la batería	Bornes de tornillo					
Sección de cable máxima:	10mm ² / AWG8	10mm ² / AWG8	10mm ² / AWG8	25/10/10mm ² / AWG4/8/8	35/25/25 mm ² / AWG 2/4/4	
Tomas de corriente CA estándar	230V: Schuko (CEE 7/4), IEC-320 (enchufe macho incluido) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120V: Nema 5-15R, GFCI					
Tipo de protección	IP 21					
Peso	2,4kg / 5,3lbs	3,0kg / 6,6lbs	3,9kg / 8,5lbs	5,5kg / 12lbs	7,4kg / 16,3lbs	
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p, pulgadas)	86 x 165 x 260 3,4 x 6,5 x 10,2	86 x 165 x 260 3,4 x 6,5 x 10,2	86 x 172 x 275 3,4 x 6,8 x 10,8	105 x 216 x 305 4,1 x 8,5 x 12,1 (12V modelo: 105 x 230 x 325)	117 x 232 x 327 4,6 x 9,1 x 12,9 (12V modelo: 117 x 232 x 362)	

ACCESORIOS

On/Off remoto	Sí					
Conmutador de transferencia automático	Filax					

ESTÁNDARES

Seguridad	EN-IEC 60335-1 / EN-IEC 62109-1					
EMC	EN 55014-1 / EN 55014-2 / IEC 61000-6-1 / IEC 61000-6-2 / IEC 61000-6-3					
Directiva de automoción	ECE R10-4					

1) Carga no lineal, factor de cresta 3:1

2) Claves de protección:

- a) cortocircuito de salida
- b) sobrecarga
- c) tensión de la batería demasiado alta
- d) tensión de la batería demasiado baja
- h) temperatura demasiado alta
- f) ondulación CC demasiado alta



Alarma de batería

Indica que la tensión está demasiado alta o demasiado baja por medio de una alarma visual y sonora y de un relé de señalización remota



Monitor de baterías BMV

El monitor de baterías BMV dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de alta resolución para la medición de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o el tiempo restante de carga de la batería. El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.



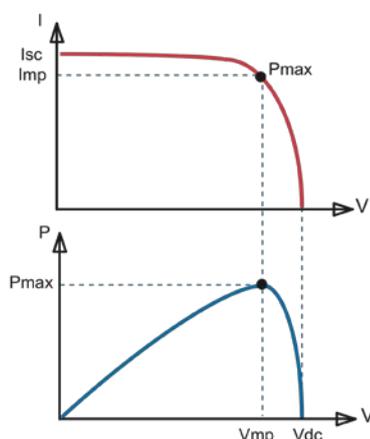
Mochila VE.Direct a Bluetooth Smart (Debe pedirse por separado)

Controlador de carga BlueSolar MPPT 75/10, 75/15 y MPPT 100/15

www.victronenergy.com



Controlador de carga solar MPPT 75/15



Seguimiento del punto de potencia máxima

Curva superior:

Corriente de salida (I) de un panel solar como función de tensión de salida (V). El punto de máxima potencia (MPP) es el punto Pmax de la curva en el que el producto de I x V alcanza su pico.

Curva inferior:

Potencia de salida $P = I \times V$ como función de tensión de salida. Si se utiliza un controlador PWM (no MPPT) la tensión de salida del panel solar será casi igual a la tensión de la batería, e inferior a V_{mp} .

Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT, por sus siglas en inglés).

Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Salida de carga

Se puede evitar que la batería se descargue en exceso conectando todas las cargas a la salida de carga. Esta salida desconectará la carga cuando la batería se haya descargado cuando llegue a una tensión preestablecida. También se puede optar por establecer un algoritmo de gestión inteligente de la batería: ver BatteryLife.

La salida de carga es a prueba de cortocircuitos.

Algunas cargas (especialmente los inversores) pueden conectarse directamente a la batería, y el control remoto del inversor a la salida de carga. Puede que se necesite un cable de interfaz especial; por favor, consulte el manual.

BatteryLife: gestión inteligente de la batería

Cuando un controlador de carga solar no es capaz de recargar la batería a plena capacidad en un día, lo que sucede es que el ciclo de la batería cambia continuamente entre los estados "parcialmente cargada" y "final de descarga". Este modo de funcionamiento (sin recarga completa periódica) destruirá una batería de plomo-ácido en semanas o meses.

El algoritmo BatteryLife controlará el estado de carga de la batería y, si fuese necesario, incrementará día a día el nivel de desconexión de la carga (esto es, desconectará la carga antes) hasta que la energía solar recogida sea suficiente como para recargar la batería hasta casi el 100%. A partir de ese punto, el nivel de desconexión de la carga se modulará de forma que se alcance una recarga de casi el 100% alrededor de una vez a la semana.

Algoritmo de carga de batería programable

Consulte la sección Asistencia y Descargas > Software en nuestra página web para más información.

Temporizador día/noche y opción de regulador de luminosidad

Consulte la sección Asistencia y Descargas > Software en nuestra página web para más información.

Opciones de datos en pantalla en tiempo real

- Smartphones, tabletas y otros dispositivos Apple y Android: consulte "VE.Direct y la mochila Bluetooth Low Energy"
- Panel ColorControl



Controlador de carga BlueSolar	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15
Tensión de la batería	Selección automática: 12/24 V		
Corriente de carga nominal	10 A	15 A	15 A
Potencia FV máxima, 12V 1a,b)	135 W	200 W	200 W
Potencia FV máxima, 24V 1a,b)	270 W	400 W	400 W
Desconexión automática de la carga	Sí, carga máxima 15 A		
Tensión máxima del circuito abierto FV	75 V		100 V
Eficiencia máxima	98 %		
Autoconsumo	10 mA		
Tensión de carga de "absorción"	14,4 V / 28,8 V (ajustable)		
Tensión de carga de "flotación"	13,8 V / 27,6 V (ajustable)		
Algoritmo de carga	variable multietapas		
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, -32 mV / °C resp.		
Corriente de carga continua/cresta	15A/50A		
Desconexión de carga por baja tensión	11,1 V / 22,2 V o 11,8 V / 23,6 V o algoritmo de BatteryLife		
Reconexión de carga por baja tensión	13,1 V / 26,2 V o 14 V / 28 V o algoritmo de BatteryLife		
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible) Corto circuito de salida / sobrecalentamiento		
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)		
Humedad	95 %, sin condensación		
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct Consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web		
CARCASA			
Color	Azul (RAL 5012)		
Terminales de conexión	6 mm ² / AWG10		
Tipo de protección	IP22 (área de conexiones)		
Peso	0,5 kg		
Dimensiones (al x an x p)	100 x 113 x 40 mm		
ESTÁNDARES			
Seguridad	EN/IEC 62109		
1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la potencia de entrada al máximo estipulado. 1b) La tensión FV debe exceder en 5V la Vbat (tensión de la batería) para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V.			