

05-022

PROPOSAL FOR A PHOTOVOLTAIC GENERATOR/ACCUMULATOR FOR ADAPTATION OF A GOODS CONTAINER. ANALYSIS OF POTENTIAL REGARDING ITS CONFIGURATION AND GEOGRAPHICAL SITUATION

Navarrete de Gálvez, Enrique ⁽¹⁾; Rodríguez-Passolas Cantal, Luis ⁽¹⁾; Gago Calderón, Alfonso ⁽¹⁾; Marzal Peña, Noelia ⁽¹⁾; García Ceballos, M^a Luz ⁽¹⁾

⁽¹⁾ UMA

The final reference price in the wholesale electricity market in Spain according to data from the e-sios has risen in recent years, going from final hourly average price values of around €40.00-60.00. /MWh for the period from 2,010 to 2,020, around the current €100.00/MWh of 2,023. CO2 emissions maintain the linear growth that they have been experiencing since 1950, currently reaching the 420 ppm indicated by NASA Global Climate Change, Vital Signs of the Planet. This situation has led to the installation of generation systems free of CO2 emissions and aimed at reducing the energy dependence of end users on distribution companies, for environmental and economic purposes. Photovoltaic technology as a result of the reduction in production costs, as well as the new regulations in force, has established itself as one of the reference alternatives, presenting an installed capacity in the Spanish electrical system in 2,023 of 19,569 MW according to data from REE. In response to the above, and as a contribution for the outlined goals, we will propose a design for a mobile photovoltaic generator/accumulator based on the recycling of a merchandise container. We will also study its potential taking into account its configuration and geographical location.

Keywords: generator; accumulator; photovoltaic; CO2 savings

PROPUESTA DE GENERADOR/ACUMULADOR FOTOVOLTAICO POR ADAPTACIÓN DE CONTENEDOR DE MERCANCÍAS. ANÁLISIS DE POTENCIALIDADES ATENDIENDO A SU CONFIGURACIÓN Y SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El precio final de referencia en mercado mayorista de la energía eléctrica en España según e-sios ha experimentado una subida en los últimos años, pasando de valores de precio medio horario final en el entorno de los 40.00-60.00 €/MWh para el periodo de 2,010 a 2,020, al entorno de los 100.00 €/MWh actuales de 2,023. Las emisiones de CO2 mantienen el crecimiento lineal que desde el 1,950 vienen experimentado, alcanzado actualmente las 420 ppm indicados por la NASA Global Climate Change. Esta situación ha propiciado la instalación de sistemas de generación libre de emisiones de CO2 y tendientes a disminuir la dependencia energética de los usuarios finales de las compañías distribuidoras, con fines medioambientales y económicos. La tecnología fotovoltaica resultado de disminución de costes de producción, así como de la nueva normativa vigente, se ha impuesto como una de las alternativas de referencia, presentando una potencia instalada en el sistema eléctrico español en 2,023 de 19,569 MW según datos de REE. Atendiendo a lo indicado, y como contribución a los fines reseñados, propondremos un diseño de generador/accumulator fotovoltaico móvil a partir del reciclado de un contenedor de mercancías. También estudiaremos sus potencialidades atendiendo a su configuración y situación geográfica.

Palabras clave: generador; acumulador; fotovoltaica; ahorro CO2

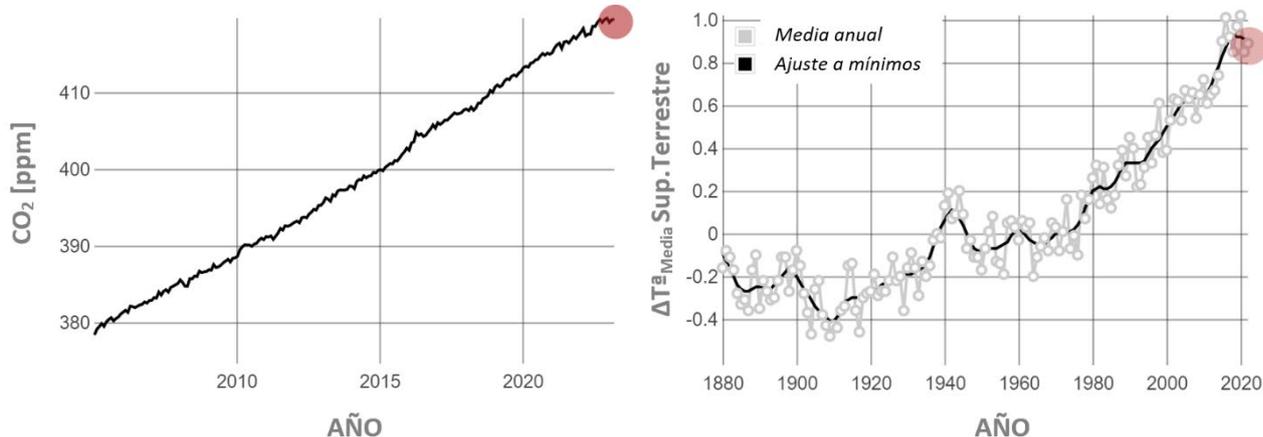


© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. INTRODUCCIÓN

La situación climática actual registra 420 ppm de CO₂ en la atmósfera terrestre (NASA, 2,023) y un incremento en la temperatura media de la superficie terrestre entre 1,880 y 2,022 de 0.89°C (NASA, 2023) (ver figura 1).

Figura 1. IZDA: Serie histórica valores anuales de ppm de moléculas de CO₂ (respecto moléculas de aire seco). DCHA: Serie histórica valores anuales de incremento de T^a media de la superficie terrestre (referencia valor medio de T^a entre 1,951 y 1,980).



Nota: Fuente NASA GLOBAL CLIMATE CHANGE. Vital Signs of the Planet. (2,023).

Frente a esta situación el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) propuso limitar el incremento en la temperatura media de la superficie terrestre a un máximo de 1.5°C respecto del periodo preindustrial. Esto ha propiciado que los gobiernos de los distintos países legislen a favor de nuevas fuentes de generación sostenible.

Como consecuencia, la energía fotovoltaica en España, con la entrada en vigor del RD 244/2,019, las distintas ayudas y subvenciones, así como la disminución en los costes de producción de los distintos componentes requeridos por esta tecnología, ha pasado de tener una potencia peninsular instalada de 4,519.05 MW en 2,018, lo cual suponía un 5% aproximado de la potencia total instalada, a 19,569 MW en 2,023, lo que supone un 17% aproximado (REE, 2,023). Instalaciones en su mayoría fijas.

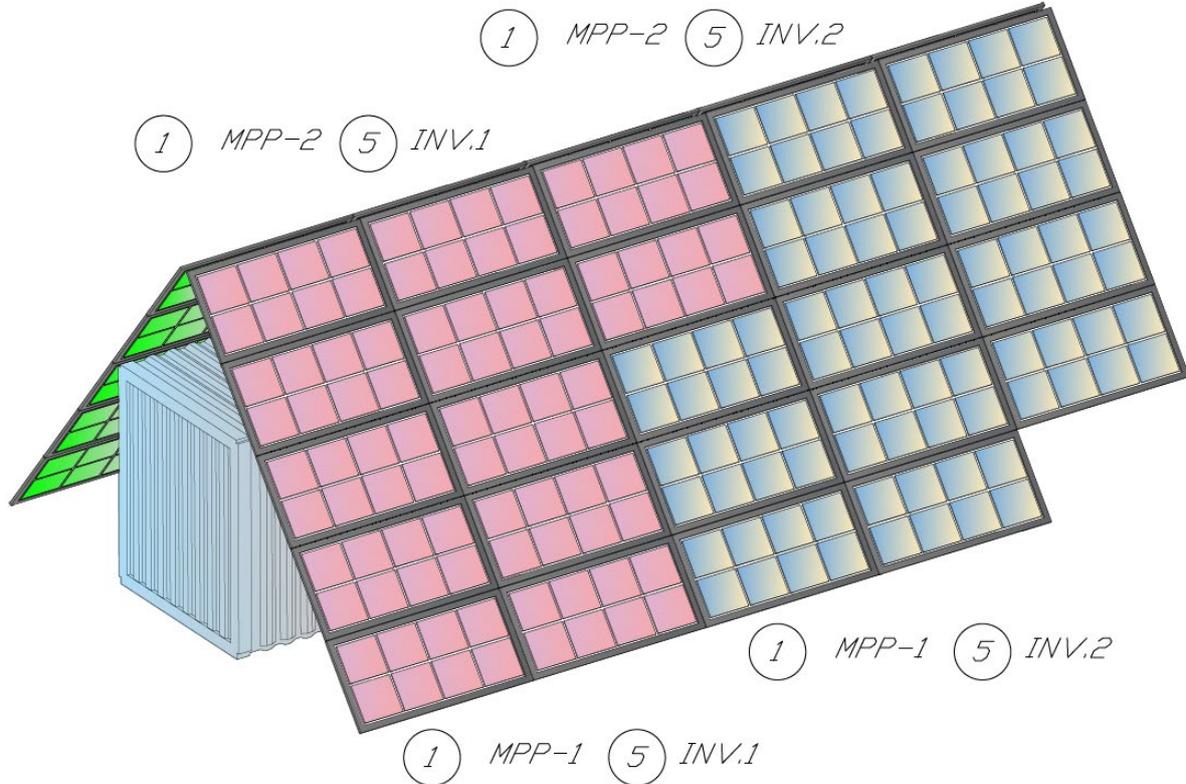
Esta evolución del sector fotovoltaico, ha propiciado el desarrollo de nuevos dispositivos de generación fotovoltaica móvil. Existen contribuciones que dejan patente el interés por estudiar y analizar el comportamiento de este tipo de dispositivos ya desde el 2,006, donde Soler-Bientz, R., et al. desarrollan un generador fotovoltaico móvil de fácil reubicación para evaluar la viabilidad de las aplicaciones de energía fotovoltaica en distintas ubicaciones. Y más recientemente, encontramos publicaciones y patentes con distintas propuestas de generadores renovables móviles, tal es el caso propuesto por Recio-Guerra, R., en 2,019, que presenta una patente de un dispositivo contenedor para suministro y generación de electricidad a partir de energías alternativas, o la propuesta de Polar Developments de una estación fotovoltaica portátil y escalable de hasta 24 m y 84 kWp (Sánchez Molina, P., 2,022). En esta línea, proponemos un generador fotovoltaico con acumulación portátil. Presentaremos su diseño, características técnicas, posibles aplicaciones y recomendaciones.

2. MÉTODO

Se diseñó el generador para ser ubicado en un contenedor de 12.02 m de largo, 2.35 m de ancho y 2.70 m de alto (dimensiones interiores). Se dispusieron un total de 24 paneles

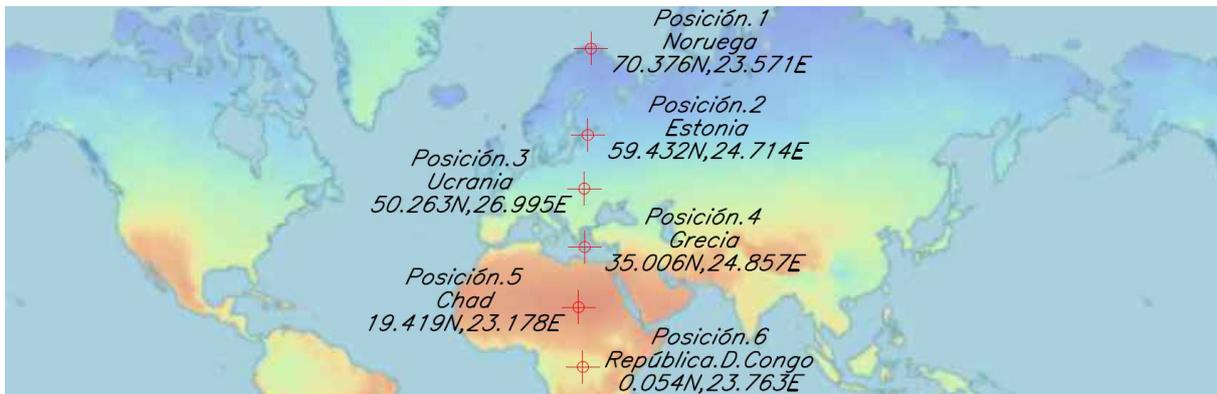
fotovoltaicos de 580 W de la marca Trina Solar modelo Vertex TSM-580 DE19R por cara según se muestra en la figura 2.

Figura 2. Perspectiva exterior generador/acumulador fotovoltaico. Strings y distribución en inversores de generación.



Se seleccionaron 6 localizaciones distintas de mayor a menor latitud (ver figura 3) para el análisis de generación del dispositivo. En cada caso se consideró la inclinación de paneles dada por la ecuación 1 (Lorenzo, E., 2,006).

Figura 3. Plano mundial de radiación por escala de colores. Localizaciones utilizadas para análisis de producción del generador/acumulador.



Nota: Fuente PVGIS, CEJR. (2,023)

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |\phi| \quad (1)$$

Donde β_{opt} se corresponde con la inclinación óptima del captador en grados, entendiéndose esta como la que maximiza la producción anual y \varnothing la latitud en grados del generador fotovoltaico.

Se descargaron por tramos horarios de la aplicación PVGIS (PVGIS, 2,023) para un día tipo de cada mes en hora local con valor de inclinación β_{opt} función de la latitud y azimut (respecto del sur) -90° (Este) y 90° (Oeste), los datos de irradiancia y perfil de temperatura registrados para cada posición objeto de estudio de la base de datos de radiación solar PVGIS-SARAH.

El cálculo de la potencia generada en el punto de máxima potencia se obtuvo por aplicación de las ecuaciones 2 y 3 que siguen:

$$P_{mpp} = P_{mpp\ STC} \cdot \left[1 + \frac{\gamma_{\%/\text{°C}}}{100} \cdot (T_c - 25) \right] \cdot \frac{G}{G_{STC}} \quad (2)$$

$$T_c = T_a + G \cdot \frac{TONC - 20}{800\ \text{W}/\text{m}^2} \quad (3)$$

Donde P_{mpp} se corresponde con la potencia en W en el punto de máxima potencia en condiciones de estudio, $P_{mpp\ STC}$ es la potencia en W en el punto de máxima potencia en condiciones estándar (Irradiancia $1,000\ \text{W}/\text{m}^2$, AM 1.5 y T_a ambiente 25°C), $\gamma_{\%/\text{°C}}$ es el coeficiente potencia-temperatura del módulo seleccionado, T_c es la temperatura de funcionamiento de la célula en $^\circ\text{C}$, G es la irradiancia en W/m^2 en las condiciones de estudio consideradas y el tramo horario considerado, G_{STC} es la irradiancia en condiciones estándar $1,000\ \text{W}/\text{m}^2$, T_a es la temperatura ambiente en $^\circ\text{C}$ y $TONC$ es la temperatura de operación nominal en condiciones de $800\ \text{W}/\text{m}^2$, T_a de 20°C y velocidad del viento de $1.5\ \text{m}/\text{s}$.

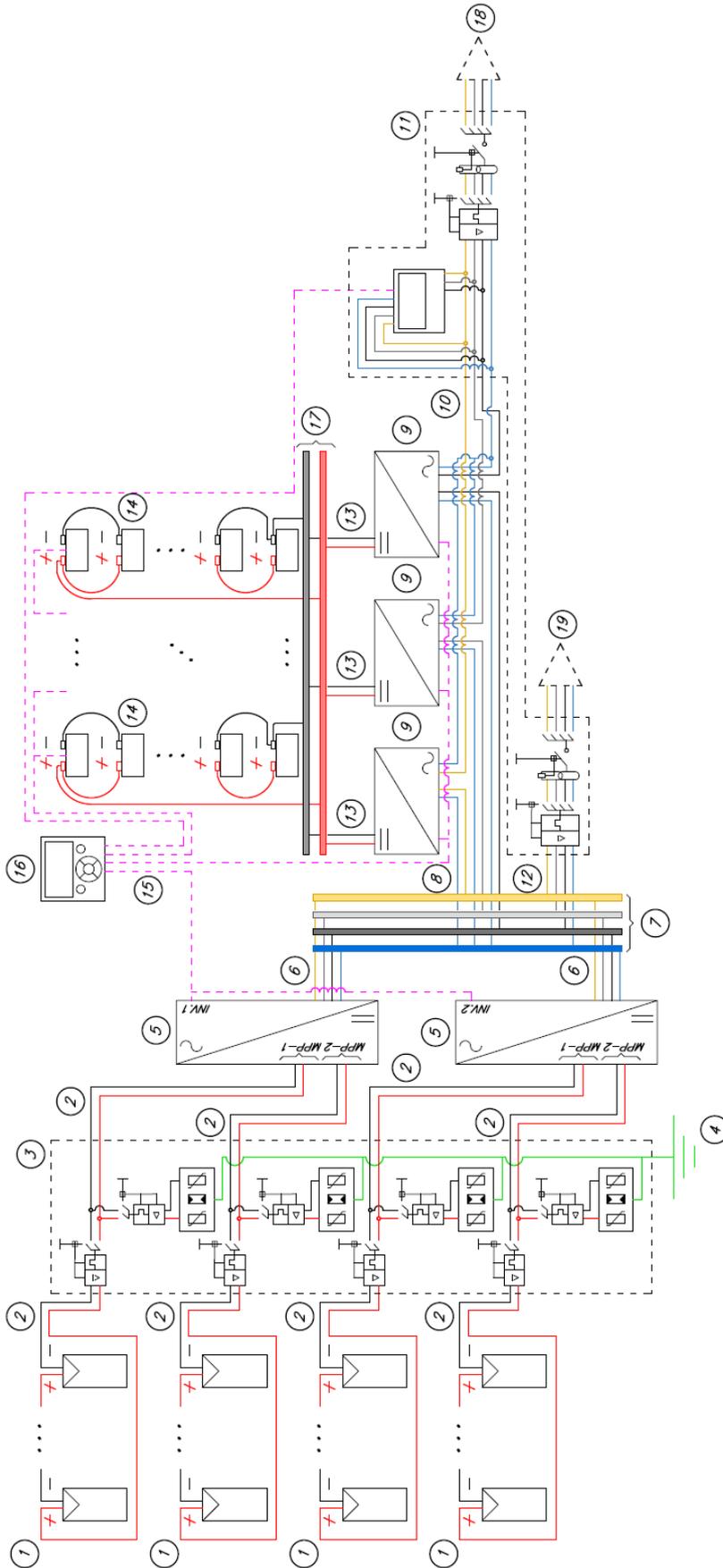
La potencia obtenida según parrado anterior fue corregida por aplicación de un coeficiente de 0.9 donde se incluyen las pérdidas por mismatch, polvo y suciedad, cableados, calidad del módulo e inversor (Osorio Laurencio, L., & Montero Laurencio, R. 2,016).

A partir de los resultados previos se planteó un esquema para nuestro generador/acumulador con acoplamiento en corriente alterna. 2 strings por cada uno de los 2 inversores generadores (marca Fronius, modelo SYMO 15.0-3-M), de 12 módulos por string, uno orientado al este y otro al oeste (ver figura 2), un cuadro eléctrico de protección con protecciones de sobreintensidad y sobretensiones transitorias para cada string, embarrado de alterna a la salida de los inversores generadores, con una salida a inversores cargadores (marca Victron, modelo Quattro 15 kVA), conexión por medio de embarrado de continua de inversores cargadores a bloque de baterías (marca Pylontech, modelo US3000C), compuesto por 64 baterías agrupadas en 8 bloques de 8 baterías en paralelo cada bloque, y otra salida desde embarrado de alterna a consumos de nuestra instalación. Desde los inversores cargadores se configura una salida para conectar el generador/acumulador a red, grupo electrógeno.... Estas salidas finales lo hacen por interposición de un cuadro eléctrico que incorpora mecanismo magnetotérmico, diferencial y un contador. Todo ello se coordina y gestiona por medio de un procesador (GX Victron) (ver figura 4).

Se realizó propuesta de distribución en el interior de nuestro contenedor de los distintos componentes que configura nuestro generador acumulador (ver figura 5).

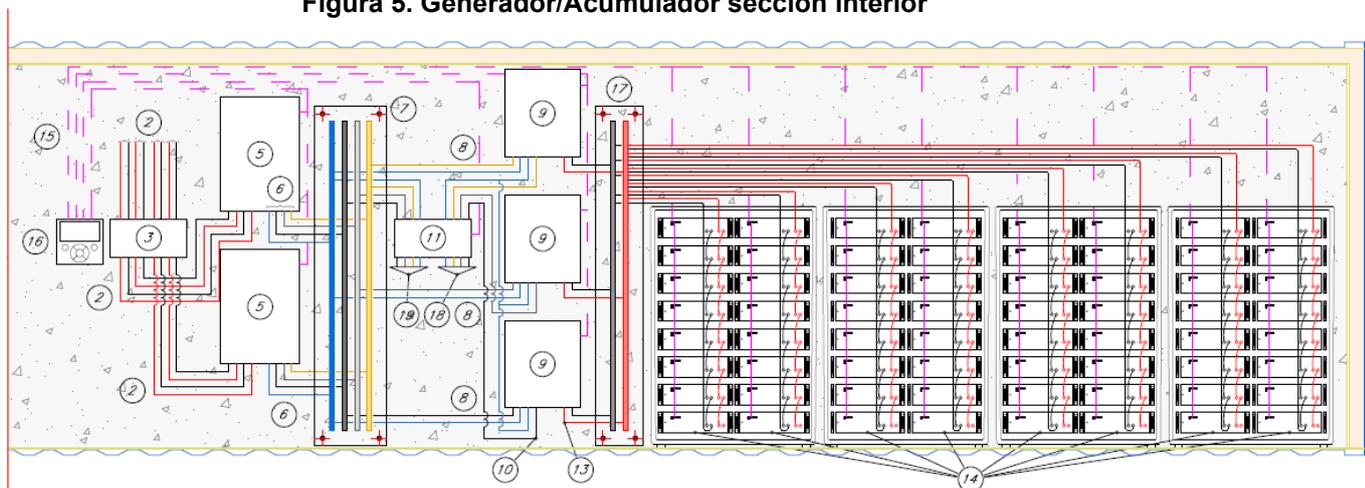
Finalmente se realizó análisis de potencialidades del dispositivo propuesto. Para ello se utilizaron las curvas de consumo eléctrico de una vivienda unifamiliar. Dicho consumo se organizó por meses, para determinar posteriormente un día tipo por mes y por tramo horario, siendo el consumo de cada tramo horario del día tipo el promedio de consumo de todos los días del mes para dicho tramo.

Figura 4. Esquema unifilar generador/acumulador.



Nota: 1.-String 12 módulos en serie Vertex TSM-580 DE19R; 2.-Cableado continua PRYSUB H1ZZ22-K 10mm² bajo tubo PEMSA RPVC1250 de 20mm de diámetro. 3.-Caja de protección, un magneto DC y un protector sobretensiones transitorio + protección sobreintensidad asociado por String; 4.-Cableado de tierra; 5.- Inversor cargador Fronius, modelo SYMO 15.0-3-M; 6.-Cableado alterna RZ1-K (AS) 25mm² bajo tubo PEMSA RPVC1250 de 40mm de diámetro; 7.-Embarrado alterna barras de cobre bajo mampara plástica de protección; 8.- Cableado alterna RZ1-K (AS) 25mm² bajo tubo PEMSA RPVC1250 de 40mm de diámetro; 9.- Inversores cargadores Victron, modelo Quattro 15 kVA; 10.-Cableado alterna RZ1-K (AS) 25mm² bajo tubo PEMSA RPVC1250 de 40mm de diámetro; 11.- Caja de protección, magneto AC, diferencial y contador salida a exterior (red, grupo electrógeno...) y magneto AC, diferencial salida a interior (instalación a alimentar); 12.- Cableado alterna RZ1-K (AS) 25mm² bajo tubo PEMSA RPVC1250 de 40mm de diámetro; 13.-Cableado continua a embarrado de continua; 14.-64 baterías Pylontech, modelo US3000C, 8 bloques de 8 baterías en paralelo cada bloque; 15.-Cable datos conexión contador, bloques de baterías, inversores/cargadores e inversores/generadores con procesador de control; 16.-GX Victron; 17.- Embarrado continua barras de cobre bajo mampara plástica de protección; 18.-Salida a red, grupo electrógeno...; 19.-Salida a instalación a alimentar.

Figura 5. Generador/Acumulador sección interior

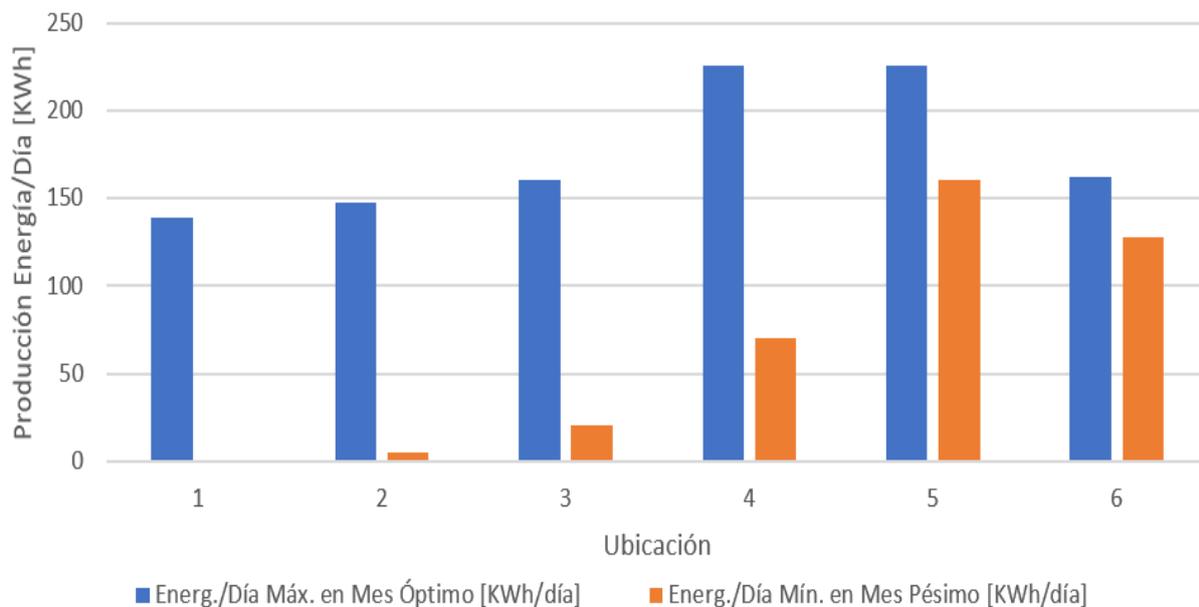


Nota: Para significado de números ver nota figura 4.

3.RESULTADOS

En la figura 6 se indica la energía producida en mejor día del año y en el peor día del año en cada una de las posiciones estudiadas.

Figura 6. Energía/Día [kWh] por posición día del año óptimo/pésimo



La tabla 1, recoge el consumo energético de la vivienda tipo considerada por día tipo de cada mes en kWh, frente a la producción de nuestro generador acumulador en cada una de las posiciones objeto de estudio por día tipo de cada mes.

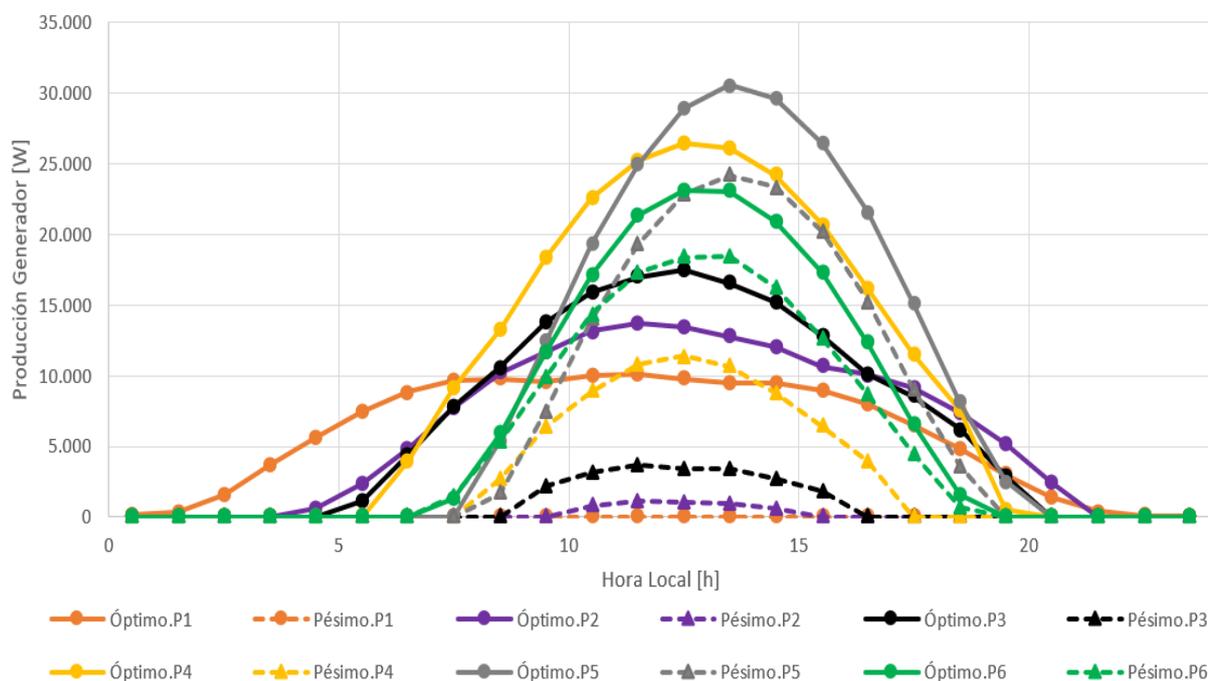
Los resultados correspondientes a la producción de nuestro generador acumulador para cada una de las posiciones objeto de estudio quedan resumidas en la figura 7.

Tabla 1. Consumo energético de la vivienda considerada en un día tipo de cada uno de los meses del año [kWh] frente a la producción energética de nuestro generador acumulador en cada uno de los días tipos de cada uno de los meses del año [kWh].

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C.Viv.	12	11	10	11	10	11	11	11	11	12	13	12
G.P.1	0	10	51	107	139	121	109	78	46	14	1	0
G.P.2	8	27	64	106	142	147	138	111	70	33	10	5
G.P.3	24	43	74	124	144	160	157	141	105	62	29	20
G.P.4	75	100	139	178	203	225	226	204	165	121	87	70
G.P.5	163	190	210	225	222	225	218	203	201	188	173	161
G.P.6	159	162	155	148	136	132	128	133	143	141	139	145

Nota: entiéndase 1 enero, 2 febrero....

Figura 7. Producción horaria de potencia [W] del dispositivo generador/acumulador propuesto en función de la posición objeto de estudio, para el día tipo del mes óptimo/pésimo



4.DISCUSIÓN

A la hora de utilizar la tecnología fotovoltaica para desarrollar dispositivos de generación, es importante tener presente que su producción es fuertemente dependiente de las condiciones

atmosféricas, las cuales a su vez son función de la situación geográfica en la que los emplacemos.

Según podemos observar en la figura 6, la producción fotovoltaica del generador acumulador propuesto está alrededor de los 140 – 225 kWh/día para los mejores meses del año, sin embargo, para los peores meses del año ese rango está entre 0 – 160 kWh/día, siendo de 0 kWh/día en la posición 1, de 4,6 kWh/día en la posición 2 y de 20.4 kWh/día en la posición 3. Esta circunstancia nos hace no recomendar su uso como fuente única de generación en instalaciones autónomas en latitudes de 50° en adelante y sus simétricas respecto del ecuador.

Atendiendo a las energías diarias generadas y a los consumos de la vivienda objeto de estudio (ver tabla 1), podemos decir que nuestro generador en la posición 1 puede atender entre 0 y 13 viviendas en la posición 2 entre 0 y 14 viviendas, en la posición 3 entre 2 y 15 viviendas, en la 4 entre 6 y 21 viviendas, en la 5 el rango es 13 y 21 y en la 6 entre 11 y 15 viviendas. O dado que tenemos una capacidad de almacenamiento en baterías de 227,328 Wh (superior a los 225,705 Wh que puede generar el dispositivo en el mejor día del año y en la mejor posición), podemos atender a un número menor de viviendas manteniendo un respaldo por posibles días con nula o escasa radiación solar. Si en lugar de considerar el consumo de la vivienda elegida, asumimos como valor de consumo anual medio de un hogar español los 10,521 kWh/año propuestos en el informe análisis del consumo energético del sector residencial en España, desarrollado en el proyecto Sech-Spahousec (Sech-Spahousec, P., 2,011) el número de viviendas posibles a atender se reduce a la mitad.

La generación pico de nuestro dispositivo está en el rango de 0 y 10.12 kW en la posición 1 para el mejor día y peor día del año y a la hora de mayor radiación en ambos casos. De igual forma y en las mismas condiciones encontramos los rangos 1.15 y 13.77 kW para la posición 2, 3.69 y 17.48 kW para la 3, 11.38 y 26.55 kW para la posición 4, 24.20 y 30.53 kW para la 5 y 20.77 y 23.15 kW en la posición 6.

Atendiendo a las curvas de generación mostradas en la figura 7 observamos que la producción en las posiciones 5 y 6 es poco variables (inferior al 20%) entre meses pésimos y óptimos, lo cual hace de este dispositivo y para esas ubicaciones una buena opción como única fuente de generación para instalación aisladas.

Las limitaciones del método aplicado, por un lado, es que se trabaja con un día tipo por mes. Los valores de cada día tipo están discretizados por horas. Resta estudiar el aislamiento del contenedor, su ventilación y climatización, así como el mecanismo de la estructura satelital plegable donde se colocarán los paneles (que permite su colocación y retirada de una manera fácil y rápida, así como que permita guardarlos en el interior del contenedor).

5.CONCLUSIÓN

Se propone un dispositivo generador/acumulador que:

- a.-Se integra completamente en un contenedor de 12.02 m de largo, 2.35 m de ancho y 2.70 m de alto (dimensiones interiores), siendo por tanto transportable a la ubicación deseada.
- b.-Presenta una capacidad de generación máxima de entre 10.12 y 30.53 kW_{pico} en función de la ubicación.
- c.-Tiene una capacidad de almacenamiento de 227,328 Wh, superior a los 225,705 Wh que puede generar el dispositivo en el mejor día del año y en la mejor posición de las estudiadas, lo que permite asumir un respaldo de seguridad dado el caso de días de radiación nula o escasa.

- d.-Permite alimentar cargas en tensión monofásicas 230 V y/o trifásicas 400 V.
- e.-Tiene aplicación tanto en edificación residencial como en conjuntos industriales.
- f.-Presenta una línea de alimentación auxiliar que le permitiría conectarse a una red existente, a un grupo electrógeno..., para cargar las baterías o atender las necesidades de la instalación en caso de ausencia de radiación más allá de la capacidad del dispositivo.
- g.-No es una alternativa recomendable como única fuente de alimentación para instalaciones con ubicaciones de latitud superior a 50° y simétricas respecto del ecuador, pero si resulta una buena opción para instalaciones aisladas en latitudes entre 25 y 0° y simétricas.

6.BIBLIOGRAFÍA

- Lorenzo, E. (2,006). Electricidad solar fotovoltaica. Volumen II: Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos. Ed. Progensa. Sevilla.
- NASA. (17 de 04 de 2,023). NASA GLOBAL CLIMATE CHANGE Vital Signs of the Planet. Obtenido de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
- NASA. (17 de 04 de 2,023). NASA GLOBAL CLIMATE CHANGE Vital Signs of the Planet. Obtenido de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- Osorio Laurencio, L., & Montero Laurencio, R. (2,016). Análisis energético de un sistema fotovoltaico integrado a una cubierta plana horizontal. *Ingeniería Energética*, 37(1), 45-54. Recuperado en 22 de febrero de 2,022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012016000100006&lng=es&tlng=es
- PVGIS, CEJR. (18 de 04 de 2,023). *Photovoltaic geographical information system*. Obtenido de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/
- Real Decreto 244/2,019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. *Boletín Oficial del Estado*, 83, de 06 de abril de 2,019. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2019-5089>
- REE. (17 de 04 de 2,023). REE/REData/Generación/Potencia instalada. Obtenido de <https://www.ree.es/es/datos/generacion>
- Recio-Guerra, R., (2,019). *Dispositivo contenedor de equipos para suministro de electricidad mediante generación de energías alternativas* (W.O., 2019209097A1). <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2019209097>
- Sánchez Molina, P. (22 de 09 de 2,022). Polar Developments lanza una estación fotovoltaica portátil y escalable de hasta 24 m y 84 kWp. pv magazine. Recuperado 18 abril 2023, de <https://www.pv-magazine.es/2022/09/22/polar-developments-lanza-una-estacion-fotovoltaica-portatil-y-escalable-de-hasta-24-m-y-84-kwp/>
- Sech-Spahousec, P. (2,011). Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe Final, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.
- Soler-Bientz, R., Ricalde-Cab, L. O., & Solis-Rodriguez, L. E. (2,006). Developing a mobile stand alone photovoltaic generator. *Energy Conversion and Management*, 47(18-19), 2,948-2,960. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.03.024>

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

