

05-017

BUILDING PROJECT EQUIPPED WITH AN INTELLIGENT MICROGRID WITH PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY SUPPLY AND HYDROGEN STORAGE

Puñal Muñoz, Jose Domingo (1); López Rodríguez, Fernando (1); García Sanz-Calcedo, Justo (1)

(1) Universidad de Extremadura

The main objective of the project is the analysis and design of an installation that covers the electrical needs of the ALEX building, intended for teaching and research use and located in Badajoz. It is a low-energy building, nZEB (“Nearly Zero Energy Building”) and has been designed under Passivhaus standards. The proposed installation has the particularity of incorporating hydrogen as fuel for electricity generation and an intelligent microgrid (Smart Grid) that allows energy management of the building in order for it to function as an island, that is, that the connection to the network is minimal. or nil To assess the impact of innovative hydrogen technology on improving the energy efficiency of the building, four configurations of the electrical supply installation have been analysed, based on technical, economic and environmental criteria: 1) Conventional electrical installation, 2) Photovoltaic installation for self-consumption with surplus compensation, 3) Photovoltaic installation for self-consumption with production and storage of hydrogen, 4) Photovoltaic installation for self-consumption with production and storage of hydrogen in the near future. In addition, the concept of hydrogen economy is exposed, as an energy vector in substitution of fossil fuels.

Keywords: Hydrogen; Energy Efficiency; Renewable Energies; Photovoltaics

PROYECTO DE EDIFICIO DOTADO DE UNA MICRORRED INTELIGENTE CON SUMINISTRO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO

El principal objetivo del proyecto es el análisis y el diseño de una instalación que cubra las necesidades eléctricas del edificio ALEX, destinado a uso docente e investigador y situado en Badajoz. Se trata de un edificio de bajo consumo, nZEB (“Nearly Zero Energy Building”) y que se ha diseñado bajo los estándares Passivhaus. La instalación propuesta tiene la particularidad de incorporar hidrógeno como combustible para la generación eléctrica y una microrred inteligente (Smart Grid) que permite gestionar energéticamente el edificio con el fin de que este funcione en isla, es decir, que la conexión a la red sea mínima o nula. Para evaluar el impacto de la tecnología innovadora del hidrógeno en la mejora de la eficiencia energética del edificio se han analizado, en base a criterios técnicos, económicos y medioambientales, cuatro configuraciones de la instalación de suministro eléctrico: 1) Instalación eléctrica convencional, 2) Instalación fotovoltaica para autoconsumo con compensación de excedentes, 3) Instalación fotovoltaica para autoconsumo con producción y almacenamiento de hidrógeno, 4) Instalación fotovoltaica para autoconsumo con producción y almacenamiento de hidrógeno en un futuro próximo. Además, se expone el concepto de economía del hidrógeno, como vector energético en sustitución de los combustibles fósiles.

Palabras clave: Hidrógeno; Eficiencia Energética; Energías Renovables; Fotovoltaica

Correspondencia: Jose Domingo Puñal Muñoz. Correo: josedomingo5@hotmail.com



©2022 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

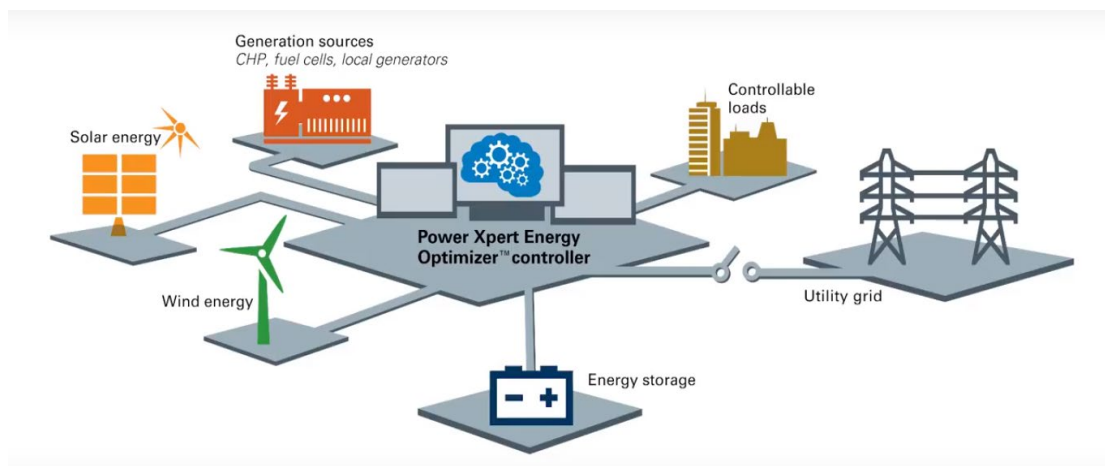
El sector de la edificación representa uno de los sectores con mayor incidencia en las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, emisión en su mayor parte debida al elevado consumo energético. El consumo de energía final de este sector, representa el 17% en España, correspondiendo un 10% doméstico y un 7% al sector terciario. Si se considera tanto la fabricación de los materiales, materia prima de la construcción, como el transporte de los mismos, se puede considerar que el consumo de energía final en el sector de la edificación es del orden del 40%.

El avance de las energías renovables en España indica que se está produciendo un cambio de modelo energético y su futuro pasa por su uso e integración en la edificación, urbanismo y transporte, así como en la generación distribuida.

Otro aspecto a tener muy en cuenta a día de hoy y en un futuro muy próximo es el concepto de economía del hidrógeno, el cual se basa en la implementación de este como principal vector energético en sustitución de los combustibles fósiles. Este hecho conlleva una gran reestructuración del negocio energético y de las relaciones técnico-económicas y sociales (Smith, 2004). La implementación de esta nueva economía traería consigo la redistribución del poder eléctrico al aplicar sistemas de producción distribuida y autoconsumo que limitarán la influencia tanto a niveles económicos, como políticos y sociales, de las grandes empresas energéticas y países productores de combustibles fósiles (Ainscough, 2011). Esto es debido a que el hidrógeno puede obtenerse de forma local a partir de la electrólisis del agua. Además, la generación y consumo de hidrógeno no provoca emisiones, siempre y cuando la energía utilizada para su producción sea de origen renovable. Esta sería una muy buena opción para reducir las emisiones de GEI en el futuro. La concienciación con el cambio climático y los progresivos avances en tecnologías de energías renovables atisban una gran transición energética a nivel mundial (Villalba-Herreros et al. 2020).

Además, cabe destacar que desde relativamente hace poco tiempo, no se pensaba que las *Smart Grid* (Redes Inteligentes) y las microrredes, combinado con la generación distribuida, podrían ser una solución para conseguir los nZEB, o edificios de energía cero (López et al. 2018). Esta situación ya es hoy una realidad aunque todavía hace falta investigación, desarrollo de equipos y construcción de edificios, que permitan que esta cuestión sea totalmente válida.

Figura 1: Esquema general de una Smart Grid



2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es diseñar y analizar diferentes instalaciones para el suministro eléctrico a un edificio nZEB (“*Nearly Zero Energy Building*”). El estudio se ha realizado basándonos en criterios técnicos, económicos y medioambientales que nos han permitido hacer una comparativa entre las distintas soluciones propuestas. Algunas de estas configuraciones incorporan producción de hidrógeno verde como combustible para la generación eléctrica y una microrred inteligente (“*Smart Grid*”) que permite gestionar energéticamente el edificio.

Además, se quiere analizar el uso del hidrógeno para generar energía eléctrica y ensalzar el gran potencial de este combustible como vector energético en el futuro próximo.

3. Caso de estudio

El edificio ALEX objeto de estudio se encuentra situado en la localidad de Cerro Gordo en la provincia de Badajoz, Extremadura, a escasos kilómetros de la ciudad de Badajoz y a una altitud media de 87 m sobre el nivel del mar. Se trata de un edificio de uso docente e investigador. Este edificio se proyecta con el objetivo de convertirlo en un referente en la investigación de las energías renovables y las tecnologías del hidrógeno a nivel mundial. Podemos ver renders del edificio proyectado en las figuras 2 y 3.

Figura 2: Edificio ALEX

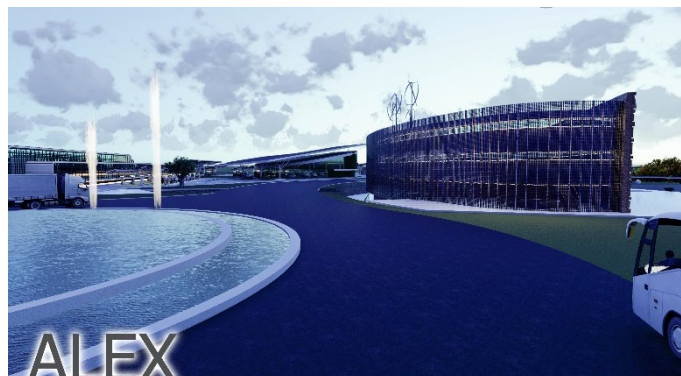
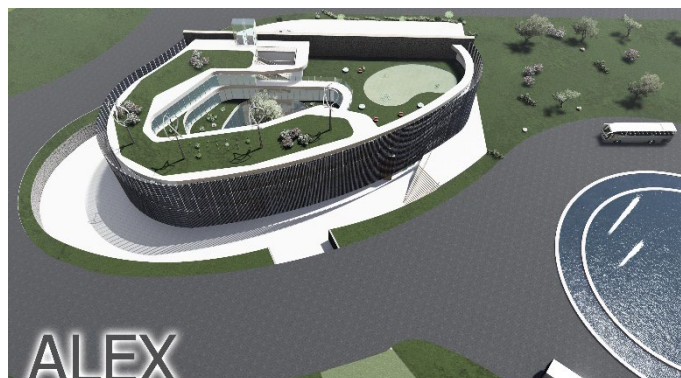


Figura 3: Edificio ALEX



Se trata de un edificio de bajo consumo, nZEB y que se proyecta bajo los estándares Passivhaus. Los edificios Passivhaus consiguen reducir en un 75% las necesidades de

calefacción y refrigeración. Los requisitos básicos que deben cumplir estos edificios son los que podemos observar en la figura 4.

Figura 4: Requisitos básicos del estándar Passivhaus



Por lo tanto, la poca energía suplementaria que requieren se puede cubrir con facilidad a partir de energías renovables, convirtiéndose en una construcción con un coste energético muy bajo para el propietario y el planeta.

Para el edificio ALEX se diseña una solución tecnológica con el objetivo de cubrir el consumo eléctrico en su totalidad o la mayor parte del mismo. Para ello se estudiarán varias configuraciones:

- Red eléctrica.
- Fotovoltaica + Red eléctrica.
- Fotovoltaica + Hidrógeno + Red eléctrica

Estas configuraciones son la combinación de varias tecnologías renovables y el apoyo de la red eléctrica en determinados momentos para suministrar la energía eléctrica necesaria al edificio. A estas combinaciones se les llama microrredes. Las microrredes son sistemas de baja tensión al cual se conectan una serie de fuentes de energía distribuida y que proporciona electricidad a consumidores. Esta microrred posee una infraestructura de comunicación local, gobernada por un sistema de control y gestión (MGCC). Ya existen controladores inteligentes que gestionan la generación, el consumo, el almacenamiento y los precios de la electricidad de mercado en cada momento lo que permite al sistema estudiar si es más rentable y eficiente generar y autoconsumir la energía o venderla a la red eléctrica. El esquema de la microrred del edificio caso de estudio es el que se muestra en la figura 5, este se irá modificando en función de los requisitos de cada configuración.

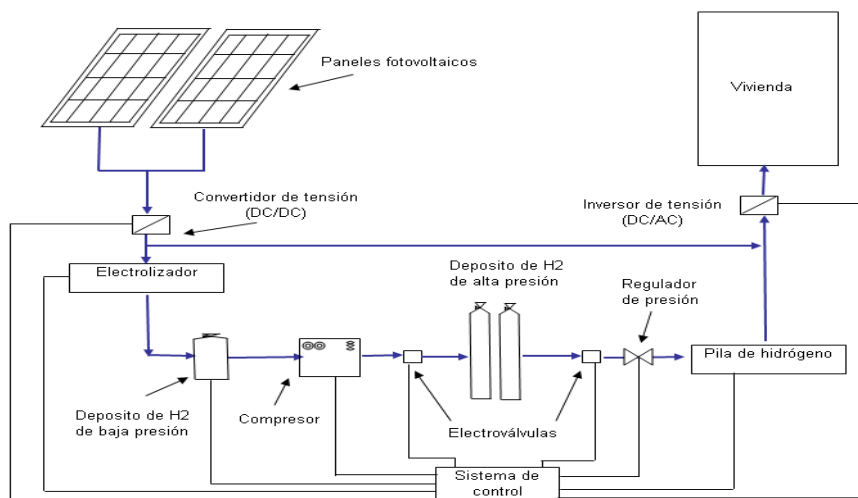
La microrred tiene dos modos de funcionamiento:

- Microrred en modo conectado con la red principal.
- Microrred en modo aislado de la red principal.

Cuando la microrred funciona en modo conectado con la red principal, esta proporciona las referencias de tensión y frecuencia necesarias para que el resto de elementos de generación de la microrred funcionen correctamente. El MGCC funciona como un gestor de mercado, realizando de despacho económico de la generación, teniendo en las siguientes entradas: precios de mercado, oferta de las fuentes de generación, ofertas del lado de la demanda para cargas de alta y baja prioridad.

Cuando la microrred funciona en modo aislado de la red principal, los generadores tienen que ser capaces de responder con rapidez a los cambios en el consumo para que así tanto la tensión como la frecuencia se mantengan estables.

Figura 5: Esquema de la microrred del edificio ALEX



Las principales características del edificio ALEX a destacar son las siguientes:

- Edificio descarbonizado, no produce emisiones de CO₂
- Edificio de consumo casi nulo (nZEB)
- Edificio Inteligente sensorizado, Big Data, IoT, 5 G
- Antipandémico (antiCOVID)
- Utilización de materiales ligeros y sostenibles (composites, madera, corcho etc..)
- Economía circular (agua, residuos, etc.)
- Humedal en cubierta, con sistema de depuración natural, que sirve para el ciclo de vida del agua, utilizada para el enfriamiento del aire de ventilación por contacto con una lámina de agua.
- Utilización del edificio como servicio BaaS (“*Building as a Service*”).

4. Metodología

Para la realización del estudio hemos utilizado la Metodología Homer, la cual está basada en el programa Homer (“*Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources*”) del Instituto Nacional de Energías Renovables de EEUU. Previamente, se valoró el uso de otros programas, sin embargo, Homer respecto a estos ofrece la ventaja de parametrizar las instalaciones (microrredes) de manera técnica, económica y medioambiental optimizando el análisis y permitiendo comparar los resultados basándonos en esto tres aspectos claves.

Partiendo del diseño constructivo, las instalaciones y el uso del edificio, se han obtenido las curvas de consumo eléctrico del mismo apoyándonos en las simulaciones de la herramienta Homer que permite obtener los consumos anuales en función de los parámetros del edificio.

Después, a partir de los datos de consumo del edificio se han analizado cuatro posibles configuraciones de instalaciones con energías renovables y almacenamiento de hidrógeno para suministrar la energía eléctrica demandada por el edificio. Las configuraciones propuestas son las siguientes:

- Configuración 0: Instalación eléctrica convencional

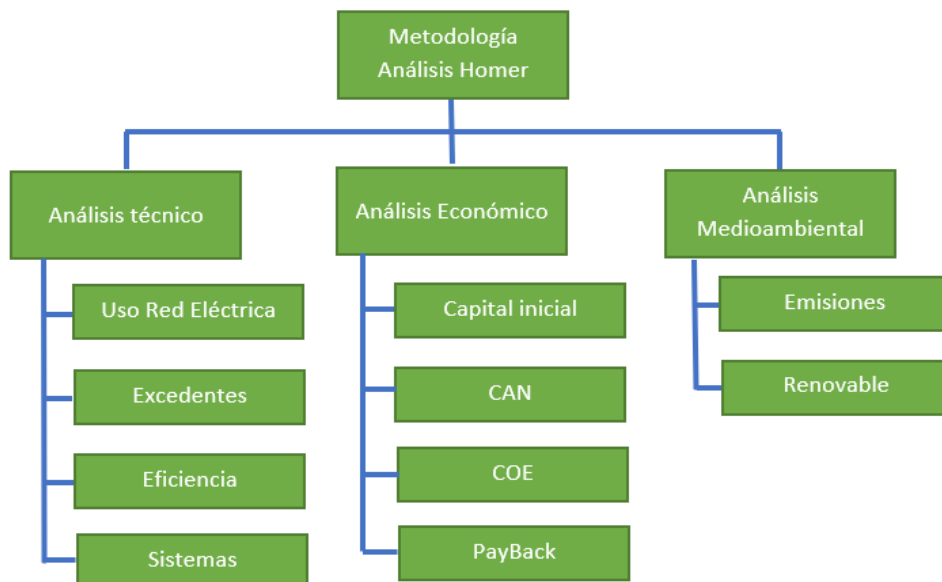
- Configuración 1: Instalación fotovoltaica de autoconsumo con compensación de excedentes
- Configuración 2: Instalación fotovoltaica de autoconsumo y producción de hidrógeno
- Configuración 3: Instalación fotovoltaica de autoconsumo y producción de hidrógeno en el futuro.

Para el análisis de las configuraciones se han llevado a cabo los siguientes pasos:

1. Se han realizado cálculos previos y simulaciones en PVSyst para diseñar las instalaciones y estudiar la producción de energía eléctrica teniendo en cuenta los rendimientos y parámetros más importantes de las mismas.
2. Una vez prediseñadas las instalaciones se han introducido los principales parámetros de las configuraciones en la microrred formada en el programa Homer se han simulado y se han obtenido diferentes combinaciones de las mismas.
3. A partir de estas combinaciones se ha optimizado cada configuración con el fin de adaptarla a la solución más eficiente y que cubra las necesidades energéticas del edificio caso de estudio.
4. Finalmente, basándonos en los resultados obtenidos se ha realizado una comparativa de las diferentes instalaciones y se ha estudiado cual sería la mejor solución para el suministro de energía eléctrica al edificio en la actualidad.

Para la comparativa final de las configuraciones hemos utilizado la Metodología Homer cuyas bases se observan la figura 6. Esta metodología trata de comparar las diferentes microrredes creadas en cuanto a criterios técnicos, económicos y medioambientales.

Figura 6: Metodología Homer

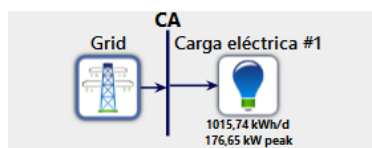


5. Resultados

5.1 Configuración 0: Instalación eléctrica convencional

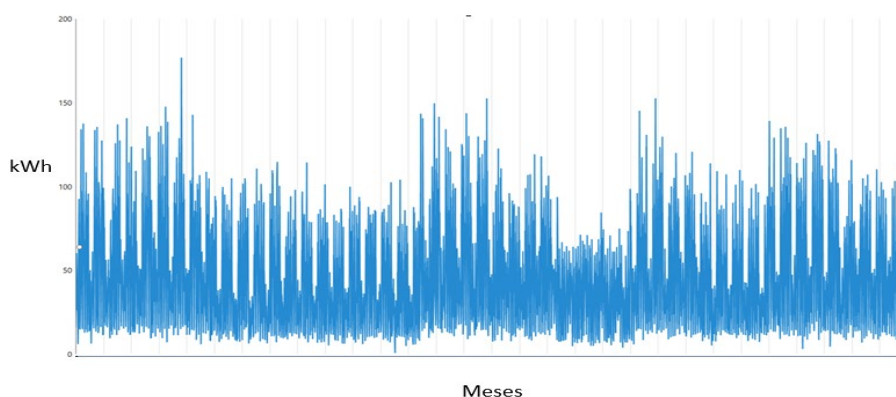
La configuración 0 hace referencia a la situación convencional, es decir, el edificio sólo se encuentra conectado a la red eléctrica. El esquema de la instalación en Homer para esta configuración quedaría como se observa en la figura 7.

Figura 7: Esquema configuración 0



A partir del programa Homer y de los datos obtenidos del edificio proyectado se realiza una simulación del consumo del edificio durante un año. Este consumo es el que se muestra en la figura 8.

Figura 8: Consumo anual del edificio



Además, con esta simulación obtenemos los principales parámetros técnicos, económicos y medioambientales que caracterizan a la configuración 0, los cuales nos servirán como base para la comparativa final con el resto de configuraciones propuestas.

5.2 Configuración 1: Instalación fotovoltaica de autoconsumo con compensación de excedentes

En esta alternativa se va a estudiar la implantación de un sistema fotovoltaico para autoconsumo en el que el excedente será compensado por la compañía eléctrica. Con este sistema se pretende cubrir la mayoría de la demanda eléctrica del edificio con dos objetivos principales:

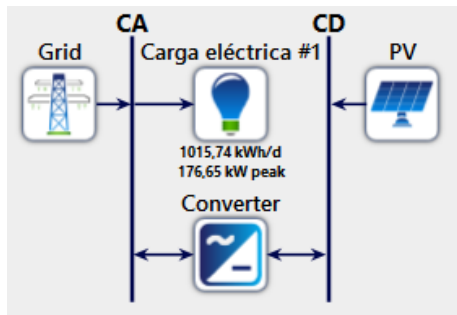
- Conseguir beneficio económico o compensar el coste de la energía obtenida de la red.
- Producir electricidad renovable para reducir las emisiones de CO₂.

La ventaja de este sistema es el aprovechamiento del balance neto de la energía recogido en la nueva normativa para autoconsumo, es decir, podemos compensar los excedentes que se producen con sistema fotovoltaico en la factura eléctrica del edificio o si fuera más conveniente vender esos excedentes a la red eléctrica.

Además, al no necesitar almacenar la energía, la instalación es muy eficiente con escasas pérdidas en el sistema.

La instalación está formada por los siguientes elementos: 445 módulos Longi de 445W, lo que supone una potencia instalada en el campo solar de aproximadamente 200 kWp y 2 inversores Eco Tauro de Fronius de 100 kW cada uno. Además, a la fotovoltaica podemos añadirle la piel de vidrio del edificio de 1445 m², la cual está formada por vidrio fotovoltaico que aporta 212 kWp de potencia instalada. El esquema de la instalación en Homer sería el que se muestra en la figura 9

Figura 9: Esquema de la configuración 1



Una vez montado el esquema e introducidos los datos requeridos por el programa para esta configuración se realiza su simulación, obteniendo los perfiles de producción y consumo a lo largo de un año. En las figuras 10 y 11 podemos observar los perfiles tipo de verano e invierno.

Figura 10: Perfil tipo de verano

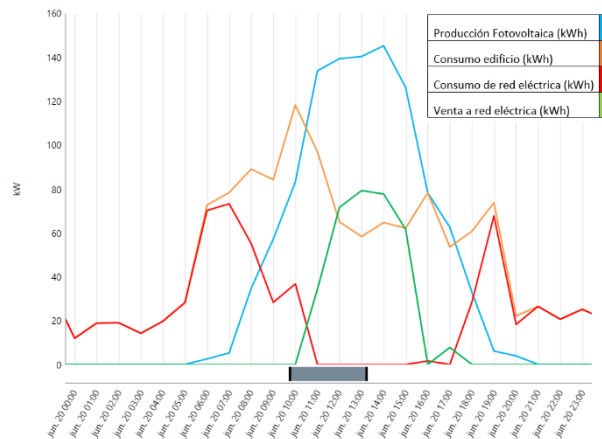
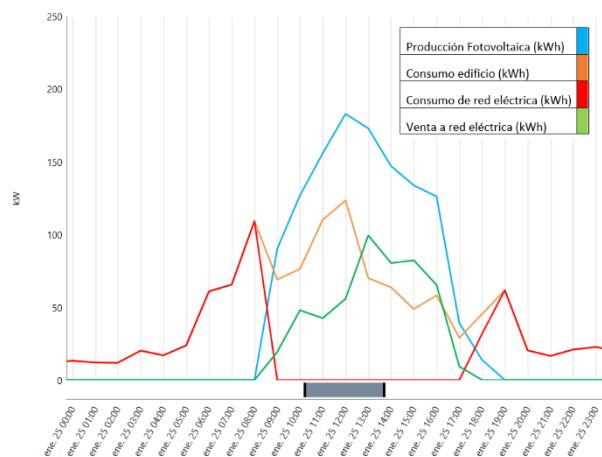
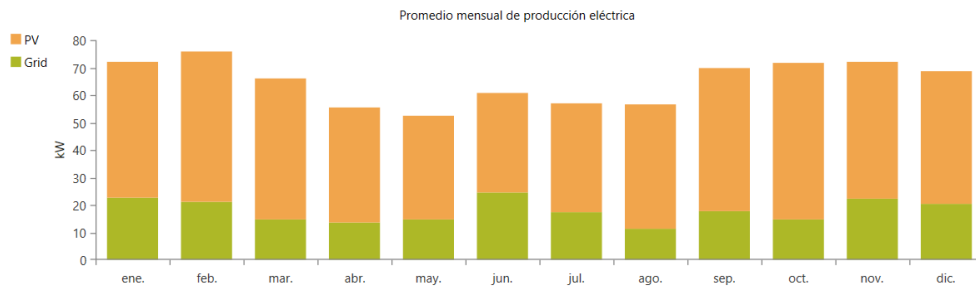


Figura 11: Perfil tipo de invierno



A continuación, se muestra en la figura 12 la producción fotovoltaica y el consumo de la red en un año.

Figura 12: Producción fotovoltaica y consumo de red al año



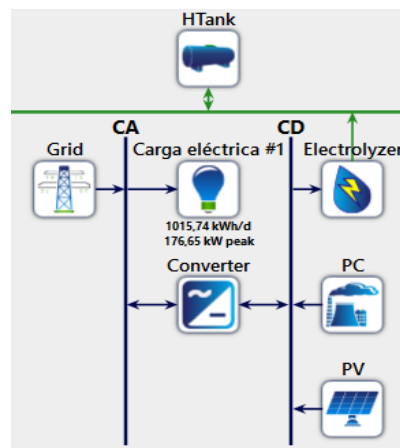
El consumo de red que existe durante todos los meses será compensado en su gran mayoría con los excedentes vertidos a la red, dando lugar a una mayor eficiencia y rentabilidad de esta configuración.

5.3 Configuración 2: Instalación fotovoltaica de autoconsumo con producción de hidrógeno verde

El sistema de esta configuración trata de utilizar el hidrógeno como vector energético. El principal objetivo de proyectar este sistema es hacer al edificio lo más independiente posible de la red eléctrica (edificio en isla), además, evitaríamos la sobrecarga de la red por la cantidad de excedentes inyectados a la misma. Con este sistema utilizaríamos los excedentes para generar hidrógeno y aprovecharlos posteriormente cuando la producción fotovoltaica no cubra la demanda del edificio. A día de hoy, cada vez se está apostando más por los sistemas de autoconsumo en casas, comunidades de vecinos, urbanizaciones, edificios públicos, etc.

El esquema de la microrred en Homer quedaría como puede observarse en la figura 13.

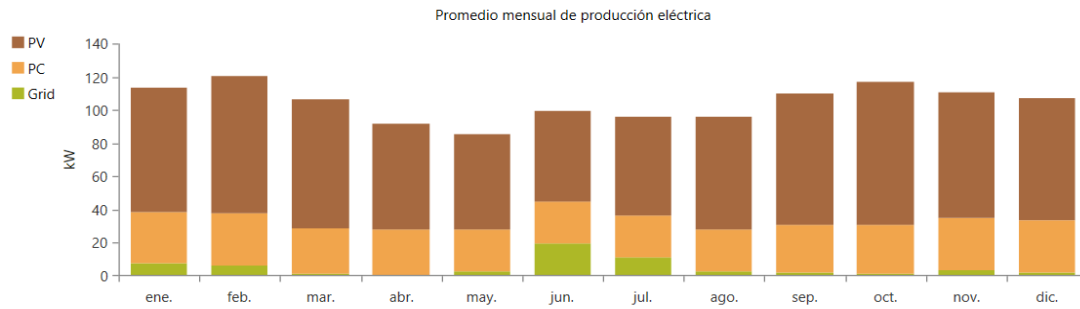
Figura 13: Esquema de la configuración 2



Tras parametrizar el sistema formado por la instalación fotovoltaica y la instalación de hidrógeno en el programa Homer, se obtienen los datos de la instalación diseñada. Los rendimientos del electrolizador y de la pila de combustible que se han utilizado son los actuales, estos se encuentran en torno al 65-70% (D'Amore-Domenech, Santiago y Leo, 2020). A continuación, en la figura 14 podemos ver la producción de fotovoltaica, la producción de electricidad de la pila de combustible y la aportación de la red para el suministro de la demanda eléctrica al edificio.

Figura 14: Producción fotovoltaica, producción de la pila de combustible y consumo de red al

año



En la figura 14 podemos observar que el consumo de red sería escaso durante todo el año, por lo tanto, el edificio trabajaría en isla. Esto es debido gracias a la combinación de la fotovoltaica con la producción de hidrógeno verde. Sin embargo, a día de hoy esta instalación supondría mayores costes y una recuperación de la inversión a largo plazo.

A continuación, se representan en las figuras 15 y 16 los perfiles tipo de invierno y verano de la instalación diseñada.

Figura 15: Perfil tipo de verano

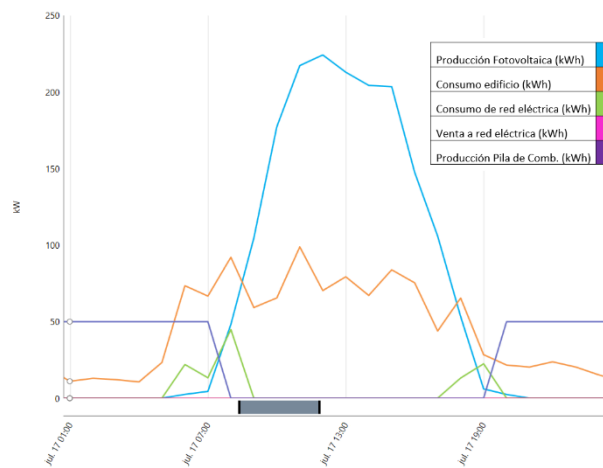
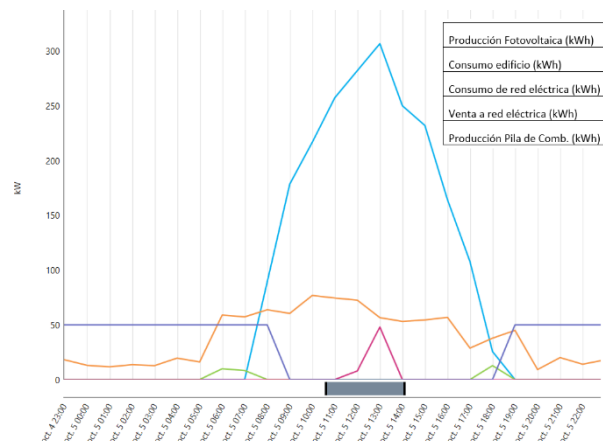


Figura 16: Perfil tipo de invierno.

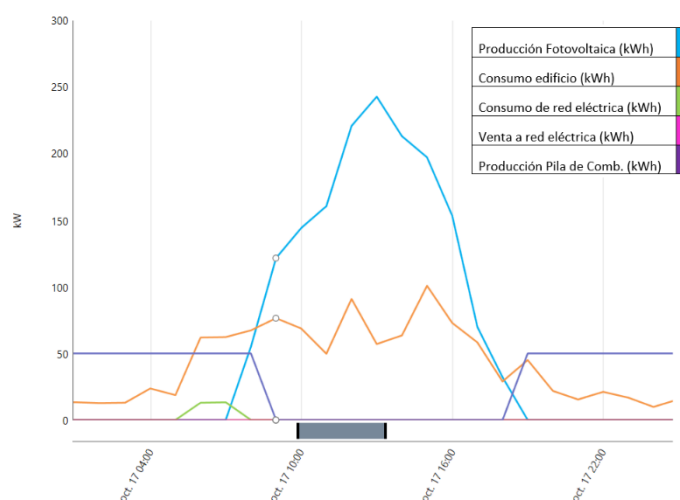


5.4 Configuración 3: Instalación fotovoltaica de autoconsumo con producción de hidrógeno verde en el futuro

En esta última configuración, se simula la instalación anterior pero con rendimientos hipotéticos en un futuro próximo. Basándonos en los avances conseguidos hasta el momento y estudios realizados sobre el hidrógeno, los rendimientos del electrolizador y de la pila de combustible pueden llegar a alcanzar en torno al 80% en un futuro muy próximo (Schmidt, 2017). El esquema en Homer de la instalación sería similar a la del caso de la configuración 2.

A continuación, en la figura 17 se muestra el perfil tipo de consumo para invierno tras simular la instalación.

Figura 17: Perfil tipo de invierno



Podemos destacar frente a la curva de invierno de la configuración 2 que no se vierten excedentes a la red eléctrica. Esto se debe a que al aumentar los rendimientos de los equipos de hidrógeno, el campo fotovoltaico se optimiza y la instalación aumenta su eficiencia como podemos observar en la tabla 1.

Tabla 1: Parámetros principales de la configuración 3

5.5	Producción fotovoltaica	519.729 kWh/año
	Suministrado por producción fotovoltaica	93.208 kWh/año
	Suministrado por la pila de combustible	246.150 kWh/año
	Suministrado por la red eléctrica	31.387 kWh/año
	Excedentes vendidos a red	1.101kWh/año
	Consumo de hidrógeno en pila de combustible	8.615 kg/año

Comparativa de las configuraciones

A continuación, en las tablas 2, 3 y 4 se exponen las comparaciones técnicas, económicas y medioambientales respectivamente de las configuraciones propuestas como solución al suministro de energía eléctrica al edificio caso de estudio analizadas anteriormente.

Tabla 2. Comparativa técnica

	Conf. 0: Instalación convencional	Conf. 1: Fotov. + Comp. Excedentes	Conf. 2: Fotov. + Hidrógeno	Conf. 3: Fotov. + Hidrógeno Futuro
Compra de electricidad (kWh/año)	370.745	156.476	45.075	31.387
Venta de electricidad (kWh/año)	-	188.386	9.471	1.101
Eficiencia	-	98 %	70 %	85 %

Tabla 3. Comparativa económica

	Conf. 0: Instalación convencional	Conf. 1: Fotov. + Comp. Excedentes	Conf. 2: Fotov. + Hidrógeno	Conf. 3: Fotov. + Hidrógeno Futuro
Inversión inicial (€)	-	161.782	1.144.628	422.437
CAN (€)	944.180 €	487.139 €	1.794.162	563.504,90
VAN (€)	-	457.041 €	849.982 €	380.675 €
COE (€/kWh)	0,197 €/kWh	0,0674 €/kWh	0,364	0,175
TIR (%)	-	12 %	1 %	6 %
Payback	-	9 años	26 años	14 años

Nota: CAN: Coste Actual Neto, valor que hace referencia al flujo de caja descontado de la instalación a lo largo de su vida útil. COE: Coste de la electricidad, es el coste promedio de cada kWh consumido por la instalación.

Tabla 4. Comparativa medioambiental

	Conf. 0: Instalación convencional	Conf. 1: Fotov. + Comp. Excedentes	Conf. 2: Fotov. + Hidrógeno	Conf. 3: Fotov. + Hidrógeno Futuro
Emisiones de CO₂ (kg/año)	234.310	65.606	88.254	69.113
Emisiones de CO₂ evitadas (kg/año)	-	168.703	145.876	165.197
Fracción renovable (%)	-	72 %	88,1 %	91,6 %

6. Conclusiones

Actualmente, la instalación fotovoltaica con compensación de excedentes (configuración 1) es la solución más rentable económicamente, la más eficiente a nivel técnico y la que menos emisiones de Gases de Efecto Invernadero produce. Con el sistema propuesto como solución debido al autoconsumo y a la compensación de excedentes el consumo del edificio es casi nulo.

A día de hoy, los sistemas de hidrógeno como el diseñado en la configuración 2 tienen mucho riesgo económico, ya que la inversión inicial es muy elevada y el período de recuperación muy largo. También, destacar que en un futuro próximo con el aumento de los rendimientos de los equipos de hidrógeno (configuración 3), este se convertirá en un claro competidor como vector energético pues en la solución propuesta podemos observar su enorme potencial.

7. Bibliografía

- A. F. G. a. N. Smith, M. (Edinburgh 2004). *Low-Cost Polymer Electrolysers and Electrolyser Implementation Scenarios for Carbon Abatement*.
- Ainscough, G. S. (2011). U. S. *Geographic Analysis of the Cost of Hydrogen from Electrolysis*. NREL.
- A. Villalba-Herreros, M^a. Ramos García, J.L. Morán, T. J. Leo, *Emissions and noise reduction on-board an oceanographic vessel thanks to the use of proton-exchange membrane fuel cells*.
- Institute of Transportation Studies, U. of California. (2006). Renewable Hydrogen: Technology Review and Policy Recommendations for State-Level Sustainable Energy Futures*.
- López Rodríguez, F. Cuadros, J. García Sanz-Calcedo, *El edificio PETER. Un ejemplo de integración de las energías renovables en la edificación*.
- López Rodríguez, F. Ayuga Téllez, J.A. Juncá, M. Soriano, J. García Sanz-Calcedo, *Edificios de energía casi nula utilizando recursos de generación distribuida (solar, eólica y biomasa) y microrredes inteligentes*.
- Maria C. Díaz-de-Baldasano, Francisco J. Mateos, Luis R. Núñez-Rivas, Teresa J. Leo, *Conceptual design of offshore platform supply vessel based on hybrid diesel generator-fuel cell power plant*.
- O. Schmidt, A. G. *International journal of hydrogen energy*, 30470-30492. (2017) *Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study*.
- R. D'Amore-Domenech, O. Santiago, T. J. Leo, *Multicriteria analysis of seawater electrolysis technologies for green hydrogen production at sea*.
- The Institution of Electrical Engineers (2003). Fuel Cells*.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

