

Prototipo de un sistema híbrido de energía fotovoltaica eólica

Ing. Mauricio Enrique Cuahuey Guerrero¹

Mauricioenrique.cuahuey@upaep.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4233-8686>

Universidad Popular Autónoma
del Estado de Puebla
Heroica Puebla de Zaragoza - México

Dr. Juan Francisco Méndez

Juanfrancisco.mendez@upaep.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6267-3671>

Universidad Popular Autónoma
del Estado de Puebla
Heroica Puebla de Zaragoza - México

Dr. Edgar Peralta Sánchez

edgar.peralta@upaep.mx

<https://orcid.org/0000-0001-2602-5025>

Universidad Popular Autónoma
del Estado de Puebla
Heroica Puebla de Zaragoza - México

Mtro. Sergio Alejandro Cardeña Moreno

Sergioalejandrocardenam@upaep.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4233-8686>

Universidad Popular Autónoma
del Estado de Puebla
Heroica Puebla de Zaragoza - México

Mtro. Daniel Eduardo Hernández Sánchez

dhernandezs2009@alumno.ipn.mx

<https://orcid.org/0009-0003-5527-8587>

Universidad Popular Autónoma
del Estado de Puebla
Heroica Puebla de Zaragoza – México

RESUMEN

Actualmente la inversión en energías de renovables como la eólica, geotérmica o la solar fotovoltaica se presenta como el camino más confiable para la transición energética a fuentes energéticas de bajo impacto ambiental. Si bien los grandes parques eólicos y solares de generación han dado resultados favorables existen aún muchas áreas de oportunidad para mejorar el rendimiento de generación y minimizar aún más el impacto medioambiental, como es el caso de los sistemas híbridos de generación de energía. El objetivo de este trabajo fue elaborar el prototipo de un sistema híbrido de energía, eólica y fotovoltaica; que nos permita generar energía eléctrica mediante la utilización de energía fuentes renovables como materia prima y de manera más sustentable al reducir emisiones comparada con fuentes de generación tradicionales. Partiendo desde un dimensionamiento previo de las variables climáticas, el diseño del sistema, el armado y las pruebas de funcionamiento de un prototipo que en una misma estructura, contiene un módulo fotovoltaico, un rotor eólico tipo Savonius, un panel de control y sus respectivas unidades de almacenamiento (para este caso de generación fuera de la red local), en donde podemos esperar un menor desgaste en la saturación de la red eléctrica debido a que, al ser sistema híbrido, se utilizan múltiples fuentes, por lo que, si se llega a presentar intermitencia, no se pierde por completo la generación de energía.

Palabras clave: sistema hibrido; sistema fotovoltaica; sistema eólico; energías renovables.

¹ Autor Principal

Wind-photovoltaic hybrid energy system prototype

ABSTRACT

Currently, investment in renewable energies such as wind, geothermal and solar photovoltaic is the most reliable way forward for the energy transition to low environmental impact energy sources. While large wind and solar power generation parks have yielded favourable results, there are still many areas of opportunity to improve generation performance and further minimise environmental impact, such as hybrid power generation systems. The objective of this work was to develop a prototype of a hybrid energy system, wind and photovoltaic, which allows us to generate electricity by using renewable energy sources as raw material and in a more sustainable way by reducing emissions compared to traditional generation sources. Starting from a previous dimensioning of the climatic variables, the design of the system, the assembly and operation tests of a prototype that in the same structure, contains a photovoltaic module, a Savonius type wind rotor, a control panel and their respective storage units (for this case of off-grid generation), where we can expect a lower wear in the saturation of the electricity grid because, being a hybrid system, multiple sources are used, so that, if intermittency occurs, the energy generation is not completely lost.

Keywords: *hybrid system; photovoltaic system; wind-power system; renewable energies.*

Artículo recibido 01 abril 2023

Aceptado para publicación: 15 abril 2023

INTRODUCCIÓN

La constante inestabilidad en el mercado de combustibles y las crecientes consecuencias medioambientales desencadenadas por la sobreexplotación y consumo de los recursos naturales desde la primera revolución industrial, mantienen en constante riesgo el estilo de vida de nuestra civilización. Los avances tecnológicos y la mejora de la calidad de vida de las personas dependen proporcionalmente del acceso a la energía eléctrica, satisfecha hasta hoy gracias al consumo de hidrocarburos, siendo estos un recurso natural finito el cual tenderá a agotarse gradualmente, y mientras estas cuestiones sigan aumentando, así como la demanda energética mundial

Consecuencialmente las repercusiones del consumo desmedido de hidrocarburos nos han traído consecuencias devastadoras, como el cambio climático, la contaminación de agua, suelo y aire, sumado a los altos riesgos en la salud de todos los seres vivos que habitamos el planeta, por otro lado, fuentes no dependientes de hidrocarburos como la industria hidroeléctrica presentan altos riesgos de impacto ambiental en su entorno directo. Esto pone en la urgencia directa de reducir y en un futuro no muy lejano la necesidad de eliminar nuestra dependencia con este tipo de fuentes de energía.

Actualmente las alternativas a los hidrocarburos como fuentes generadoras de energía se encuentran al alza. Por lo que la inversión en energías de fuentes renovables como la eólica, geotérmica o la solar fotovoltaica se presenta como el camino más confiable para la transición energética a fuentes de bajo impacto ambiental. Si bien los grandes parques eólicos y solares de generación han dado resultados favorables existen aún muchas áreas de oportunidad para mejorar el rendimiento de generación y minimizar aún más el impacto medioambiental de estas alternativas, como es el caso de los sistemas híbridos de generación de energía.

Objetivo General

- Elaborar un prototipo de un sistema híbrido de energía, eólica y fotovoltaica; que nos permita generar energía eléctrica de fuentes renovables y de manera más sustentable.

METODOLOGÍA

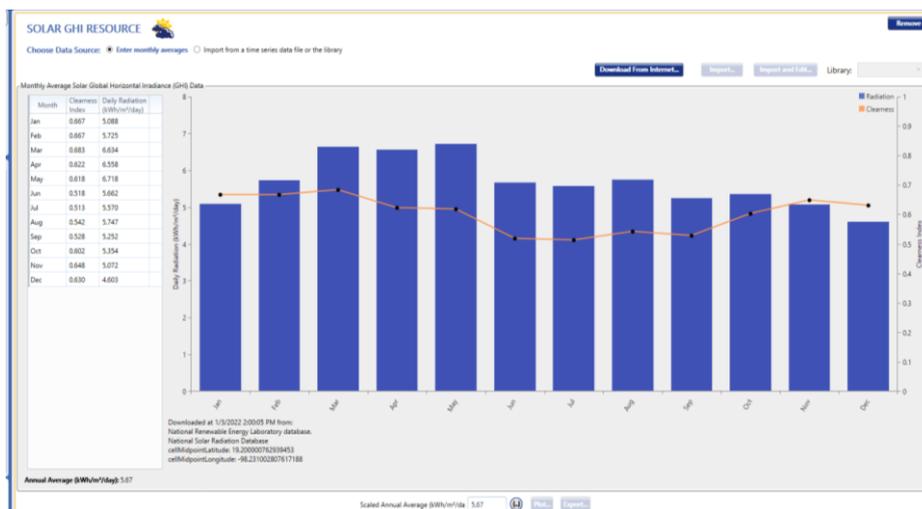
En primera instancia para la elaboración del prototipo concebido y con el fin de conocer con certeza los elementos que lo conformarían y la construcción del mismo, se realizó un dimensionamiento matemático previo y con ayuda de software, mismos que son capaces de adecuarse a diferentes puntos geográficos

a nivel mundial y brindar información necesaria aplicable a los modelos de dimensionamiento. Ya que es necesario conocer las características geográficas y medioambientales del sitio en el que se requiera implementar el dispositivo, partiendo no únicamente de los requerimientos tecnológicos y mecánicos necesarios para establecer las condiciones de trabajo, si no también necesarios para conocer el rendimiento esperado y la viabilidad de la instalación de este tipo de dispositivos en el punto de preferencia.

Dimensionamiento previo matemático y en software

Utilizando dimensionamiento matemático clásico y software, se revisaron las condiciones climáticas y ambientales del sitio (ciudad de Puebla, México) que influyen en el funcionamiento de las tecnologías de generación seleccionadas, en dos secciones, recurso solar y recurso eólico.

Software:



Radiación diaria promedio mensual estimada en un año. (HOMER-pro, 2021)

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m²/day)
Jan	0.667	5.088
Feb	0.667	5.725
Mar	0.683	6.634
Apr	0.622	6.558
May	0.618	6.718
Jun	0.518	5.662
Jul	0.513	5.570
Aug	0.542	5.747
Sep	0.528	5.252
Oct	0.602	5.354
Nov	0.648	5.072
Dec	0.630	4.603

Radiación promedio anual por día 5.67 KWh/m2/día. (HOMER-pro, 2021)

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual
Dates (month/day/year): 01/01/2020 through 12/31/2020
Location: Latitude 19.0484 Longitude -98.2168
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 2146.67 meters
Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999
Parameter(s):
ALLSKY_KT          CERES SYN1deg All Sky Insolation Clearness Index (dimensionless)
ALLSKY_NKT        CERES SYN1deg All Sky Normalized Insolation Clearness Index (dimensionless)
ALLSKY_SRF_ALB    CERES SYN1deg All Sky Surface Albedo (dimensionless)
ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kW-hr/m^2/day)
CLRSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg Clear Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kW-hr/m^2/day)
-END HEADER-
PARAMETER          YEAR   JAN   FEB   MAR   APR   MAY   JUN   JUL   AUG   SEP   OCT   NOV   DEC   ANN
ALLSKY_KT          2020  0.65  0.68  0.69  0.62  0.59  0.58  0.55  0.52  0.47  0.69  0.69  0.66  0.61
ALLSKY_NKT          2020  0.84  0.84  0.82  0.73  0.69  0.66  0.63  0.61  0.55  0.85  0.89  0.88  0.75
ALLSKY_SRF_ALB     2020  0.13  0.12  0.12  0.14  0.13  0.14  0.12  0.13  0.12  0.12  0.13  0.12  0.13
ALLSKY_SFC_SW_DWN  2020  4.88  5.82  6.67  6.52  6.49  6.31  5.90  5.54  4.61  6.08  5.36  4.78  5.75
CLRSKY_SFC_SW_DWN  2020  5.58  6.39  7.22  7.68  7.87  7.97  7.79  7.62  7.03  6.64  5.84  5.24  6.91

```

Base de datos resultado del software con parámetros necesarios en el dimensionamiento de energía solar. (NASA Power, 2021)



Velocidad promedio mensual del viento y perfil de viento en un ambiente urbano. (HOMER-pro, 2021)

Month	Average (m/s)
Jan	3.530
Feb	3.690
Mar	3.760
Apr	3.400
May	2.910
Jun	3.220
Jul	3.770
Aug	3.810
Sep	3.830
Oct	3.820
Nov	3.700
Dec	3.410

Velocidad promedio anual del viento de 3.57 (m/s). (HOMER-pro, 2021)

Cálculos

Recurso solar:

- ϕ = Latitud de la ciudad de Puebla $\phi=19.0474$
- Día 14 de Julio
- δ : declinación solar: latitud a la cual los rayos llegan normales. latitud a la cual los rayos llegan sobre la esfera celeste en el sistema ecuatorial.

$$\delta=21.286439$$

- Constante solar: cuánta energía recibimos del sol

Para el caso de estudio: $I = 1.3677 \text{ KW/m}^2$

- Radiancia diaria horizontal sobre la superficie de la tierra (NASA Power)

$$G_0 = 5.90 \text{ kwh/m}^2\text{-día}$$

- Inclinación óptima

$$\beta_{\text{opt}} = 16.842706^\circ \approx 17^\circ$$

- Pérdidas por temperatura de trabajo de una célula STC (Standar Test Condition)

$$T_c = 56.25 \text{ c}$$

- K_{TM} = Índice de claridad

$$K_{\text{TM}} = 0.32677$$

Nota: si se acerca a 0 existe mucha contaminación, y si se acerca a 1 existe poca contaminación.

- Masa de aire

$$AM = 1.4804325$$

Los paneles fotovoltaicos son caracterizados por una masa de aire igual a 1.5, por lo que las pérdidas por masa de aire en este caso no son considerables.

- Radiancia solar global sobre un panel solar

$$G_{\beta\alpha} = 5.827389 \text{ kWh/m}^2$$

Recurso eólico:

- La potencia máxima que podemos obtener con un rotor Savonius puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$P_{\text{max}} = 0.18 * H * D * V^3$$

Donde:

H: Altura del rotor [m] 1.10 m

D: Diámetro del rotor [m] 0.60 m

V: Velocidad del viento [m/s] 3.77 m/s el 14 de julio (velocidad promedio mensual del viento para julio, HOMER PRO)

$P_{max} = 6.365W$

- La velocidad de giro de un rotor eólico se calcula con la siguiente fórmula:

$$n = (60 \cdot \lambda \cdot v) / (\pi \cdot D)$$

Donde:

n: Es el número de revoluciones por minuto [rpm]

El factor λ se llama velocidad específica del rotor eólico y depende de la anchura y del ángulo de calado de las palas. En el rotor Savonius con el que vamos a trabajar este factor tiene un valor comprendido entre 0.9 y 1.1. (0.9)

v: Es la velocidad del viento en metros por segundo [m/s]. 3.77

D: Es el diámetro de la turbina eólica en metros [m] 0.60

$n = 108 \text{ rpm}$

- Elección del inversor

La potencia soportada por el inversor debe de ser 1.5 veces la potencia demandada.

$\text{Potencia del inversor} = 6.365W * 1.5 = 9.5475W$

- Elección del regulador de carga

El regulador de carga debe de ser igual a la corriente nominal de salida de la turbina eólica multiplicada por 1.25

$1 \text{ regulador} = 12V * 1.25 = 15V$

Cálculo de protecciones para el sistema:

Las protecciones en una instalación eléctrica son indispensables para proteger a los sistemas tanto fotovoltaicos como eólicos, a las baterías, inversores, controladores de carga y sobre todo a los usuarios/operadores.

Corriente máxima del panel fotovoltaico:

$$I_{\max} = I_{sc} \text{ panel} \times 1.25$$

$$I_{\max} = 8.98 \text{ A} \times 1.25$$

$$I_{\max} = 11.225 \text{ A}$$

Dispositivo de sobre corriente (y sobretensión)

$$I_{\max} = 11.225 \text{ A} \times 1.25$$

$$I_{\max} = 14.031 \text{ A}$$

$$V_{\max} = V_{oc} \times 1.2$$

$$V_{\max} = 38.1 \text{ V} \times 1.2$$

$$V_{\max} = 45.72 \text{ V}$$

Protección del panel solar al regulador de carga:

$$I_{mp} \times 1.2$$

$$8.42 \times 1.2 = 10.104 \text{ A}$$

Del regulador de carga a la batería:

$$V_{cc} = V_{\text{salida}} \times 1.25 = 24 \times 1.25 = 30 \text{ V}$$

$$I = P_{\text{panel}} / V_{cc} = 260 \text{ W} / 30 \text{ V} = 8.66 \text{ A}$$

De la batería al inversor de corriente:

$$I_{cc} = P_{\text{inversor}} / V_{cc \text{ max}} = 700 \text{ W} / 24 \text{ V} = 29.1666 \text{ A}$$

Integración de datos obtenidos por dimensionamiento matemático y en software

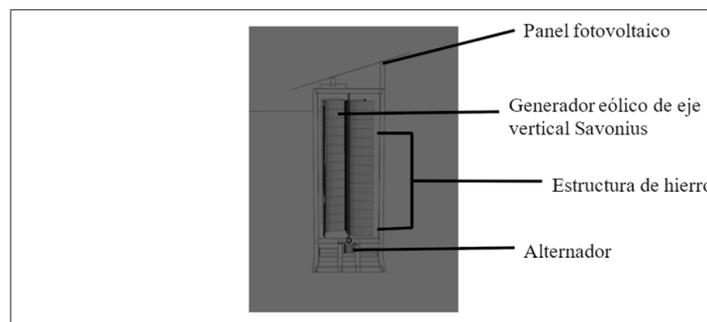
Recurso Solar					
Parámetro	Método				
	Resolución de expresiones matemáticas	Por horas de irradiación directa	PVGIS	NASA POWER	HOMER PRO
Inclinación optima	16.842706°≈17°	-	17°	-	-
irradiación global promedio por día para el mes de julio	5.827389 kWh/m2	5 kWh/m2	-	5.9 kWh/m2	5.570 kWh/m2
Índice de claridad	0.32677	-	-	0.55	0.513

Comparación de resultados de dimensionamiento solar matemático clásico y en software.

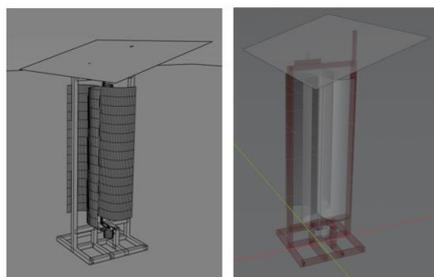
Los datos obtenidos en el dimensionamiento matemático previo y en software para la ubicación seleccionada, siendo esta en las instalaciones de la universidad en la ciudad de Puebla, México. Tanto para la sección eólica como para la solar, nos ofrece parámetros de los respectivos recursos renovables esperados para el correcto funcionamiento de nuestro sistema planteado, para lograr obtener una generación de energía estable y suficiente. Así mismo, tanto estos valores como el cálculo de protecciones nos ofrece los datos necesarios para la selección de los elementos con los cuales se podrá trabajar, su correcta integración y sus respectivos complementos, para así partir al diseño del sistema.

Diseño y modelado de la estructura con elementos

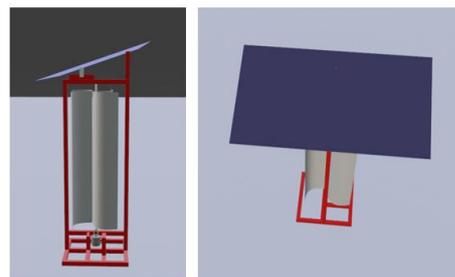
El sistema híbrido desarrollado consiste en 2 fuentes de generación renovables, fotovoltaica y eólica. Se decidió establecer una estructura en la que el panel fotovoltaico quedará en la parte superior para recibir la radiación solar, y el generador eólico de eje vertical (tipo Savonius) forma parte de la estructura principal que da rigidez y soporte a sí mismo y al panel fotovoltaico.



Perfil del modelo de sistema híbrido. (Blender, 2021)



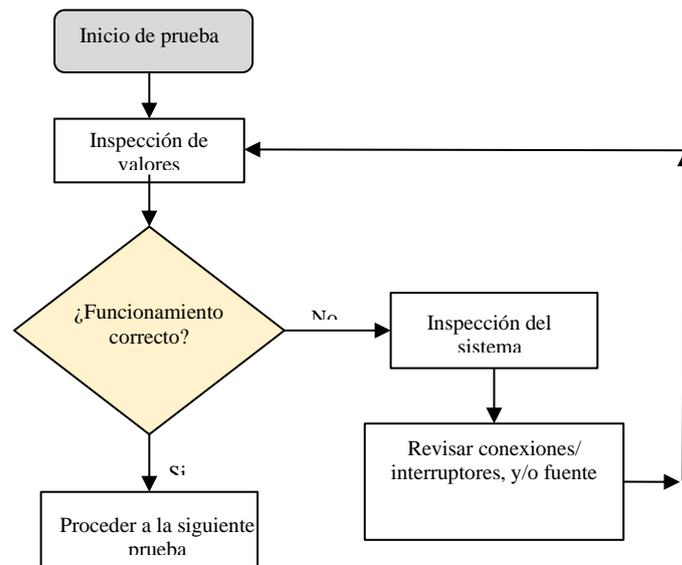
Modelo 3D del sistema con elementos estructurales y de generación definidos. (Blender, 2021)



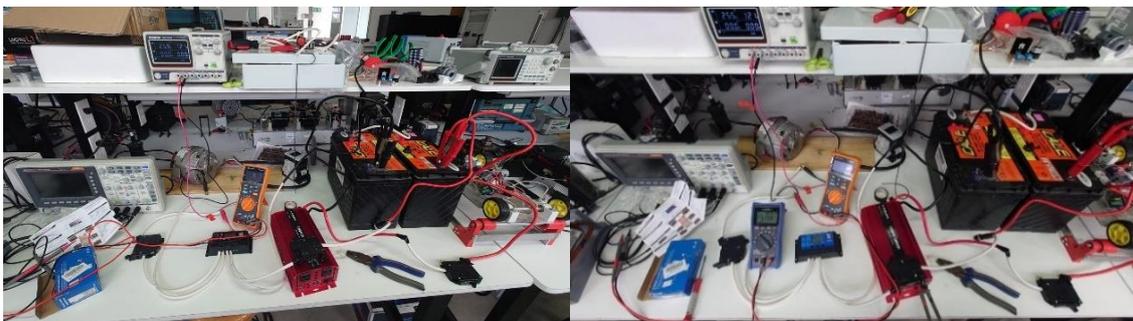
Modelo 3D donde se aprecia la turbina tipo Savonius de aluminio (gris), la estructura de hierro (rojo), y el panel fotovoltaico (azul). (Blender, 2021)

Prueba de componentes en laboratorio

Prueba de los componentes adquiridos de manera individual y conjunta, simulando las características estimadas de las fuentes de energía solar y eólica.



Pruebas realizadas en el centro de investigación en potencia eléctrica y energías limpias de UPAEP.



Elementos sección fotovoltaica.



Elementos sección eólica.

Prototipo armado

Prototipo de sistema híbrido montado por completo, gabinete de panel de control al frente a una altura aproximada de 140 cm sobre la base y el panel fotovoltaico a 160 cm sobre la base, inclinado hacia el frente (este rostro del sistema deberá estar orientado hacia el sur), el cableado baja por la estructura y se divide partiendo hacia la derecha e izquierda.

- Del lado izquierdo están montadas las baterías de ciclo profundo conectadas en serie, así como el inversor de corriente para la sección fotovoltaica.
- De lado derecho, lado donde se encuentra acoplado el alternador, se encuentra montada la batería de uso automotriz junto con el inversor de corriente de la sección eólica
- Ambos lados con sus respectivas conexiones y arreglo de cableado.

Pruebas realizadas en la terraza del primer piso del edificio de ingenierías, junto del centro de investigación en potencia eléctrica y energías limpias de UPAEP.

Imágenes y descripción del sistema ensamblado:



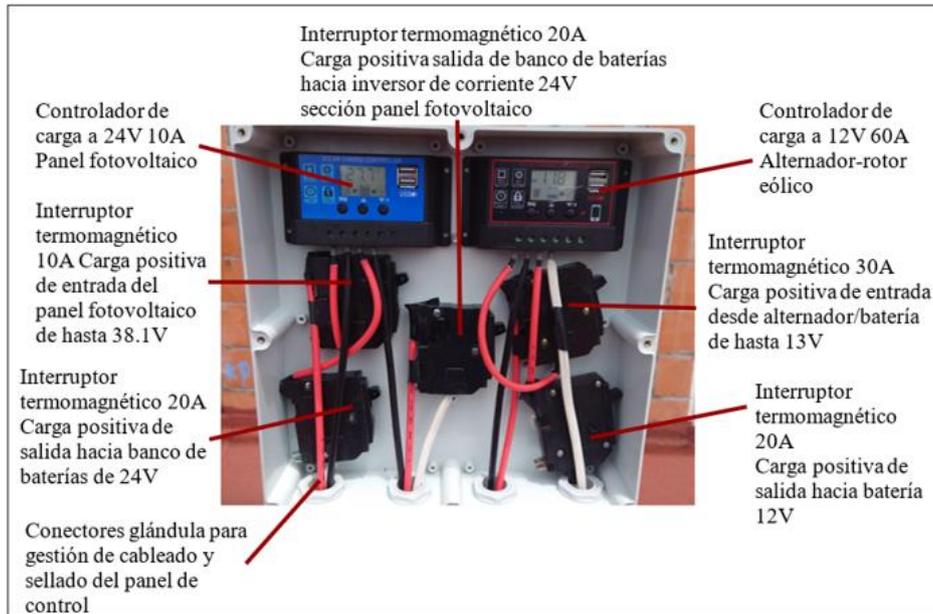
Vista del frente del prototipo de sistema híbrido con todos los elementos montados y conectados.



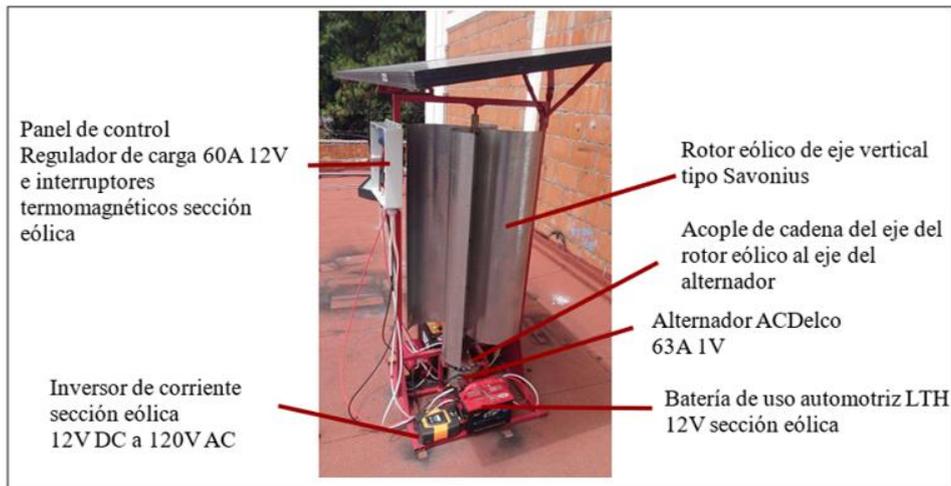
Gabinete del panel de control, fijado con tornillos a la estructura y cerrado con sello de silicón, a prueba de agua y polvo nivel IP-65



Gestión sección fotovoltaico y elementos.



Gestión del panel de control y elementos.



Gestión sección eólico y elementos.



Visualizador v valores de los controladores de carga.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

▪ *Sección fotovoltaica Prueba en terraza de laboratorios de ingeniería.*

En esta sección se obtuvieron los mejores resultados, ya que el prototipo estando en operación, se reveló su capacidad para mantener la entrega de energía de manera constante durante el día.

Radiación solar global sobre un panel solar (Al día 14 de julio) $G\beta\alpha = 5.827389 \text{ kW/m}^2$

Radiación promedio anual por día $5.67 \text{ KWh/m}^2/\text{día}$. (HOMER-pro, 2021)

En este apartado se compara radiación por día que se estima reciba el panel fotovoltaico del sol, comparando los datos del dimensionamiento, el software y los resultados de las pruebas sobre el sistema en funcionamiento, podemos inferir que el sistema en su sección fotovoltaica no debería tener problemas para trabajar operar según lo deseado.

De igual manera de acuerdo al dimensionamiento previamente realizado, junto con el trabajo en software, se mostró un panorama completo, en el que la irradiancia diaria percibida por el panel se traduce en un alto nivel de eficiencia, logrando trabajar a su máxima potencia durante aproximadamente 5 horas al día en promedio, siendo que las cuestiones a considerar a cerca de pérdidas posibles por diversos factores, y con ayuda del banco de baterías, no se compromete el suministro energético en el punto de carga durante horario de flujo de estudiantes en la universidad.

▪ *Sección eólica prueba en terraza de laboratorios de ingeniería.*

Dentro de la sección eólica, obtuvimos un resultado esperado al trabajar todos los componentes de acuerdo con lo planteado previamente en el dimensionamiento del recurso eólico y con ayuda del software. Consiguiendo una entrega estable y suficiente de energía en relación con que el sistema funcione como punto de carga entregando energía eléctrica en las tomas de corriente caseras de la sección eólica.

A pesar de esto, la baja energía mecánica trasladada del rotor eólico tipo Savonius acoplado al alternador, resultado de las pocas revoluciones por minuto que el viento y nuestro propio esfuerzo sobre las aspas lograban generar, se presentó en un desequilibrio en el suministro de la fuente (rotor eólico tipo Savonius/alternador) con respecto a la carga de la batería, ya que si no se mantiene un constante flujo de energía cinética trasladada al alternador, este se comporta circulando la corriente directamente

sobre sí mismo, sin generar la energía suficiente para cargar la batería. Generando que esta se descargue a un ritmo mucho mayor del que se puede recargar.

Valores estimados de generación de acuerdo con el dimensionamiento y software:

$$P_{\max} = 6.365W$$

$$n = 108 \text{ rpm}$$

Valores de trabajo del alternador:

En su apartado mecánico, el alternador está diseñado para entregar hasta 63 W de potencia estimada del alternador en condiciones de 700-800 rpm. Y si bien el voltaje de 1V sumado a los 12V de la batería nos permitirían tener funcionando el sistema en su sección eólica, y entregando hasta 31.828W de potencia por el recurso eólico a por lo menos 108 rpm, estos valores de revoluciones por minuto no son posibles de alcanzar (de forma estable y constante) las condiciones actuales de diseño y operación.

▪ ***Como sistema híbrido***

El prototipo de sistema híbrido en su primera etapa de pruebas, arrojó, en términos generales, los resultados esperados en cuanto aprovechamiento de ambas fuentes de energía renovables planteadas en la noción inicial del proyecto. De manera similar al estar el sistema montado por completo en sus elementos y puesto en funcionamiento, la entrega de carga en las tomas de corriente tipo casera, cumplió las características acordes con el propósito de ser utilizado como punto de carga para aparatos electrónicos portátiles sin ningún inconveniente.

Más sin embargo en las condiciones de operación actuales, específicamente acerca de la sección eólica, la tasa de recarga de la batería correspondería a un valor mucho menor al de su consumo, por lo que no se podría garantizar la disponibilidad de corriente a la salida del inversor de la sección eólica.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se elaboró un prototipo de sistema híbrido de generación de energía, aislado de la red, que logró acoplar en una sola estructura generadores de tipo eólico y fotovoltaico. Lo que nos permitió cumplir con el objetivo propuesto de generar energía eléctrica de manera sustentable, aprovechando fuentes de energía renovables y sin generar emisiones de manera directa. Si bien el aprovechamiento en el generador eólico no derivó en la eficiencia esperada, el trabajo de ingeniería

realizado y los resultados marcados, favorecen el camino a seguir trabajando en el desarrollo del sistema, con la posibilidad de lo entregar a futuro un producto final que cumpla, e incluso supere la proyección de expectativas planteadas al principio de este trabajo. Dentro de las consideraciones para trabajos futuros, de manera directa, se contempla el cambio del alternador del sistema eólico por un generador de imanes permanentes a 12v de corriente directa, cambio de protecciones de sobre corriente y suplementar el cableado adecuados para el sistema, así como la implementación de un convertidor tipo *ELEVADOR REDUCTOR* para aumentar la eficiencia en la producción de energía.

Lo expuesto anteriormente permite concluir que el desarrollo de nuevas tecnologías en el rubro de la energía (y de cualquier otra área), es un proceso de mejora constante de procesos, elementos, teoría y prácticas, que nunca puede darse por finalizado.

De esta manera que se debe tomar en cuenta el cuidado del medio ambiente por medio de la búsqueda de la sustentabilidad, siendo que el medio ambiente es el entorno en cual vive el ser humano y que ha descuidado por mucho tiempo, viendo las consecuencias ya experimentadas en las últimas décadas sumado a un panorama no más alentador a futuro, es responsabilidad de todas las disciplinas y áreas de trabajo mantener el enfoque de sustentabilidad, cuidado del medio ambiente y de toda la dinámica de la naturaleza terrestre en los proyectos que así lo demanden y lo puedan abordar.

LISTA DE REFERENCIAS

Bibliografía

A P Schaffarczyk . (2020). Introduction to Wind Turbine Aerodynamics. Alemania: Springer.

Bruno Toso del Valle. (2017). Yaw System Protection strategy Optimization. 2020, de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona Sitio web: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/104794/MemoriaTFG.pdf>

CRISTINA DELGADO, MANUEL PLANELLES. (2017). El mundo consumirá un 30% más de energía en 2040 y se aleja de cumplir el Acuerdo de París. 2020, de EL PAÍS Sitio web: https://elpais.com/economia/2017/11/14/actualidad/1510661591_352717.html

- Deivis Avila-PratsI, Ramón Alesanco-GarcíaI, Juan Veliz-AlonsoII. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. 2020, de SciELO Sitio web: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442011000100003
- HG Ingeniería. (2018). ¿Sabías que existen varios tipos de instalación de energía solar fotovoltaica? 2020, de HG Ingeniería Sitio web: <https://hgingeneria.com.co/tipos-de-instalacion-de-energia-solar-fotovoltaica/>
- Javier López de Benito. (2022). La demanda mundial de electricidad creció un 6% en 2021. 2022, de Energy News Sitio web: <https://www.energynews.es/demanda-mundial-de-electricidad-en-2021/>
- Jesús Ariza Elena. (2014). Mantenimiento del sistema de carga con alternador. España: IC Editorial.
- La Vanguardia Barcelona. (2022). Convierten el tráfico en energía renovable: las turbinas que están revolucionando Turquía. 2022, de LA VANGUARDIA Sitio web: <https://www.lavanguardia.com/natural/20220205/8032858/trafico-energia-renovable-turbina-enlil-turquia-pmv.html>
- Raúl Castillo Meraz, Roberto Carlos Martínez Montejano, Finees Delgado Aranda, Isaac Campos Cantón. (2013). SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. 2021, de TLATEMOANI. Revista Académica de Investigación Sitio web: <https://www.eumed.net/rev/tlatemoani/13/energia.html#:~:text=Sistemas%20híbridos%20de%20energías%20renovables,%2C%20eólica-térmica%20entre%20otras.>
- S. L. Innovación y Cualificación. (2017). Montaje eléctrico y electrónico en instalaciones solares fotovoltaicas. España: IC Editorial.
- Siemens Gamesa Renewable Energy. (2018). Hybrid systems: wind, solar and storage. 2020, de Siemens Gamesa Renewable Energy Sitio web: <https://www.siemensgamesa.com/es-es/products-and-services/energia-hibrida-y-almacenamiento>
- Siemens Gamesa Renewable Energy. (2018). La Plana Hybrid Facility Ashowcase, and a test facility for hybrid projects. 2020, de Siemens Gamesa Renewable Energy Sitio web:

<https://www.siemensgamesa.com/es-es/-/media/siemensgamesa/downloads/en/products-and-services/hybrid-power-and-storage/la-plana.pdf>

weatherspark.com. (2019). El tiempo en 14 de julio en Heróica Puebla de Zaragoza México. 2019, de Weather Spark Sitio web: <https://es.weatherspark.com/d/6655/7/14/Tiempo-promedio-el-14-de-julio-en-Her%C3%B3ica-Puebla-de-Zaragoza-M%C3%A9xico#Sections-Wind>

Software utilizado

Astronomy Education at the University of Nebraska Lincoln, Motions of the Sun Simulator <http://astro.unl.edu/naap/motion3/animations/sunmotions.html>

HOMER Pro® microgrid software by HOMER Energy, 21-day free trial. HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources). <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>

MedCalc Statistical software package for biomedical research. Sección de estadística, funciones matemáticas y gráficos.

NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) Higher Resolution Daily Time Series 1/2 x 1/2 degree Climatology Resource for Renewable Energy: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> <https://www.medcalc.org/manual/sign-function.php>

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) Aplicación oficial desarrollada por la Unión Europea. <https://photovoltaic-software.com/pv-softwares-calculators/online-free-photovoltaic-software/pvgis>

UNSPLASH, Imágenes de licencia compartida <https://unsplash.com/es/s/fotos> Elementos Utilizados Bateria de uso automotriz- <https://www.lth.com.mx/productos/especificaciones-t%C3%A9cnicas/172013>

Controlador de Carga Solar- https://www.amazon.com.mx/Controlador-regulador-Inteligente-Pantalla-Ajustable/dp/B09CGTN8GY/ref=sr_1_1?crid=1KBLYVL8TZNE&keywords=controlador+de+carga+solar&qid=1657737703&srefix=controlador+de+ca%2Caps%2C148&sr=8-1

Gabinete de plástico para exterior - https://www.amazon.com.mx/dp/B089YBH7B8/ref=cm_sw_r_apan_i_5X0AE7W9KTR602R9WFHB?encoding=UTF8&psc=1

Inversor de corriente LVYUAN- https://www.amazon.com.mx/LVYUAN-convertidor-visualizaci%C3%B3n-herramientas-el%C3%A9ctricas/dp/B07M6K8TF2/ref=sr_1_4?_mk_es_MX=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=3RVK0FRLG0IB&keywords=inversor%2Blvyuan&qid=1656954831&srefix=inversor%2Blvyuan%2Caps%2C138&sr=8-4&ufe=app_do%3Aamzn1.fos.649fe0ca-1cbf-43f1-a365-f15699263f39&th=1

Inversor de corriente Ampeak- https://www.amazon.com.mx/Ampeak-Inversor-Corriente-Convertidor-Doble/dp/B07PWDR869/ref=sr_1_1?_mk_es_MX=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=1UQN1MKAERAQW&keywords=inversor+ampeak+750w&qid=1656956044&srefix=inversor+aampeak+750w%2Caps%2C131&sr=8-1

Tier 1 de placas solares: mejores fabricantes de paneles solares- <https://selectra.es/autoconsumo/info/componentes/placas-solares/tier1>