

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ENERGÉTICA

**Estudio de Factibilidad en la Implementación de un Sistema Híbrido
para Suministro Eléctrico**

(Artículo)

PUBLICACIÓN ARBITRADA QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA

PRESENTA

Alejandro David Crespo López

Ciudad de México, 28 de noviembre de 2024.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.



REVISTA PERIÓDICA

COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA

JOURNAL CIM – REVISTA DIGITAL

ISSN 2007 8102

Volumen 11. Núm. 1, Octubre 2023



latindex



DIFUSIÓN VÍA RED DE CÓMPUTO

http://cim.orizaba.tecnm.mx/?page_id=161



COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA JOURNAL CIM

Science, Technology and Educational Research

VOLUMEN 11, NÚMERO 1, OCTUBRE 2023

ISSN: 2007-8102

© D.R. Tecnológico Nacional de México /I.T. Orizaba
Av. Oriente 9 No. 852
C.P. 94320
Orizaba, Veracruz México
http://cim.orizaba.tecnm.mx/?page_id=161

Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, Vol. 11, Núm. 1, octubre 2023, es una publicación anual, publicada y editada por el Tecnológico Nacional de México dependiente de la Secretaría de Educación Pública, a través del Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico de Orizaba, Avenida Universidad 1200 5º Piso, Colonia Xoco, Delegación Benito Juárez, C.P. 03330, Ciudad de México, Tel. + (52) 5536002500 Ext. 65064, d_vinculacion05@tecnm.mx. Editora Responsable M.C. María Antonieta Abud Figueroa. Reserva de derecho al Uso Exclusivo NO. 04-2013-093010380600-203, ISSN 2007-8102, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número M.C. María Antonieta Abud Figueroa, en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México / I.T. Orizaba, Oriente 9, No. 852, Col. Emiliano Zapata, Orizaba Veracruz, México, C.P. 94320, Tel. + (52) 2721105360. Fecha de última modificación, 30 de septiembre de 2023.

Su objetivo principal es difundir resultados de proyectos de investigación de personal adscrito a diversas instituciones nacionales y extranjeras, en las áreas de Ingeniería Administrativa, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Ingeniería Industrial, Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Sistemas Computacionales e Investigación Educativa.

Para su publicación los artículos son sometidos a arbitraje, su contenido es de la exclusiva responsabilidad de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de la Institución.

Las publicaciones de los artículos son sometidas a revisión por un comité de arbitraje y el contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción parcial o total de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto encargado, salvo que sea citada la fuente de origen.



Revista Indexada en LATINDEX y en OpenAire

COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA
JOURNAL CIM
Science, Technology and Educational Research
VOLUMEN 11, NÚMERO 1, OCTUBRE 2023 **ISSN: 2007-8102**

DIRECTORIO

Dr. Ramón Jiménez López	Director General del TecNM
M.A. Maricela Gallardo Córdova	Directora del TecNM Campus Orizaba
M.C. Gabriela Cabrera Zepeda	Subdirectora Académica
Dr. Eduardo Roldán Reyes	Subdirector de Planeación y Vinculación
Dra. Guadalupe Luna Solano	Subdirectora de Servicios Administrativos

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Cuauhtémoc Sánchez Ramírez	Responsable General
Dr. Fernando Ortiz Flores	Responsable Técnico
Dr. Mauricio Romero Montoya	Responsable de Logística
Dr. Víctor Ricardo Castillo Intriago	Ingeniería Administrativa
Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez	Ingeniería Industrial
Dr. Gerardo Águila Rodríguez	Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Dr. Ignacio Herrera Aguilar	Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
M.S.C. Luis Ángel Reyes Hernández	Sistemas Computacionales
Dr. Juan Manuel Méndez Contreras	Ingeniería Química
Dr. Guillermo Alfredo Arriola Carrera	Investigación Educativa

COORDINACIÓN EDITORIAL

M.C. María Antonieta Abud Figueroa

Estudio de la factibilidad de la implementación de un sistema híbrido para suministro eléctrico

Alejandro David Crespo López¹, Edgar Vicente Torres González²,

Manuel Antonio Corona Sánchez², Raúl Lugo Leyte³, Alejandro Torres Aldaco³

¹Programa de Energía, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Plantel Del Valle, San Lorenzo 290, esquina Roberto Gayol, Del Valle Sur, Benito Juárez, Ciudad de México, 03100, México

²Programa de Energía, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Plantel San Lorenzo Tezonco, Prol. San Isidro No. 151, Col. San Lorenzo Tezonco, 09790, Iztapalapa, Ciudad de México, México

³Área a de Ingeniería en Recursos Energéticos, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1era Sección, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, Ciudad de México, México

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Los sistemas híbridos prometen ser una alternativa viable para una mayor incorporación de energías alternativas en el sector energético, y al mismo tiempo ser una solución al problema de intermitencia que las caracteriza, por medio de la complementación con tecnologías de generación convencional, tales como las que utilizan combustibles fósiles, biocombustibles o sistemas de almacenamiento de energía. Por tal motivo, en el presente trabajo se busca proponer y abordar las ventajas que un sistema híbrido podría dar a una comunidad rural, en cualquier parte del mundo, aprovechando los recursos disponibles, y en donde no se cuenta con una electrificación plena de sus hogares, y en medio de la carrera por reducir las consecuencias del calentamiento global cada vez más visibles.

Palabras clave: Sistema híbrido, pobreza energética, energías renovables, calentamiento global

Abstract

Hybrid systems promise to be a viable alternative for a greater incorporation of alternative energies in the energy sector, and at the same time to be a solution to the intermittency problem that characterizes them, through the mixture with generation technologies such as fossil fuels, biofuels or energy storage systems. For this reason, in the present work we seek to propose and address the benefits that such a system could give to a rural community in any part of the world, taking advantage of the available resources, and where there is no full electrification of their homes and in middle of the race to reduce the increasingly visible consequences of global warming.

Key words: Hybrid system, energy poverty, renewable energy, global warming

Introducción

La pobreza es un obstáculo importante para el desarrollo sostenible, no sólo de países en desarrollo sino también del mundo entero. La energía desempeña un papel importante para el desarrollo en términos de reducción de la pobreza, y el Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (ESMAP) del Banco Mundial ha adoptado iniciativas sobre la pobreza desde el ámbito de la energía. El acceso inadecuado a la energía (especialmente a la electricidad) es un gran obstáculo al desarrollo social y económico de una sociedad. El efecto negativo de esto es mayoritariamente predominante entre las mujeres y los niños en los países en desarrollo [1,2].

El consumo de energía per cápita se define como el consumo de energía primaria por habitante, en 2020 a nivel mundial fue de 75.42 GJ/habitante, decreciendo en 4.69% en comparación al año previo. Esta disminución en el consumo, se debió al confinamiento por la prevención ante los contagios por el virus SARS-CoV-2. Por otro lado, la población mundial creció 1.13% entre 2019 y 2020, al pasar de 7,665.97 a 7,752.74 millones de habitantes. Hoy en día, 770 millones de personas en todo el mundo siguen viviendo sin acceso a la electricidad, principalmente en África y los países en desarrollo de Asia. La crisis de Covid-19 supuso un obstáculo y frenó el progreso sobre nuevas conexiones, al tiempo que debilitó la capacidad económica de los hogares para pagar la electricidad [3].

A pesar que en México más del 99% de la población se encuentra con acceso a servicios de electrificación no se cubren al 100% las necesidades básicas para vivir, tales como la iluminación, entretenimiento, calentamiento de agua, cocción de alimentos, refrigeración de alimentos y confort térmico en la vivienda. De esta manera, caen dentro de la definición de pobreza energética como la carencia de al menos uno de los servicios o bienes económicos que se consideran básicos para satisfacer las “necesidades humanas fundamentales” [4]. Entonces, el 36.7% de los hogares en el país carecen de al menos uno de los servicios o bienes económicos necesarios para cubrir estas necesidades [5].

Los sistemas de energía híbrida son aquellos que generan electricidad a partir de dos o más fuentes, generalmente de origen renovable, compartiendo un mismo punto de conexión. Un sistema híbrido puede contar o no con un sistema de almacenamiento [6, 7].

Los sistemas híbridos ofrecen una solución a la pobreza energética en México, ya que, al tener la disponibilidad de varias fuentes y una flexibilidad de conexión por fuente de generación, cuando una se encuentra inactiva reduce la imprevisibilidad inherente a las energías renovables, y mejora la estabilidad de la energía eléctrica suministrada, de tal manera que, así se garantiza el suministro de potencia en el punto de necesidad.

Para lograr el acceso pleno a una electrificación total de la población mundial en el 2030, se requerirá conectar a casi 100 millones de personas cada año en todo el mundo. Por tal motivo, en el presente trabajo se busca proponer un sistema híbrido para las comunidades más apartadas, con nula o poca electrificación de los hogares, y así poder cerrar la brecha de desigualdad y pobreza que existe a nivel mundial por escasez de este recurso, es decir, la electricidad en pleno siglo XXI es importante para todos los habitantes de la Tierra. Generar esta energía por medio de energías alternativas, como son la energía eólica y la energía solar, son recursos que en la mayor parte de las comunidades del mundo se tienen de manera gratuita y constante, pero que en casos cuando estos recursos no existan, se pueda proveer de energía eléctrica a cada comunidad con el uso de un generador diesel o biogás, y siendo importante el almacenamiento del combustible, para accionar el generador en caso de situaciones de poca disponibilidad de recursos renovables por varios días.

El objetivo de este trabajo es proponer un sistema híbrido que pueda ser escalable, de acuerdo a las necesidades que en cada población existan, y cubrir dichas necesidades por medio del aprovechamiento de fuentes renovables y de un generador diesel o biogás de respaldo.

Metodología

El sitio elegido para proponer la implementación de un sistema híbrido es la comunidad de Amador Hernández en el actual estado de Chiapas, como muestra la Figura 1, esta comunidad cuenta con una población de aproximadamente 1000 personas y con falta de electrificación en los hogares. Este poblado tiene una latitud de 16°32.3' N y longitud 91°19.9' W. Además, es el pueblo más poblado en la posición número 68 de todo el municipio. La comunidad de Amador Hernández está a 340 metros de altitud, y se encuentra a 91.4 kilómetros (en dirección Noreste) de la localidad de Ocosingo.



Figura 1. Localización del lugar de estudio.

De esta manera, se introducen las coordenadas de localización del poblado de Amador Hernández en el simulador *HomerPro*, el cual se utiliza en el presente trabajo para simular el comportamiento del sistema híbrido propuesto y obtener información requerida para el estudio de implementación. Con la ayuda de otro software, el *PVSyst*, se introducen las cargas de los electrodomésticos, que se han pensado importantes para los hogares de Amador Hernández, y a partir de información obtenida del *INEGI* sobre las costumbres, actividad económica, electrificación (como son iluminación de LED, lavadora, refrigerador, parrilla para cocinar, ventilador, televisión, radio, computadora y celular, así como un motor o bomba hidroneumática para el riego de las parcelas, las cuales son el sustento para la mayoría de familias que viven del autoconsumo de los productos que cultivan como maíz y frijol), etc. Una vez teniendo enlistadas las cargas, se introduce la potencia que consume cada una y las horas de operación al día, de tal forma que, que el software del *PVSyst* calcula el consumo diario de energía por equipo, así como el consumo total en kWh por día y por mes de toda la carga en cada hogar, como muestra la Figura 2.

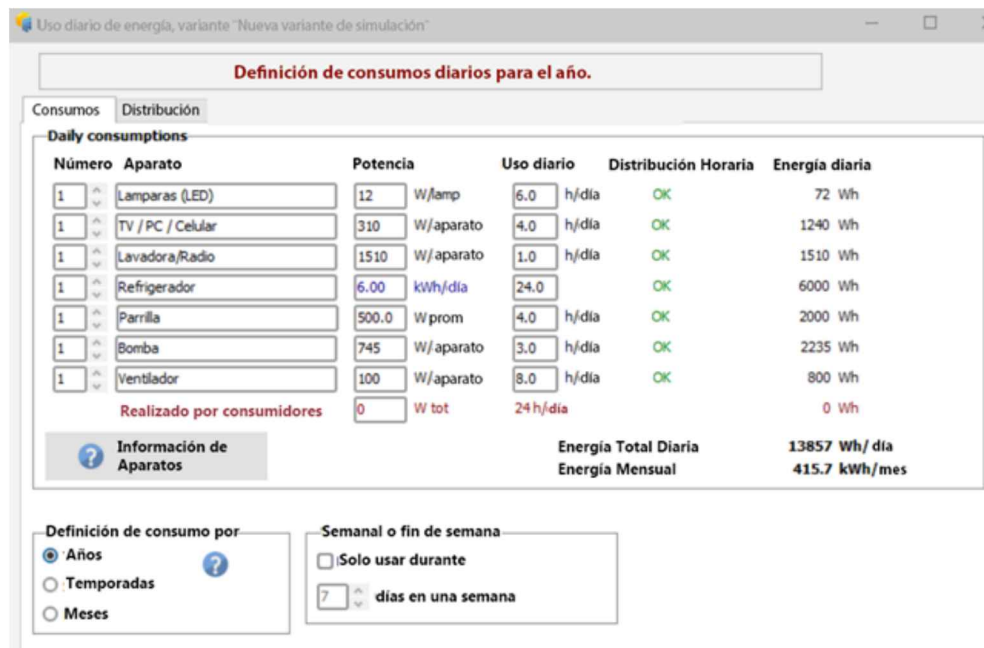


Figura 2. Consumo diario de energía por equipos en un hogar de Amador Hernández.

La Figura 3 muestra los datos introducidos de la distribución de horas de las cargas en un círculo que representa un total de 24 horas, con dos círculos internos que cuentan con divisiones de celdas y cada celda representa una fracción a la mitad de hora; es decir, una media hora. La carga que más tiempo opera es la del refrigerador, que normalmente se encuentra encendido las 24 horas del día; seguido de las luces LED, tomando en cuenta el ritmo de vida que normalmente se lleva en las comunidades rurales (cuyos horarios para empezar su día es a partir de las 5 am), seguido de otras cargas menores, pero no despreciables como lavadora, radio, televisión, computadora y celular. Una vez habiendo introducido la distribución de horas el mismo software, se genera una gráfica con la distribución de horas de mayor y menor consumo, para poder identificar las horas de los picos de mayor consumo de energía en la población de Amador Hernández. Con la distribución de horas y los cálculos de consumo por horas, para un total de aproximadamente 250 hogares, se introducen dichos consumos en *HomerPro* para el primer mes y el resto de meses del año, de acuerdo a las horas del día, siendo las 10:00 y 21:00 las horas de mayor consumo de energía.

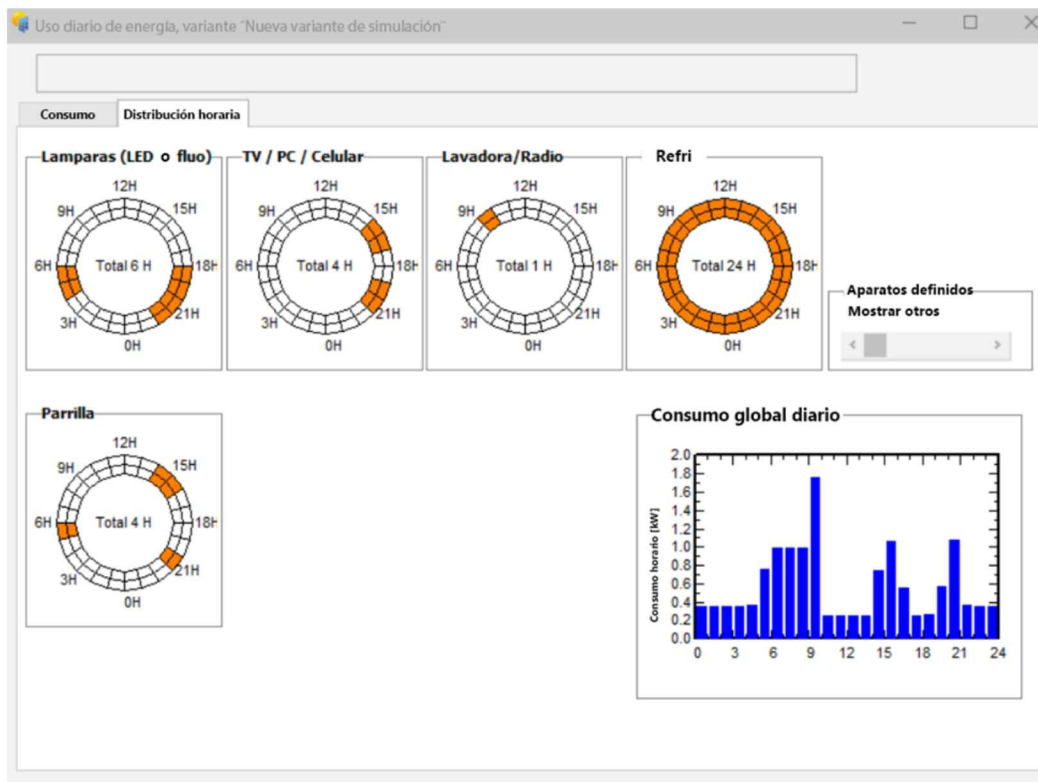


Figura 3. Distribución horaria de consumo diario de energía por equipos en un hogar de Amador Hernández.

Se diseñó el sistema a partir de la demanda pico que tiene la población, la cual es de 372 kW pico y con un consumo de 2373 kWh/día, como muestra la Figura 4, especificados para el lado de DC, una capacidad instalada de 200 kW con módulos fotovoltaicos, y del lado de AC, dos aerogeneradores de 100 kW cada uno, de tal manera que, se tenga una capacidad instalada mayor que la demanda pico actual y que con los años irá aumentando de manera proporcional al incremento de la población. Además, se tiene conectado del lado de DC, un banco de baterías calculado por el simulador de 1778 kWh, mientras que, del lado de AC, un generador a Biogás de 50 kW de respaldo, el cual funcionaría como generador eléctrico en caso de emergencia, sino se tuvieran las condiciones necesarias para la aportación de energía alternativa (energías fotovoltaica y eólica).

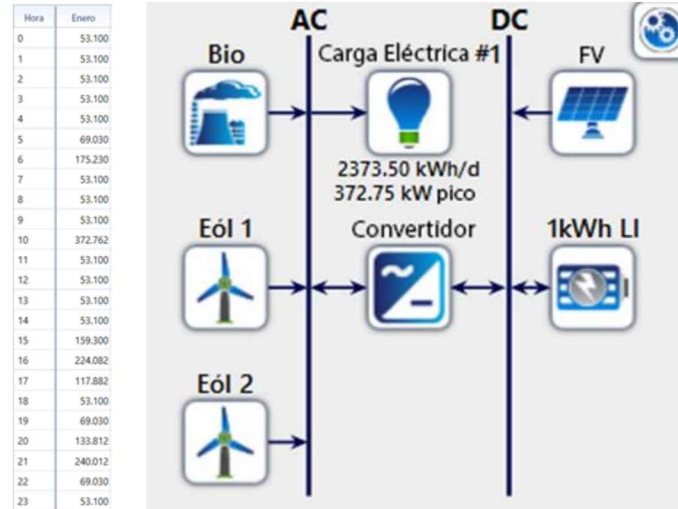


Figura 4. Distribución horaria de la demanda en kW del total de hogares y esquema del sistema híbrido en Amador Hernández.

Con *HomerPro* también se obtiene el recurso solar disponible en la zona de interés, como muestra la Figura 5, donde se observa que este fluctúa durante el año con un pico de radiación en el mes de abril que alcanza los 6.090 kWh/m^2 ; seguido del mes de marzo con 5.790 kWh/m^2 ; y en tercer lugar mayo con 5.710 kWh/m^2 . Por otra parte, los meses de menor disponibilidad de recurso son enero y noviembre, con 4.230 kWh/m^2 y 4.240 kWh/m^2 respectivamente. Con un promedio anual de 5.1 kWh/m^2 , la población cuenta con un índice adecuado para el buen aprovechamiento de este recurso a comparación de la media anual del país que se encuentra en 5.5 kWh/m^2 [7].

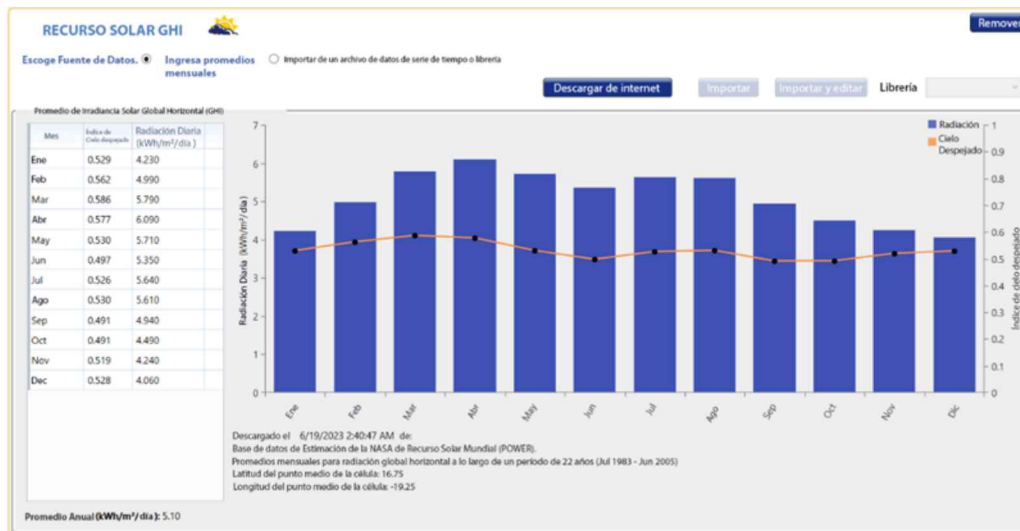


Figura 5. Gráfica de la radiación solar promedio mensual en el sitio.

Incluso el recurso eólico también se obtiene de la zona en donde se observa que también fluctúa durante el año con un pico de radiación en el mes de marzo con 2.770 m/s seguido del mes de marzo con 2.770 m/s y en tercer lugar abril con 2.680 m/s , como muestra la Figura 6. Por otra parte, los meses de menor disponibilidad de recurso son agosto y septiembre con 2.220 m/s y 2.030 m/s , respectivamente. Con un promedio anual de 2.41 m/s , la población cuenta con un índice muy pobre para el buen aprovechamiento de este recurso.

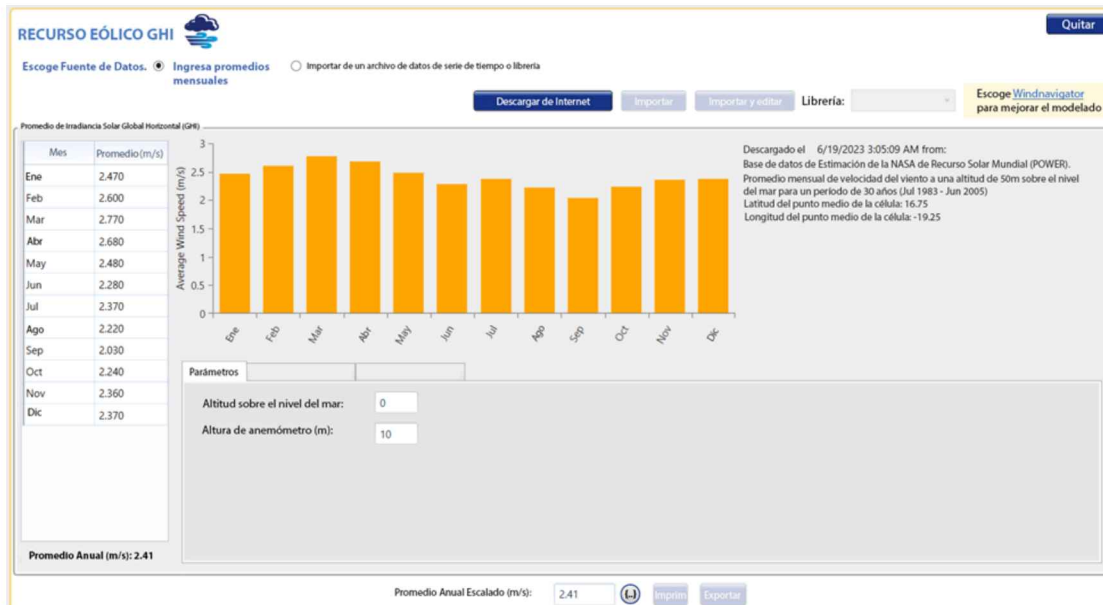


Figura 6. Gráfica de recurso eólico promedio mensual disponible en el sitio.

Resultados

De manera que, de la gama de posibilidades planteadas por *HomerPro* y teniendo activados los controladores de seguimiento de la carga conectada y de carga de ciclos del banco de batería, se eligió el que resolvía de mejor manera las necesidades de la comunidad y *HomerPro* muestra una gráfica de la generación durante todo el año en donde se tiene una mayor parte de la generación renovable por medio del generador con Biogás (59.5%), de la instalación fotovoltaica (35.2%), y por último en menor proporción de las dos turbinas eólicas (5.32%), como muestra la Figura 7.

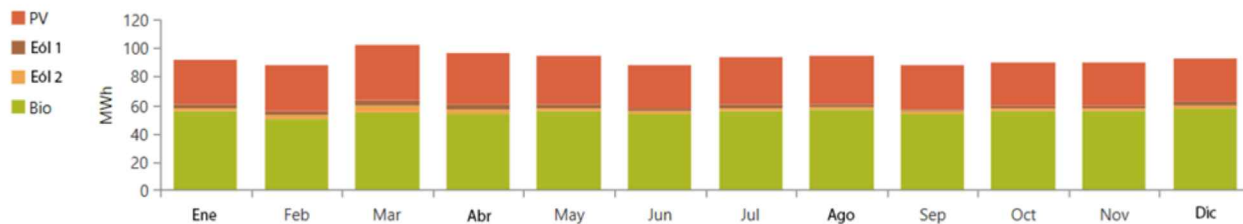


Figura 7. Distribución de la generación eléctrica del sistema híbrido por fuente.

Los generadores eólicos funcionarían en pequeña proporción, ya que no se cuenta con un gran potencial eólico en la zona (3 m/s), por lo que estos operarían de manera intermitente durante el año teniendo poca aportación al sistema durante el año. De la misma manera, el generador a biogás resuelve el problema de intermitencia en la generación por parte del sistema fotovoltaico a lo largo del año y el banco de baterías por medio del almacenamiento de la energía resolvería el desabasto de energía por varios días antes de activar el generador a biogás; de esta manera, el sistema híbrido en Amador Hernández tendría una mayor eficiencia, continuidad, seguridad y sustentabilidad.

Teniendo los picos en la demanda eléctrica diaria entre las 10:00 y 11:00 de cerca de 370 kW y otras demandas menores entre las 16:00 y 17:00 y entre las 21:00 y 22:00 con 250 kW aproximadamente, y suponiendo que los fines de semana sea la misma carga ya que por lo general la vida en el campo es el de trabajo duro y diario para mantener las cosechas es por eso que la curva de demanda anual se mantiene

constante siendo las horas de mayor demanda las mencionadas anteriormente y representadas con franjas en escalas de diferentes colores, como muestra la Figura 8.

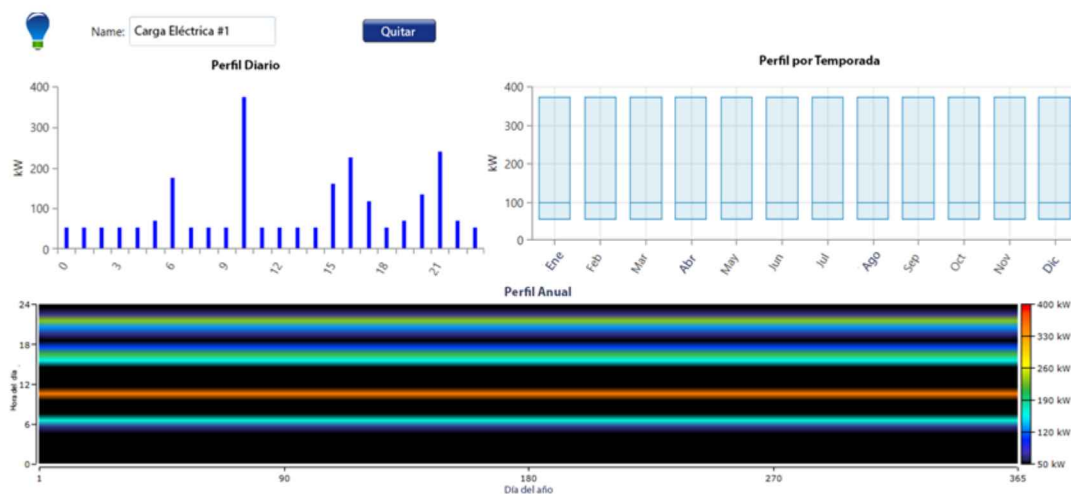


Figura 8. Perfil de la demanda horaria y anual en Amador Hernández.

Trabajo a futuro

Utilizando esta metodología de estudio se estudiara la factibilidad de la implementación de estos sistemas a otras zonas geográficas del país con diferentes condiciones climáticas.

Conclusiones

Los sistemas híbridos como el planteado en el presente trabajo por medio de un software como *HomerPro* prometen ser una solución viable ante un problema de continuidad o de alcance en el suministro eléctrico para las comunidades rurales más alejadas de los centros urbanos. Es por eso que, por medio de la incorporación de sistemas fotovoltaicos, eólicos, almacenamiento y con un generador biodiesel en un sistema híbrido podría garantizar una mayor cobertura, continuidad y sustentabilidad a la comunidad, para el presente trabajo la comunidad de Amador Hernández, sin importar que tan lejos se encuentre esta de algún centro urbano o de problemas de intermitencia debido a las energías renovables disponibles en el lugar, satisfaciendo todas las necesidades eléctricas para las personas y siendo una alternativa más amigable con el medio ambiente en un esfuerzo por reducir los efectos del Cambio Climático.

Referencias

- [1] Olubayo Moses Babatunde, "Analysis of an optimal hybrid power system for an off-grid community in Nigeria", *International Journal of Energy Sector Management*, Vol. 14, No. 2, pp. 335–357, 2019.
- [2] E. E. Osei Opoku, N. Kwabena Kufuor y S. Adasi Manu, "Gender, electricity access, renewable energy consumption and energy efficiency", *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 173, 2021.
- [3] International Energy Agency, *World Energy Outlook*, pp.175-180, 2021.
- [4] Ochoa Rigoberto García y Boris Graizbord, "Caracterización espacial de la pobreza energética en México", *Un análisis a escala subnacional. Economía, Sociedad y Territorio*, Vol. 16, No. 51, pp. 289-337, 2019.
- [5] V. Magar, M. S. Gross, y L. González García, "Offshore wind energy resource assessment under techno-economic and social-ecological constrains", *Ocean and Coastal Management*, Vol. 152, pp. 77-87, 2018.

- [6] Q. Hernández-Escobedo, R. Saldaña Flores, E. R. Rodríguez García y F. Manzano Agugliaro, "Wind energy resource in Northern Mexico", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 14, pp. 2830-2840, 2014.
- [7] Y. Cancino Solorzano, A. J. Gutiérrez Trashorras y J. Xiberta-Bernat, "Current state of wind energy in Mexico, achievements and perspectives", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 15, pp. 3352-3557, 2011.
- [8] Sing, Nanda, "Radiografía de la energía solar de México: los Estados con mayor potencial y parques fotovoltaicos en operación comercial", *Energía Estratégica*, 2019.
- [9] M. Kanagawa, N. Toshihiko, "Analysis of the energy access improvement and its socio-economic impacts in rural areas of developing countries", *Ecological Economics*, Vol. 62(2), pp. 319-329, 2007.
- [10] D. Pérez, E. F. Fernández Luqueño, D. Vilariño Ayala, L. M. Montaña Zetina, L. A. Maldonado López, "Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 78, pp. 597-613, 2017.
- [11] M. A. Elhadidy, "Performance evaluation of hybrid (wind/solar/diesel) power systems", *Renewable Energy*, Vol. 26(3), pp. 401-413, 2002.