

## **Title: Design and evaluation of a Distributed Generation system based on renewable energies applied to a rural area in the state of Veracruz.**

**Authors: GRANADOS-PALMA, Ivan, GÓMEZ-GONZÁLEZ, Francisco Javier, DOMÍNGUEZ-SÁNCHEZ, Genoveva and SOSA-VILLALOBOS, Cinthya Alejandra**

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2022-01

BCIERMMI Classification (2022): 261022-0001

Pages: 14

RNA: 03-2010-032610115700-14

### **ECORFAN-México, S.C.**

143 – 50 Itzopan Street

La Florida, Ecatepec Municipality

Mexico State, 55120 Zipcode

Phone: +52 1 55 6159 2296

Skype: ecorfan-mexico.s.c.

E-mail: contacto@ecorfan.org

Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

### **Holdings**

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

# Introducción

Durante la primera década del siglo XXI, en México se consiguió que el 96.6% de la población contara con suministro de energía eléctrica a nivel nacional, de los cuales el 60% se encuentra en comunidades indígenas (Banco Nacional, 2017).

En la tabla 1, es posible apreciar la relación directa que tiene el IDH con el consumo de energía eléctrica (kWh por cada habitante) y el acceso que tienen las personas a la electricidad (%) (Carrillo, 2019).

IDH	Consumo eléctrico (kWh/hab.)	Acceso a electricidad (%)
0.351-0.555	39 - 537	4.5 - 84.9
0.466-0.768	144 - 3,419	27.9 - 100
0.637-0.826	271 - 6,603	49.6 - 100
0.779-0.948	2,202 - 19,592	96.4 - 100

**Tabla 1** Relación de IDH con consumo de energía por habitante.  
*Fuente: (Carrillo, 2019).*

# Metodología

## Selección de la comunidad

Se seleccionó la localidad de Atolka en el municipio de Omealca, en el estado de Veracruz. En la tabla 2, se resumen las características de las viviendas en Atolka, según datos obtenidos del censo de población del 2020 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020a).

Viviendas	Total
Particulares	38
Habitadas	35
Con electricidad	0
Con agua	0
Con drenaje	26
Con sanitario	0

**Tabla 2** Características de las viviendas en Atolka,  
*Fuente: (INEGI, 2020a).*

La localidad de Atolka se encuentra en latitud 18.76326 y longitud -96.89923 (INEGI, 2020b).

# Metodología

## Perfil de carga

Se estima el perfil de carga para una casa en esta población, con los equipos mostrados en la tabla 3. En donde se pretende que en cada vivienda haga uso de 3 luminarias, una lavadora, un refrigerador pequeño, un televisor y un ventilador.

Aparato	Potencia (Watts)
Luminaria 1	23
Luminaria 2	23
Luminaria 3	23
Lavadora	250
Refrigerador	90
Televisor	70
Ventilador	50

**Tabla 3** Equipos propuestos para una vivienda de la comunidad.

*Fuente: Elaboración propia*

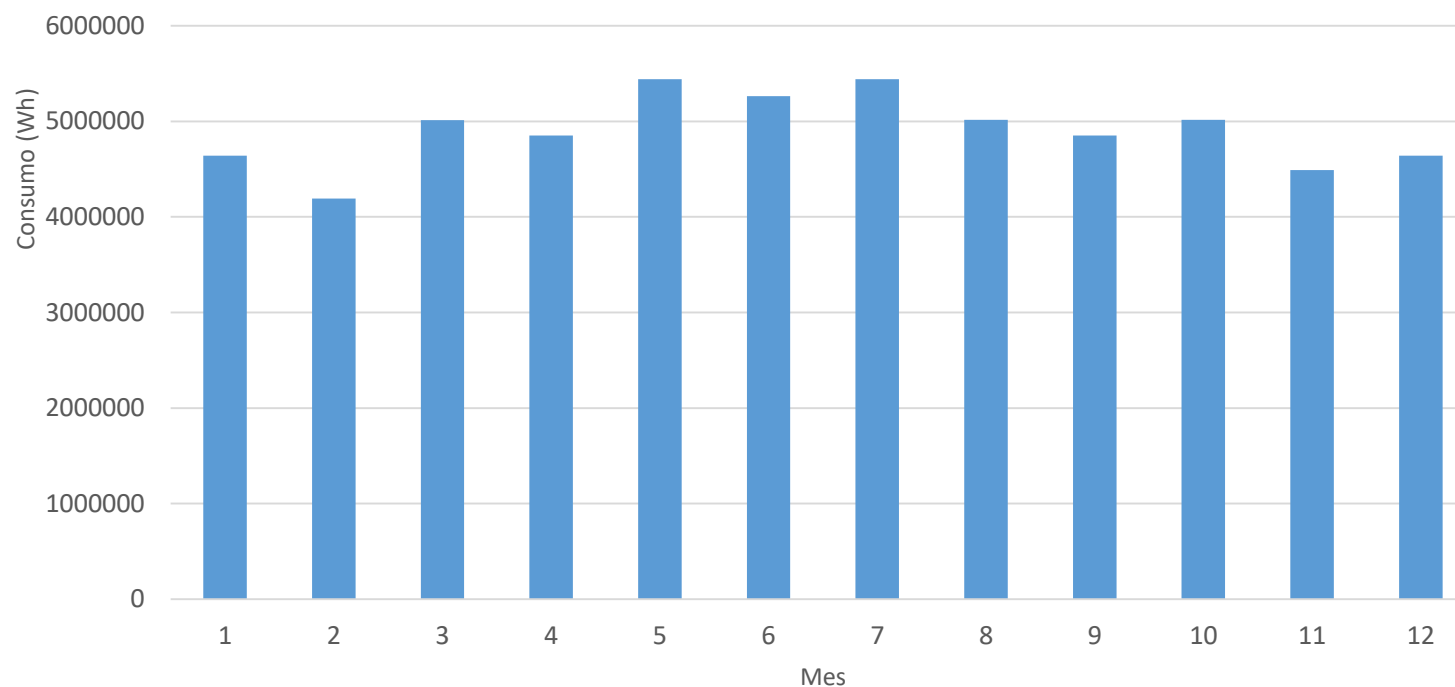
Día	Hora	Consumo 1 casa (Wh)	Consumo localidad (Wh)
01/01/2021	01:00:00 a. m.	90	3150
01/01/2021	02:00:00 a. m.	90	3150
01/01/2021	03:00:00 a. m.	90	3150
01/01/2021	04:00:00 a. m.	90	3150
01/01/2021	05:00:00 a. m.	90	3150
01/01/2021	06:00:00 a. m.	90	3150
01/01/2021	07:00:00 a. m.	113	3955
01/01/2021	08:00:00 a. m.	136	4760
01/01/2021	09:00:00 a. m.	136	4760
01/01/2021	10:00:00 a. m.	206	7210
01/01/2021	11:00:00 a. m.	206	7210
01/01/2021	12:00:00 p. m.	229	8015
01/01/2021	01:00:00 p. m.	229	8015
01/01/2021	02:00:00 p. m.	136	4760
01/01/2021	03:00:00 p. m.	183	6405
01/01/2021	04:00:00 p. m.	183	6405
01/01/2021	05:00:00 p. m.	183	6405
01/01/2021	06:00:00 p. m.	206	7210
01/01/2021	07:00:00 p. m.	453	15855
01/01/2021	08:00:00 p. m.	453	15855
01/01/2021	09:00:00 p. m.	229	8015
01/01/2021	10:00:00 p. m.	206	7210
01/01/2021	11:00:00 p. m.	160	5600
02/01/2021	12:00:00 a. m.	90	3150

**Tabla 4** Datos de consumo durante un día en el mes de enero.

*Fuente: Elaboración propia.*

# Metodología

En la gráfica 1, se puede observar el comportamiento gráfico del consumo durante todo el año.

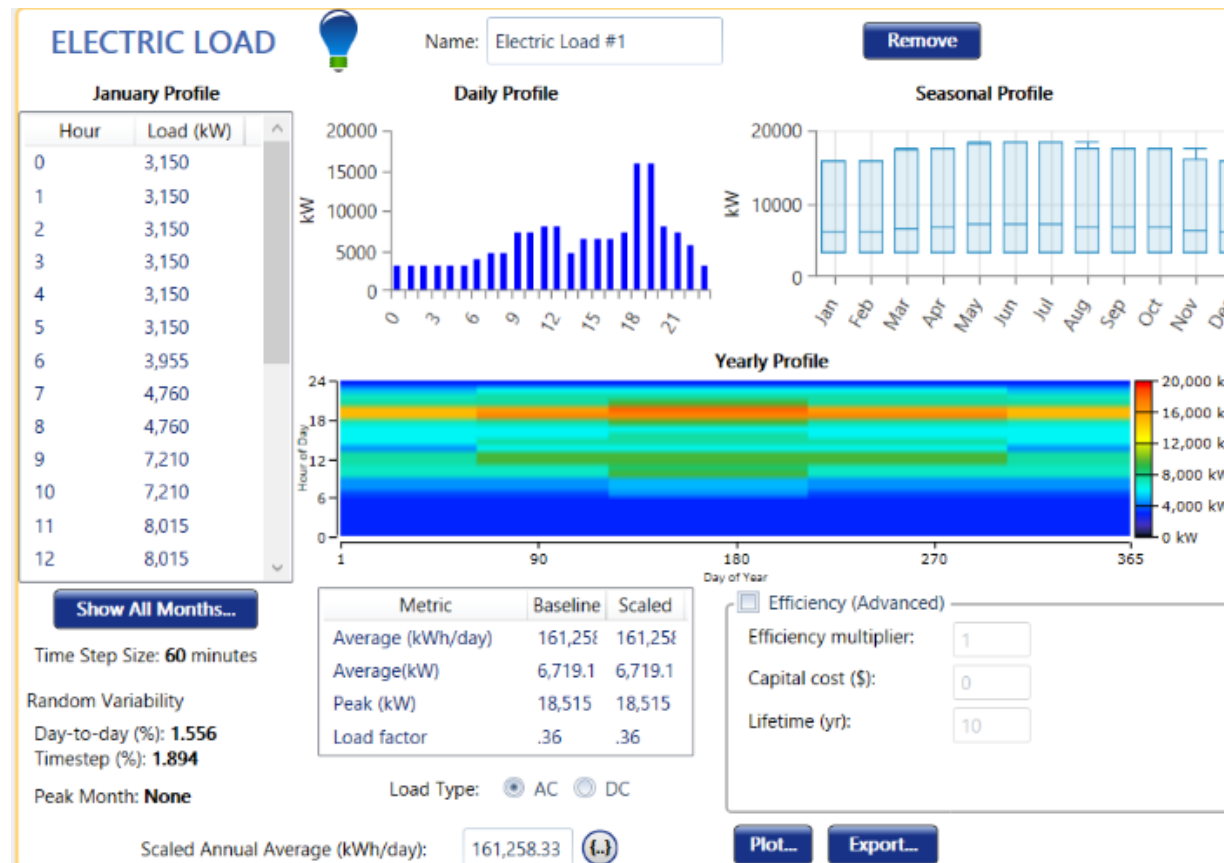


**Gráfica 1** Perfil de consumo horario en un año.

*Fuente: Elaboración propia.*

# Metodología

## Aplicación de HOMER Pro



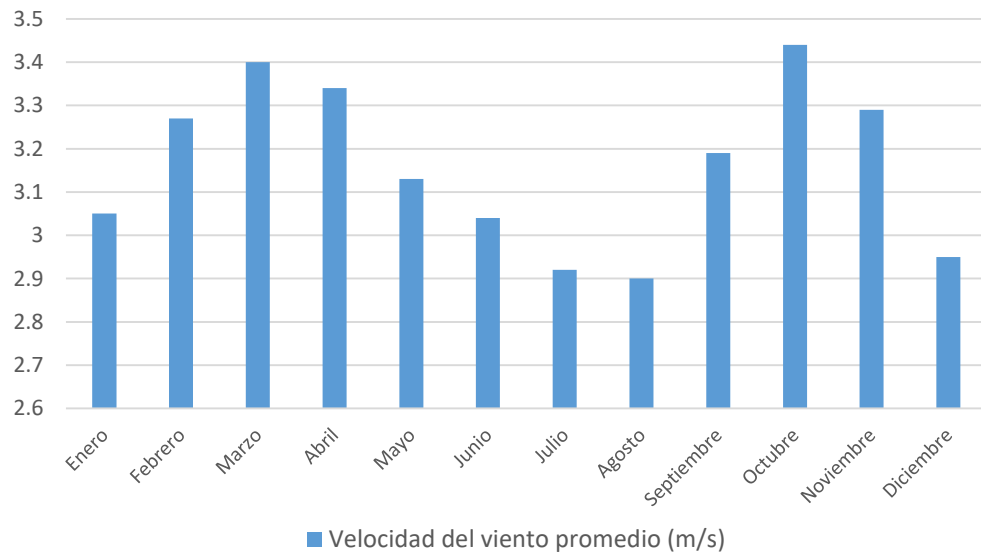
**Figura 1** Perfil de carga en HOMER.

*Fuente: Elaboración propia.*

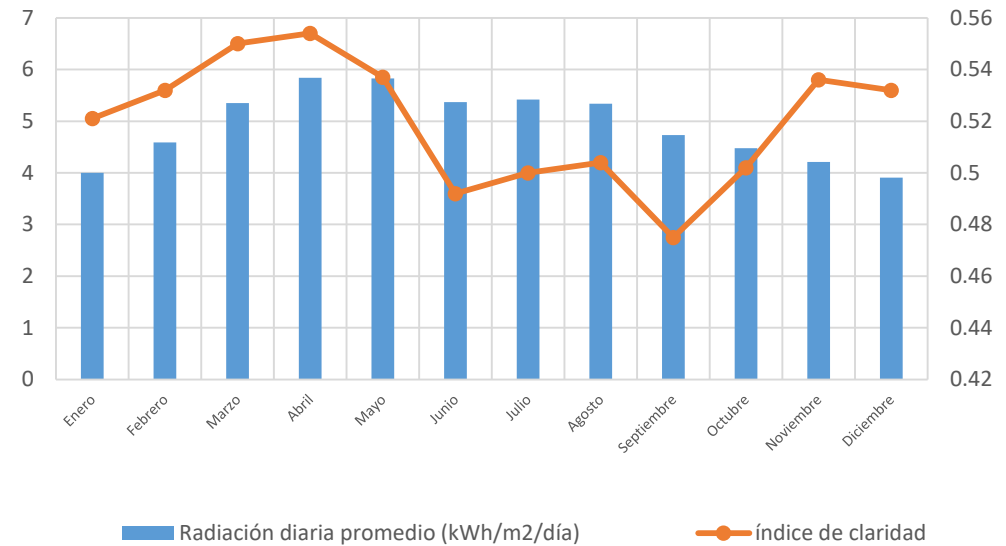
# Metodología

## Evaluación del recurso renovable

Se evalúan los recursos renovables aprovechables en la zona seleccionada para la generación de energía eléctrica. Se seleccionó la base de datos, Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) Data Access Viewer de la NASA dentro del software HOMER Pro.



**Gráfica 3** Recursos eólico en HOMER.  
*Fuente: Elaboración propia.*



**Gráfica 2** Recursos solar en HOMER.  
*Fuente: Elaboración propia.*



# Metodología

## Selección de componentes del sistema

Se plantea la utilización de paneles fotovoltaicos y generadores eólicos, además de la incorporación de un generador diésel y un banco de baterías para el constante suministro de energía eléctrica. En la tabla 5 se aprecian los datos tecno-económicos de cada uno de los componentes del sistema.

Componente	Capacidad	Costo (DLS)
Panel fotovoltaico	0.34 kW	350
Generador eólico	10.4 kW	5,000
Batería 1	400 kWh	10,000
Batería 2	2.3 kWh	800
Batería 3	2.36 kWh	780
Inversor	24 kW	2,500
Generador diesel	22 kW	11,000

**Tabla 5** Componentes del sistema.

*Fuente: Elaboración propia.*

# Resultados

Se eligieron los 10 primeros arreglos proporcionados por HOMER Pro (ver tabla 6). ordenados por orden creciente de costo presente neto (CPN).

No. Arreglo	PV (kW)	Eol (kW)	Gen (kW)	Bat 1 (Pza)	Bat 2 (Pza)	Bat 3 (Pza)	Inver (kW)
1	52.1	0	0	2	0	0	24
2	52.5	0	22	2	0	0	24
3	50.0	1	0	2	0	0	24
4	49.7	1	22	2	0	0	24
5	141	3	0	0	69	0	24
6	145	0	0	0	92	0	24
7	142	3	22	0	84	0	24
8	113	4	0	0	0	74	24
9	138	0	22	0	104	0	24
10	99.3	4	22	0	0	94	24

**Tabla 6** Cuadro comparativo de arreglos óptimos. PV=Panel fotovoltaico, Eol= turbina eólica, Gen= generador diésel, Bat (1, 2 y 3)= Baterías, Inver= Inversor.  
Fuente: *Elaboración propia.*

No. Arreglo	CPN (DLS)	COE (DLS)	OyM (DLS/año)	FR (%)
1	\$ 98,088	\$ 0.129	\$ 4,436	100
2	\$ 106,861	\$ 0.140	\$ 4,253	100
3	\$ 108,601	\$ 0.143	\$ 4,918	100
4	\$ 116,779	\$ 0.153	\$ 4,709	100
5	\$ 357,329	\$ 0.470	\$ 18,198	100
6	\$ 381,300	\$ 0.501	\$ 19,679	100
7	\$ 386,773	\$ 0.508	\$ 18,677	100
8	\$ 391,225	\$ 0.515	\$ 20,436	100
9	\$ 400,071	\$ 0.526	\$ 19,742	100
10	\$ 420,436	\$ 0.553	\$ 20,844	100

**Tabla 7** Costos de los diez arreglos óptimos.  
Fuente: *Elaboración propia.*

# Resultados

En la tabla 8, se muestra el resumen de los costos del sistema seleccionado, en la cual el CPN es el valor de todos los costos en la vida útil del sistema menos el valor de ahorros en el mismo periodo de tiempo. CI es el Capital de Inicial de todos los componentes de sistema, OyM son los costos de operación y mantenimiento y COE es el costo por kWh consumido (Das et al., 2020).

CPN (DLS)	\$98,088.42
CI (DLS)	\$40,735.55
OyM (DLS)	\$4,436.5/año
COE (DLS)	\$0.129/kWh

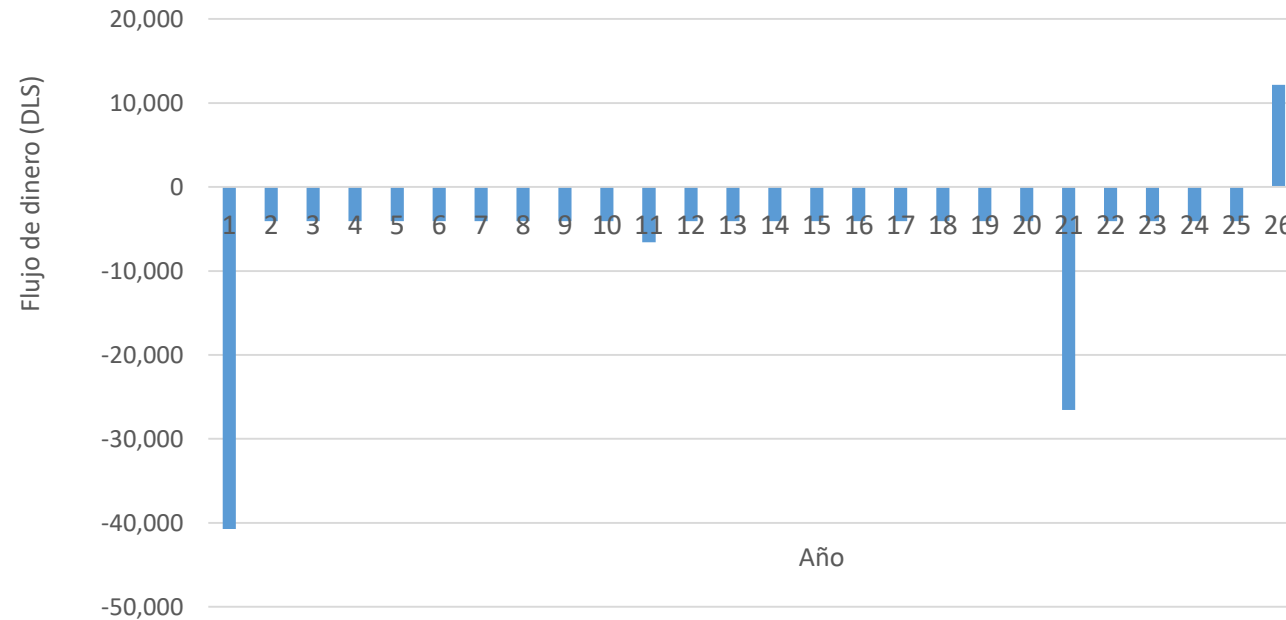
**Tabla 8** Resumen de costos del sistema seleccionado.  
*Fuente: Elaboración propia.*

Comp	Capital (\$ DLS)	Reemp (\$ DLS)	OyM (\$ DLS)	Ahorro (\$ DLS)	Total (\$ DLS)
PV	18,235.55	-	23,574.03	-	41,809.58
Bat 1	20,000.00	6,376.15	25,855.03	3,593.37	48,637.81
Inversor	2,500.00	2,208.59	3,231.88	299.45	7,641.03
Sistema	40,735.55	8,584.74	52,660.95	3,892.82	98,088.42

**Tabla 9** Resumen de costos de inversión por componente.  
*Fuente: Elaboración propia.*

# Resultados

Durante la duración del proyecto (25 años), se realizan diferentes movimientos pasivos y activos de dinero. Se reflejan los gastos de inversión inicial, costos de reemplazo y operación y mantenimiento. En la gráfica 4, se puede observar el flujo de efectivo durante los 25 años.



**Gráfica 4** Inversión a través del tiempo.

*Fuente: Elaboración propia.*

# Resultados

Otro dato proporcionado por HOMER Pro fue la producción total de energía de 81,143 kWh por cada año que el sistema se encuentre en operación.

De acuerdo con Nelson y Starcher (2015), se calcula el periodo de retorno de inversión (SP) en años mediante la siguiente ecuación:

$$SP = \frac{CI}{AEP * \$/kWh - AOM}$$

Sustituyendo los valores del proyecto en la ecuación 1 se obtiene:

$$SP = \frac{40,735.55}{81,143 * 0.129 - 4,073.55} = 6.37 \text{ años}$$

# Conclusiones

Los sistemas de Generación Distribuida permiten a los usuarios generar un menor impacto ambiental debido a la propia generación de energía eléctrica, ya que no se depende de energías tradicionales. Además, se obtienen beneficios económicos al obtener el retorno de la inversión y un ahorro por consumo no consumado de las líneas de suministro eléctrico a lo largo del tiempo que se encuentren funcionando estas alternativas.

Es importante tomar en cuenta, los servicios de operación, mantenimiento y de los costos de reemplazo para el equipo que lo requiera en un periodo de tiempo determinado, con la intención de que el sistema permanezca en buen funcionamiento.

En este caso particular, en el lugar de estudio no resulta viable instalar turbinas eólicas debido a las bajas velocidades del viento. Lo que permitió abastecer al 100% con paneles solares y baterías para almacenamiento de energía.

El software HOMER Pro dio como resultado las opciones más económicas de sistemas de generación distribuida con el 100% de fracción renovable, lo que permitió no utilizar energía generada a base de combustibles fósiles.

# Referencias

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2 de junio de 2014). Generación distribuida - Grandes usuarios de la energía. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/que-es-la-generacion-distribuida-estados-y-municipios>

Banco Mundial (2017). Comunidades rurales alejadas de la red eléctrica logran acceso a electricidad en México. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/11/01/switching-on-remote-communities-through-electricity-access-in-mexico>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2016). Informe sobre el Desarrollo Humano 2016. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de [http://hdr.undp.org/sites/default/files/HDR2016\\_SP\\_Overview\\_Web.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/HDR2016_SP_Overview_Web.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020a). Censo de población y vivienda 2020. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020b). México en cifras. Atolka, Omealca, Veracruz de Ignacio de la Llave. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=301170072>

Carrillo, I., Coronado, A. & González, L. (2019). Metodología para el dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos para la electrificación de comunidades rurales situadas en el Occidente de México utilizando herramientas computacionales de optimización. Revista de Ingeniería Eléctrica, 3(10), 1-7. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de 10.35429/jee.2019.10.3.1.7

Lamnadi, M., Trihi, M. y Boulezhar, A. (2016). Study of hybrid renewable energy system for a rural school in Tagzirt, Morocco. International Renewable and Sustainable Energy Conference, 2016, 381-386. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7984079/authors>

López, A., Domenech, B., & Ferrer, L. (2018). Sustainability and design assessment of rural hybrid microgrids in Venezuela. Energy, 159, 229-242. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.165>

Homer Energy. (2020). Homer Pro Version 3.15 User Manual. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/index.html>

Gómez, Á. (2018). Algoritmo para la optimización de Sistemas Híbridos Renovables. Revista de Tecnología, 5(15), 20-29. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de [https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia\\_e\\_innovacion/vol5num15/Revista\\_de\\_Tecnolog%C3%ADa\\_e\\_Innovaci%C3%B3n\\_V5\\_N15.pdf#page=34](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol5num15/Revista_de_Tecnolog%C3%ADa_e_Innovaci%C3%B3n_V5_N15.pdf#page=34)

Ávila, D., Alesanco, R., & Veliz, J. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. Ingeniería Mecánica, 14(1), 22-30. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442011000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442011000100003)

Das, S., Ray, A., De, S. (2020). Optimum combination of renewable resources to meet local power demand in distributed generation: A case study for a remote place of India. Energy, 209. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220315814>

Nelson, V. y Starcher, K. (2015). *Introduction to renewable energy*. CRC Press. Recuperado el 23 de marzo del 2022 de [https://books.google.com.mx/books?id=0JDwCgAAQBAJ&pg=PA361&lpg=PA361&dq=aep+is+the+annual+energy+production+in+\(energy+units\)/years+if+comparing+to+electricity+\(kwh/year\)&source=bl&ots=cvNy7udTUS&sig=ACFu3U3t6EZal09VF5jpCxnjm2VIKqMhTQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjxLiJy634AhWmK0QIHVDDAasQ6AF6BAgEEAM#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=0JDwCgAAQBAJ&pg=PA361&lpg=PA361&dq=aep+is+the+annual+energy+production+in+(energy+units)/years+if+comparing+to+electricity+(kwh/year)&source=bl&ots=cvNy7udTUS&sig=ACFu3U3t6EZal09VF5jpCxnjm2VIKqMhTQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjxLiJy634AhWmK0QIHVDDAasQ6AF6BAgEEAM#v=onepage&q&f=false)



**ECORFAN®**

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/booklets](http://www.ecorfan.org/booklets))